



RECURSOS HÍDRICOS

EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS



INUSA

RECURSOS HÍDRICOS

EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS

Governo do Brasil

Presidente da República

Dilma Vana Rousseff

Vice-Presidente da República

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)

Ministro de Estado

Aloizio Mercadante Oliva

Secretário Executivo

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

José Edil Benedito

Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

Diretor

Roberto Germano Costa

Diretor Adjunto

Albericio Pereira de Andrade

Coordenador de Pesquisa

Pedro Dantas Fernandes

Pesquisador da Área de Recursos Hídricos

Salomão de Sousa Medeiros

RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS

Editores

Salomão de Sousa Medeiros
Instituto Nacional do Semiárido

Hans Raj Gheyi
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Carlos de Oliveira Galvão
Universidade Federal de Campina Grande

Vital Pedro da Silva Paz
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



INSA

Instituto Nacional do Semiárido

Campina Grande - PB

2011

Equipe Técnica

Editoração Eletrônica
Water Luiz Oliveira do Vale

Capa
Silvana Ramos Alves

Revisão de Texto
Nísia Luciano Leão (Português)

Normatização
Maria Sônia de Azevedo

Impressão
Triunfal Gráfica & Editora

Editora
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande, PB

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Instituto Nacional do Semiárido

R294 Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas / editores, Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.
440 p. : il, 15,5 x 21,0 cm

ISBN 978-85-64265-011

1. Recursos hídricos. 2. Água - reúso. 3. Bacia hidrográfica - manejo. I. Medeiros, Salomão de Sousa. II. Gheyi, Hans Raj. III. Galvão, Carlos de Oliveira. IV. Paz, Vital Pedro da Silva. V. Instituto Nacional do Semiárido

CDD 333.91

Os temas, dados, figuras e conceitos emitidos neste Livro, são de exclusiva responsabilidade dos respectivos autores. A eventual citação de produtos e marcas comerciais não significa recomendação de utilização por parte dos autores/editores. A reprodução é permitida desde que seja citada a fonte.

Apresentação

Articulação, pesquisa, formação, difusão e proposição de políticas públicas são as funções do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, visando a contribuir para o desenvolvimento sustentável da região. Em seu caminhar, o INSA está sensibilizando, a muitos, sobre as implicações negativas de continuar a prevalência histórica da visão do Semiárido brasileiro como região problema, que só inspira intervenções com base no paradigma das adversidades. Por isso, muitos já aceitam a urgência de se construir outro ‘conceito de semiárido’, revelando-nos ser esta região viável e a nos inspirar intervenções a partir do paradigma das potencialidades.

Em regiões com características de aridez e semiaridez, em todo o mundo, o tema recursos hídricos é, sem dúvida, um dos mais discutido e, também, pouco entendido, em toda a sua abrangência. Esta obra, intitulada **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**, que agora tenho a honra de apresentá-la, é produto da articulação do INSA com pesquisadores de várias instituições de ensino e pesquisa do país e do exterior, com atribuições de estudar e desenvolver tecnologias para a solução de problemas envolvendo aspectos hídricos.

É resultado, também, da política editorial do Instituto, incentivando a pesquisa colaborativa e articulada, a difusão científica ágil e em formato adequado à formação de técnicos, com atuação nesse tema, além de atualizar conhecimentos para os agentes que aperfeiçoam e executam políticas públicas regionais. Esta publicação também pretende trazer à luz novos conceitos, experiências e informações, contribuindo para a conservação e gestão das águas.

O livro **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas** abrange quatorze capítulos, escritos por especialistas com grande experiência em suas áreas de atuação. Os dois primeiros abordam aspectos da Política Nacional de Recursos Hídricos e de políticas públicas, incluindo a científica e tecnológica, com interfaces com a gestão dos recursos hídricos. Os cinco capítulos seguintes tratam de uso da água e seu consumo de forma sustentável, seja na agricultura – irrigada ou de sequeiro – na piscicultura, no meio urbano ou na indústria. Cinco outros capítulos abrangem as águas disponíveis para suprimento de demandas e aspectos específicos de seu uso, manejo e gestão: águas superficiais, subterrâneas, as dos grandes e pequenos açudes, as captadas da chuva e armazenadas em cisternas e as reutilizadas. Os dois capítulos finais abordam aspectos do clima atual e suas

perspectivas futuras no Semiárido brasileiro e relações com a hidrologia e a biosfera da região.

Esperamos, enfim, seja este livro relevante para estudantes, pesquisadores, profissionais e todas as pessoas interessadas no tema **recursos hídricos do semiárido brasileiro**, contribuindo para o novo paradigma de ser viável a região e serem muitas as suas potencialidades.

Campina Grande - PB, Fevereiro de 2011

Roberto Germano Costa
Diretor do Instituto Nacional do Semiárido

Prefácio

Entre tantos desafios que se apresentam ao futuro da humanidade, a preocupação com a questão da água povoa os espíritos, desde o cientista à maior parte da população mundial: como estamos quais as perspectivas para o futuro, o que fazemos hoje e quais os compromissos que devemos assumir para destinar às gerações que virão um mundo onde águas mais límpida escoem, saciando a quem tem sede, servindo como insumo essencial na produção de alimentos para quem tem fome e proporcionando a conservação da biodiversidade no planeta.

É fato que são muitos os conflitos pelo acesso à água como nos mostra a história e que estão ainda muito presentes, infelizmente: desde as tensões entre países, como ocorre no Oriente Médio e em tantas outras regiões do mundo, até situações cotidianas mais próximas de nós: disputa pela água para irrigação em uma barragem, uma bomba clandestina na rede de distribuição para beneficiar o “esperto” em detrimento dos seus vizinhos quando a água está escassa nas cidades. E como estão os cuidados, os compromissos com a conservação dos recursos hídricos? Há muito que fazer na maioria dos países do mundo e infelizmente a situação brasileira é ainda degradante. Muito esgoto escoado pelas galerias chega aos canais e deságua nos nossos estuários: a atuação do poder público está longe de um patamar razoável. Essa culpa, porém, não é só dos governos: ainda há muita gente que carrega um sofá nas costas para jogá-lo no rio. Pobre rio.

Há motivo para crer que esse quadro possa se reverter? Reflitamos. A partir dos anos 90 o Brasil vem acordando para a questão. Temos Leis das Águas, órgãos gestores, a sociedade se mobiliza em comitês de bacias hidrográficas e conselhos de usuários, todo mundo cobra ações mais efetivas. Os governos, uns mais empenhados, outros nem tanto, procuram dar resposta a esse esforço coletivo. O nível de tratamento de esgoto nas cidades avança. As obras hídricas cortam os sertões do semiárido. Nas universidades multiplicam-se, além da pesquisa básica, estudos focados em resultados para resolver os problemas de caráter mais prático e imediato.

Este livro é fruto dessa contribuição da nossa comunidade técnico-científica, resultante do esforço de nossos pesquisadores para contribuir com o

desenvolvimento, em bases mais sustentáveis, com foco maior na questão dos recursos hídricos das regiões semiáridas. Nossa expectativa é que o conhecimento e as experiências nele descritas possam ser efetivamente úteis à sociedade.

Recife - PE, Fevereiro de 2011

José Almir Cirilo
Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco
Secretário Executivo de Recursos Hídricos do Estado do Pernambuco

Agradecimentos

A publicação Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas prescindiu da participação de 30 pesquisadores de várias instituições, de modo que o produto final culminou em quatorze capítulos reunindo informações da mais alta qualidade para a comunidade científica e para sociedade do Semiárido brasileiro.

Neste sentido, os editores agradecem à diretoria do INSA pelo honroso, mas árduo convite para organizar este volume, em meio à vasta temática dos recursos hídricos em regiões Áridas e Semiáridas, e aos seus colaboradores que se envolveram de forma efetiva para consolidação desta obra.

Agradecemos também as instituições onde os nossos colaboradores atuam pelo uso irrestrito da sua infraestrutura; a Agência Nacional de Águas e ao Banco do Nordeste do Brasil pelo apoio institucional e financeiro respectivamente, dispensado na elaboração desta obra. Aos leitores desejamos uma boa leitura!

Campina Grande-PB, Fevereiro de 2011

Editores

Salomão de Sousa Medeiros
Instituto Nacional do Semiárido

Hans Raj Gheyi
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Carlos de Oliveira Galvão
Universidade Federal de Campina Grande

Vital Pedro da Silva Paz
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Autores

Aderaldo de Souza Silva – Graduado em Agronomia. Doutor em Edafologia pela Universidad Politécnica de Madrid. Atualmente é Pesquisador da Embrapa Semiárido. Linha de Pesquisa: recursos hídricos escassos, agronegócio da irrigação e qualidade ambiental.

Asher Kiperstok – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Engenharia Química e Tecnologias Ambientais pela University of Manchester Institute of Science and Technology. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal da Bahia e Coordenador da Rede de Tecnologias Limpas. Linhas de pesquisa: prevenção da poluição e minimização de resíduos e produção limpa, gerenciamento ambiental na indústria e aplicação de programação matemática para gerenciamento e prevenção da poluição.

Carlos de Oliveira Galvão (editor) – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Campina Grande. Linhas de pesquisa: hidrologia do semiárido e gestão de recursos hídricos.

Danielle Ferreira de Araújo – Graduada em Agronomia. Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente é doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará. Linhas de pesquisa: racionalização do uso de água em perímetros irrigados, erosão do solo em irrigação por sulcos.

Edilton Carneiro Feitosa – Graduado em Geologia. Mestre em Geofísica para Hidrogeologia pela Université Louis Pasteur. Atualmente é professor aposentado da Universidade Federal do Pernambuco e consultor em Hidrogeologia da Associação Tecnológica de Pernambuco e da Fundação para o Desenvolvimento da UFPE. Linhas de Pesquisa: estudos hidrogeológicos regionais, definição de mananciais e geofísica aplicada à hidrogeologia.

Elder Almeida Beserra – Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linhas de Pesquisa: modelagem climática da atmosfera e mudanças climáticas.

Elenise Gonçalves de Oliveira – Graduação em Zootecnia. Doutora em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal do Ceará. Linhas de pesquisa: produção animal e fisiologia comparada.

Everaldo Rocha Porto – Graduado em Agronomia. Doutor em Conservação de Água e Solo pela University of Arizona. Ex-pesquisador da Embrapa Semiárido. Atualmente é consultor independente. Linha de pesquisa: manejo de solo e água, captação de água de chuva e agropecuária de sequeiro.

Fernando Antonio Carneiro Feitosa – Graduação em Geologia. Mestre em Hidrogeologia pela Universidade Federal do Pernambuco. Atualmente é Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil ocupando o cargo de Coordenador Executivo do Departamento de Hidrologia. Linhas de Pesquisa: estudos hidrogeológicos regionais, definição de mananciais e qualidade de água.

Fernando Falco Priuski – Graduado em Engenharia Agrícola. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é Professor titular da Universidade Federal de Viçosa. Linha de pesquisa: conservação de solo e água e planejamento e manejo integrados de recursos hídricos.

Francinete Francis Lacerda – Graduada em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba. Doutoranda em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é Coordenadora do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. Linhas de pesquisa: mudanças climáticas, meteorologia e agrometeorologia.

Francisco de Assis de Souza Filho – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará. Linhas de pesquisa: planejamento e gestão dos recursos hídricos, sistemas de suporte e apoio a decisão em recursos hídricos e gerenciamento do risco climático.

Francisco José de Seixas Santos – Graduado em Agronomia. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é Pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Linha de Pesquisa: necessidades hídricas, recursos hídricos e fertirrigação.

Geiza Lima de Oliveira – Graduada em Engenharia de Produção. Mestranda em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia. Linha de pesquisa: Uso racional da água na indústria.

Gilvan Sampaio de Oliveira – Graduado em Meteorologia. Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atualmente é Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linha de pesquisa: estudos climáticos, interação biosfera-atmosfera e previsão de tempo.

Hans Raj Gheyi (editor) – Graduado em Agricultura. Doutor em Ciências Agrônômicas pela université de Louvain. Atualmente é Professor Visitante na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Linhas de pesquisa: salinidade, relação solo-água-plantas e reúso de água.

Javier Tomasella – Graduado em Engenharia de Recursos Hídricos. Doutor em Engenharia Civil pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Atualmente é Tecnologista Sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linha de pesquisa: hidrologia, agrometeorologia e modelagem hidrológica.

Johann Gnadlinger – Mestre em Environmental Management pelo Imperial College da Universidade de Londres. Atualmente é Assessor do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada – IRPAA. Linha de Pesquisa: políticas de recursos hídricos, tecnologias de captação de água de chuva, convivência com o clima semiárido.

Jose Antonio Marengo Orsini – Graduado em Física e Meteorologia. Doutor em Meteorologia pela University of Wisconsin-Madison. Atualmente é Pesquisador e chefe da Divisão de Sistemas Naturais do Centro de Ciências do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linha de pesquisa: mudanças climáticas, estudos e previsão de clima.

José Carlos de Araújo – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamentos pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Ceará. Linha de pesquisa: hidrologia, sedimentologia e gestão de águas.

José Nilson Bezerra Campos – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Engenharia Gerenciamento de Recursos Hídricos pela Universidade do Colorado. Atualmente é Professor Colaborador da Universidade Federal do Ceará. Linhas de pesquisa: gerenciamento de recursos hídricos e hidrologia de águas superficiais.

Karla Patricia Santos Oliveira Rodríguez Esquerre – Graduada em Engenharia Química. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Federal da Bahia. Linha de Pesquisa: modelagem e simulação de processos, metodologia para gerenciamento dos recursos hídricos e reúso de água industrial.

Lincoln Muniz Alves – Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atualmente é Pesquisador Assistente da Divisão de Sistemas Naturais do Centro de Ciências do Sistema Terrestre Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linhas de Pesquisa: mudanças climáticas, previsão climática e modelagem numérica.

Luiza Teixeira de Lima Brito – Graduada em Engenharia Agrícola. Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é pesquisadora da Embrapa Semiárido. Linha de pesquisa: recursos hídricos escassos e qualidade ambiental.

Marcelo Juanicó – Graduado em Biologia. Doutor em Oceanografia Biológica. Atualmente é Diretor da Juanicó-Environmental Consultants Ltd. – Israel. Linha de pesquisa: desenho de processos, tratamento e reúso de águas residuárias e gerenciamento de salmouras e fluentes salinos.

Marcos Daisuke Oyama – Graduado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica. Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atualmente é Pesquisador do Centro Técnico Aeroespacial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linha de pesquisa: interação biosfera-atmosfera e previsão quantitativa de precipitação.

Paulo Nobre – Graduado em Meteorologia. Doutor em Meteorologia pela University of Maryland System. Atualmente é Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Linha de pesquisa: interação oceano-atmosfera, previsão e previsibilidade climática e modelagem acoplada oceano-atmosfera.

Pedro Lopes Pruski – Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa.

Raimundo Nonato Távora Costa – Graduado em Agronomia. Doutor em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Ceará. Linhas de pesquisa: irrigação por superfície, drenagem agrícola e racionalização de água em perímetros irrigados por superfície.

Ricardo de Araújo Kalid – Graduado em Engenharia Química. Doutor em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal da Bahia. Linha de pesquisa: reconciliação de dados e estimativa da incerteza de variáveis de processos, otimização ambiental de processos industriais e urbanos e desenvolvimento e transferência de tecnologias limpas.

Ricardo Franci Goncalves – Graduado em Engenharia Civil. Doutor em Engenharia do Tratamento de Águas pela Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santos. Linhas de pesquisa: sistemas de coleta e transporte de esgoto sanitário, tratamento e reúso de águas residuárias aproveitamento e racionalização do uso da água em edificações.

Salomão de Sousa Medeiros (editor) – Graduado em Engenharia Agrícola. Doutor em Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido. Linhas de pesquisa: gerenciamento de águas em áreas irrigadas e reúso de águas.

Vandemberk Rocha de Oliveira – Graduado em Agronomia. Mestre em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente é Gerente de Operação e Manutenção do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, Ceará. Linhas de pesquisa: manejo da irrigação e gestão de água em perímetros irrigados.

Vital Pedro da Silva Paz (editor) – Graduado em Engenharia Agrícola. Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Linhas de pesquisa: irrigação, evapotranspiração e reúso de águas.

Sumário

1 A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro	1
1.1 Introdução	2
1.2 Características do semiárido brasileiro	3
1.2.1 A natureza no semiárido	3
1.2.2 Sociedade do semiárido	7
1.2.3 Temas da política de águas do semiárido	8
1.3 A política nacional de recursos hídricos	9
1.3.1 A Constituição e Lei Nacional de Recursos Hídricos	9
1.3.2 Sistema nacional de recursos hídricos	10
1.3.3 Plano nacional de recursos hídricos	10
1.3.4 Agência Nacional de Águas (ANA)	11
1.3.5 Política de recursos hídricos nos Estados	11
1.4 Semiárido brasileiro e a política nacional de recursos hídricos: Convergências e divergências	12
1.5 Desafios à política nacional: Agenda de águas para o semiárido	14
1.5.1 Populações rurais difusas	16
1.5.2 Infraestrutura de armazenamento e transferência hídrica	16
1.5.3 Fortalecimento institucional	17
1.5.4 Sistema de outorga, licença e fiscalização	18
1.5.5 Tarifa de água bruta	19
1.5.6 Comitês de bacias	20
1.5.7 Organização de usuários de água bruta	21
1.5.8 Operação e manutenção da infraestrutura hídrica	22
1.5.9 Gestão da qualidade da água	22
1.5.10 Gestão da água subterrânea	23
1.5.11 Gerenciamento do risco climático em recursos hídricos	24
1.6 Considerações finais	25
Referências bibliográficas	25
2 Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos	27
2.1 Introdução	28
2.2 Gestão de recursos hídricos numa visão prática e conceitos importantes	29

2.3	Implementação de ações para a conservação do solo e da água	31
2.4	Quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos	35
2.5	Compatibilização entre os órgãos gestores de recursos hídricos de critérios para o estabelecimento das vazões máximas permissíveis para a outorga	39
2.6	Uso das vazões mínimas mensais como índice de referência para a definição de critérios visando à concessão de outorgas	44
2.7	Regularização de vazões pela construção de reservatórios	51
2.8	Otimização do uso da água pela agricultura irrigada	53
2.8.1	Melhoria das condições de manejo da irrigação	53
2.8.2	Uso da irrigação com déficit em regiões com carência de água ..	54
2.9	Considerações finais	56
	Referências bibliográficas	57

3	Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas	59
3.1	Introdução	60
3.2	A oferta ambiental	61
3.2.1	O regime pluviométrico	61
3.2.2	As águas subterrâneas	63
3.2.3	Fator solo	64
3.2.3.1	Textura e estrutura	65
3.2.3.2	Porosidade	65
3.2.3.3	Profundidade efetiva	65
3.2.4	Peculiaridade da caatinga	66
3.3	Relação solo-água-plantas na agricultura de sequeiro	67
3.4	O risco da agricultura dependente de chuva	69
3.5	Perfil das principais tecnologias de captação de água de chuva	72
3.5.1	Consumo humano – cisterna	72
3.5.2	Barreiro para uso em irrigação de salvação	75
3.5.3	Captação “in situ”	78
3.5.4	Barragem subterrânea	81
3.5.4.1	Crerios para seleção da área	82
3.6	Considerações finais	83
	Referências bibliográficas	84

4	Planejamento, gerenciamento e uso racional de águas em perímetros públicos de irrigação	87
4.1	Introdução	88
4.2	Gestão dos recursos hídricos no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas	90
4.2.1	Características gerais	90
4.2.2	Administração, operação e manutenção do Perímetro	92

4.2.3	Composição e análise da tarifa de água K_2	92
4.2.4	Planejamento e outorga de uso da água	92
4.2.5	Indicadores de desempenho	94
4.2.5.1	Custo médio de energia elétrica	94
4.2.5.2	Tarifas de água: K_2 fixo e K_2 variável	95
4.2.5.3	Autossuficiência financeira do Distrito de Irrigação	96
4.2.5.4	Impacto da tarifa de água K_2 na produção	98
4.2.5.5	Rentabilidade da área	98
4.2.5.6	Rentabilidade da água	98
4.3	Uso racional e conservação de água	99
4.3.1	Eficiência de aplicação e de uso da água no cultivo do arroz ..	100
4.3.2	Condução e aplicação de água através de politubo janelado ...	102
4.3.3	Irrigação localizada com aproveitamento de água de fonte subterrânea	104
4.3.4	Reúso de água da irrigação por sulcos em sistemas localizados	107
4.4	Considerações finais	110
	Referências bibliográficas	111

5 Conservação e uso racional de água: Integração aquícultura-agricultura . 113

5.1	Introdução	114
5.2	Panorama da aquícultura no mundo	116
5.3	Panorama da aquícultura no brasil	118
5.4	Desafios da aquícultura	121
5.5	Quantitativo de água para aquícultura	123
5.6	Qualidade de água para aquícultura	126
5.7	Estratégias para racionalização e conservação de água na aquícultura	127
5.7.1	Integração aquícultura - agricultura	129
5.7.1.1	Aquícultura em canais de irrigação	131
5.7.1.2	Aquícultura em ambientes modulares e agricultura irrigada - escala familiar	133
5.7.1.3	Aquícultura em ambientes modulares e agricultura irrigada - escala industrial	136
5.7.1.4	Rizipiscicultura	137
5.7.1.5	Aquaponia	140
5.7.2	Aquícultura com água de rejeito de dessalinizadores	142
5.7.3	Aeração mecânica	144
5.7.4	Biorremediação	147
5.7.5	Boas práticas de manejo (BPM)	149
5.7.5.1	BPM para conservação da água	149
5.7.5.2	BPM para a construção dos ambientes de cultivo	150
5.7.5.3	BPM para as espécies cultivadas e alimentação	150

5.7.5.4	BPM para uso de terapêuticos e outros produtos químicos	151
5.8	Considerações finais	151
	Referências bibliográficas	152
6	Uso racional de água no meio urbano: Aspectos tecnológicos, legais e econômicos	163
6.1	Introdução	164
6.2	Reengenharia do ciclo urbano da água no semiárido	166
6.3	Ações preliminares: Aumento da eficiência dos sistemas atuais de abastecimento	171
6.3.1	Ações na escala meso	171
6.3.1.1	Redução das perdas físicas	175
6.3.1.2	Perdas aparentes	176
6.3.2	Ações na escala micro	176
6.3.3	Ações não estruturais para conservação de água e energia	178
6.4	Ações intermediárias: Gerenciamento integrado dos sistemas de água potável, esgoto sanitário e de águas pluviais	179
6.4.1	Manejo de águas pluviais urbanas	179
6.4.2	Sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial	181
6.4.3	Reúso de esgoto sanitário	185
6.4.3.1	Planejamento do reúso	187
6.4.3.2	Usos e padrões de qualidade recomendados para a água de reúso	190
6.5	Considerações sobre o nível de tratamento	192
6.5.1	Reúso de esgoto sanitário	192
6.5.2	Reúso de águas cinzas	195
6.6	Ações de longo prazo: Saneamento ecológico	198
6.7	Considerações finais	201
	Referências bibliográficas	201
7	Conservação dos recursos hídricos no semiárido brasileiro frente ao desenvolvimento industrial	207
7.1	Introdução	208
7.2	Consumo de água industrial no contexto regional	209
7.3	O que é consumo racional de água na indústria?	213
7.4	Água e energia	216
7.5	Usos de água na indústria	217
7.6	Consumo de água industrial sob a ótica da produção limpa	223
7.7	Metodologia para a racionalização do consumo de água industrial: A experiência da rede de tecnologias limpas da Bahia – TECLIM	226

7.7.1	A parceria universidade-indústria	227
7.7.2	Conhecimento de como a água é utilizada nas plantas industriais	228
7.7.3	Aproximação dos saberes acadêmico, operacional e industrial	231
7.7.4	Inserção dos conceitos de produção mais limpa (P + L) através da capacitação permanente e em larga escala	231
7.7.5	Balanco hídrico com dados reconciliados	233
7.7.6	Implementação de um banco digital de idéias	234
7.7.7	Implantação de sistema de informações geográficas (SIG)	235
7.7.8	Otimização das redes de transferência de massa	235
7.7.9	Análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional	236
7.7.10	Elaboração de projetos conceituais	237
7.7.11	Auditoria de fontes de alimentação de efluentes	237
7.8	Resultados alcançados	237
7.9	Considerações finais	242
	Referências bibliográficas	244

8	Águas superficiais no semiárido brasileiro: Desafios ao atendimento aos usos múltiplos	249
8.1	Introdução	250
8.2	O semiárido e as águas	252
8.2.1	Aspectos físicos	252
8.2.2	Aspectos culturais	253
8.2.3	Aspectos políticos	255
8.3	Os potenciais hidráulicos	256
8.3.1	Estimativa do potencial hidráulico	257
8.3.2	Estimativa dos potenciais hidráulicos para a bacia do rio Jaguaribe	258
8.4	O aproveitamento do potencial hidráulico	260
8.4.1	O aproveitamento do potencial do potencial hidráulico móvel	260
8.4.2	O aproveitamento do potencial do potencial hidráulico fixo ..	261
8.5	Desafios ao aproveitamento múltiplo	261
8.5.1	Alocação das águas entre usos competitivos	262
8.5.2	Gerenciamento da planície de inundação	262
8.5.3	Manutenção de uma vazão mínima nos rios	263
8.5.4	Suprimento de água em populações rurais e coleta das águas residuárias	264
8.5.5	Sistemas urbanos de água	265
8.5.6	Manutenção da qualidade das águas	266

8.6 Considerações finais	267
Referências bibliográficas	267
9 Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil	269
9.1 Introdução	270
9.2 Aspectos básicos da hidrogeologia	271
9.2.1 Ocorrência da água subterrânea	272
9.2.2 Fluxo da água subterrânea	275
9.3 Água subterrânea na região semiárida brasileira	275
9.3.1 Terrenos cristalinos versus bacias sedimentares no semiárido brasileiro	276
9.3.2 Terrenos cristalinos	277
9.3.3 Bacias sedimentares	281
9.3.4 Bacias interiores	281
9.3.5 Bacia do Urucuia	284
9.3.6 Bacia do Recôncavo/Tucano	284
9.3.7 Bacia de Jatobá	285
9.3.8 Bacia Potiguar	285
9.3.9 Bacia do Parnaíba	287
9.4 Considerações sobre o uso racional de água subterrânea	289
9.4.1 Reservas versus recursos de água subterrânea	290
9.4.2 Reservas de água subterrânea	290
9.4.3 Recursos de água subterrânea	292
9.4.4 Recursos mobilizáveis ou potencialidade	294
9.4.5 Recursos disponíveis ou disponibilidade	300
9.4.6 Recursos exploráveis	301
9.5 Considerações finais	302
Referências bibliográficas	303
10 Gestão das águas de pequenos açudes na região semiárida	307
10.1 Introdução	308
10.2 Especificidades da região semiárida do Brasil	308
10.2.1 Aspectos históricos e políticos	309
10.2.2 Aspectos hidrológicos	310
10.2.3 Disponibilidade de água	312
10.2.4 O problema da multiplicidade de pequenos açudes	313
10.3 Usos do solo e da água e geração de conflitos em pequenos sistemas	315
10.3.1 Bacias urbanas e periurbanas	315
10.3.2 Bacias rurais	317
10.4 Diretrizes para a gestão das águas de pequenos açudes	318

10.4.1	Organização e participação dos usuários	318
10.4.2	Implantação dos instrumentos de gestão	319
10.4.3	Instrumento complementar ao enquadramento dos corpos hídricos	320
10.5	Considerações finais	320
10.6	Agradecimentos	321
	Referências bibliográficas	321

11 Captação de água de chuva: Uma ferramenta para atendimento

	às populações rurais inseridas em localidades áridas e semiáridas	325
11.1	Introdução	326
11.2	A captação e o manejo de água de chuva: Surgimento e seu quase acaso	327
11.2.1	O porquê do desuso das tecnologias de captação de água de chuva nos tempos modernos	331
11.3	Captação e o manejo de água de chuva hoje: O novo paradigma de uma visão integrada da água	331
11.4	Situação da captação e manejo de água de chuva no semiárido brasileiro (SAB)	337
11.5	Tecnologias de captação e manejo de água de chuva aplicadas ao semiárido	341
11.5.1	Cisternas de água para uso humano	342
11.5.2	Tecnologias de captação de água de chuva para dessedentar animais e uso agrícola	346
11.5.3	Tecnologias de captação de água de chuva para fins ambientais	353
11.6	Política de captação de água de chuva	354
11.7	Considerações finais	356
	Referências bibliográficas	357

12 Reúso de águas residuárias em regiões áridas e semiáridas:

	A experiência israelense	361
12.1	Introdução	362
12.2	Água e esgotos em um país árido	362
12.3	Cronologia do desenvolvimento do reúso	364
12.3.1	Anos Setenta	364
12.3.2	Anos Oitenta	366
12.3.3	Anos Noventa	366
12.3.4	Situação Atual	367
12.4	Temas controvertidos	369
12.4.1	Organização Institucional	369
12.4.2	Qual o limite do reúso?	370

12.4.3	Nutrientes nas águas residuárias	371
12.4.4	Relação contratual entre os setores urbano e rural	372
12.4.5	Uso de reservatórios de águas residuais como unidades de tratamento	372
12.4.6	Critérios para tratamento de águas residuárias para irrigação ..	373
12.4.7	Salinização dos solos e aquíferos: Uma ameaça à sustentabilidade	374
12.5	Considerações finais	377
	Referências bibliográficas	378
13	Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro	383
13.1	Introdução	384
13.2	Clima do semiárido brasileiro	386
13.3	Variabilidade espacial e temporal do clima no semiárido	388
13.3.1	Variabilidade sazonal e intrassazonal	388
13.3.2	Variabilidade interanual: El Niño Oscilação Sul (ENOS) e influência do Oceano Atlântico Tropical	390
13.3.2.1	El Niño e La Niña	390
13.3.2.2	Influência do Oceano Atlântico Tropical	392
13.3.3	Variabilidade interdecadal	393
13.3.4	Tendências de longo prazo	394
13.4	Extremos climáticos observados	396
13.5	Estudo de casos: Secas e cheias na região	398
13.6	Mudanças climáticas no semiárido	400
13.6.1	Cenários de emissão de gases de efeito estufa	401
13.6.2	Projeções de modelos regionais do Relatório de Clima do INPE	401
13.6.3	Novas projeções do modelo regional Eta CPTEC-HadCM3 até 2100	403
13.6.3.1	Projeções de chuva e extremos de chuva	403
13.6.3.2	Projeções de temperatura e extremos de temperatura	405
13.6.4	Projeções do balanço hídrico (Precipitação- Evapotranspiração)	408
13.6.5	Mudanças na delimitação do semiárido do Nordeste do Brasil	411
13.7	considerações finais	413
13.8	Agradecimentos	415
	Referências bibliográficas	416
14	Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI	423
14.1	Introdução	424

14.2 Capacidade de armazenamento hídrico e retenção de umidade nos solos no semiárido do Nordeste brasileiro	424
14.3 Os cenários de mudanças climáticas sobre o Nordeste para o final do século XXI e seus impactos na disponibilidade hídrica ..	427
14.4 Previsões climáticas e de estresse hídrico crescente no semiárido do Nordeste do Brasil	429
14.5 Impactos de mudanças climáticas globais na vegetação do semiárido do Nordeste brasileiro, para o final do século XXI	432
14.6 Considerações finais	437
Referências bibliográficas	437

A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro

Francisco de A. de Souza Filho¹

¹ Universidade Federal do Ceará

- 1.1 Introdução
 - 1.2 Características do semiárido brasileiro
 - 1.2.1 A natureza do semiárido
 - 1.2.2 Sociedade do semiárido
 - 1.2.3 Temas da política de águas do semiárido
 - 1.3 A política nacional de recursos hídricos
 - 1.3.1 A Constituição e Lei Nacional de Recursos Hídricos
 - 1.3.2 Sistema nacional de recursos hídricos
 - 1.3.3 Plano nacional de recursos hídricos
 - 1.3.4 Agências Nacional de Águas
 - 1.3.5 Política de recursos hídricos nos Estados
 - 1.4 Semiárido brasileiro e a política nacional de recursos hídricos: Convergências e divergências
 - 1.5 Desafios à política nacional: Agenda de águas para o semiárido
 - 1.5.1 Populações rurais difusas
 - 1.5.2 Infraestrutura de armazenamento e transferência hídrica
 - 1.5.3 Fortalecimento institucional
 - 1.5.4 Sistema de outorga, licença e fiscalização
 - 1.5.5 Tarifa de água bruta
 - 1.5.6 Comitês de bacias
 - 1.5.7 Organização de usuários de água bruta
 - 1.5.8 Operação e manutenção da infraestrutura hídrica
 - 1.5.9 Gestão da qualidade da água
 - 1.5.10 Gestão da água subterrânea
 - 1.5.11 Gerenciamento do risco climático em recursos hídricos
 - 1.6 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA

Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro

1.1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro tem sua história alicerçada por eventos severos de secas e cheias. Esses eventos marcaram o imaginário popular brasileiro e seu drama foi traduzido em uma rica literatura regional, como em “Vidas Secas”, de Graciliano Ramos, ou em “Quinze”, de Raquel de Queiroz. A ação política de outrora, denominada combate e atualmente de convivência com este clima, ocorreu frequentemente em pulsos de resposta às secas desde a de 1877.

A variabilidade do clima e a escassez hídrica são marcas indelévels do semiárido. Conviver com o semiárido é adaptar a sociedade a uma forma específica da ocorrência do clima na região. Neste sentido, a construção de infraestrutura hídrica, o gerenciamento dos recursos hídricos e o gerenciamento do risco climático são caminhos necessários para a construção de uma estratégia robusta de adaptação das sociedades do semiárido à natureza.

O problema geral dos recursos hídricos (água tanta, tão pouca, tão suja e tão cara) ganha cores intensas na região tendo, como dimensões mais relevantes: o acesso à água das populações rurais difusas; o uso eficiente enquanto insumo ao processo produtivo; o sistema de tomada de decisão no qual devem ser incluídos os atores sociais, a administração de conflitos e a garantia da operação da infraestrutura implantada como única forma de produção dos potenciais benefícios a ela associados.

O semiárido é diverso, é heterogêneo e demanda, desta forma, soluções específicas adequadas a cada uma de suas paisagens. Este semiárido está em significativa transformação nos diversos locais em que as práticas sociais tradicionais são substituídas por novas práticas, com base na irrigação e na industrialização. Esses vetores de mudança são sementes de futuro que já florescem em muitos rincões semiáridos.

A Lei das Águas (9.433/97), pode ser um vetor importante neste processo, ao possibilitar a reforma dos processos de tomada de decisão, migrando do paternalismo-clientelismo para uma prática democrática participativa e ao possibilitar, também, a

organização de um sistema institucional especializado na questão dos recursos hídricos. Esta vontade normativa não se estabelece por si nem de pronto; há que se enfrentar a força da tradição cultural e política que, com sua materialidade histórica, pode capturar as instituições propostas por este sistema nascente, preservando-lhes o conteúdo da tradição. Os fóruns participativos de tomada de decisão no Nordeste semiárido têm que vencer além de seu clássico risco de burocratização, outro não menos danoso, ou seja, o de legitimar, em novas formas, os velhos conteúdos.

Os avanços da reforma da água iniciada na constituição de 1988 e definida na Lei 9.433/97, já têm dado frutos ao semiárido na elaboração das Leis Estaduais de Recursos Hídricos, na definição de um interlocutor institucional para a questão da água, na alocação negociada de água, na construção de fóruns participativos de discussão e decisão sobre recursos hídricos, entre outros progressos. No entanto, as vitórias e dificuldades deste processo devem ser avaliadas com serenidade, sem o ufanismo que só identifica os acertos e não possibilita a evolução do sistema, fragilizando-o, ou a crítica pela crítica que, ao não identificar os avanços, conspira com as forças que antagonizam a reforma contribuindo, desta forma, para cessá-la. Uma visão integral deste processo é necessária e deve ser construída, de forma a possibilitar a consolidação das boas mudanças e a retificação dos equívocos do caminho.

Este capítulo pretende oferecer uma contribuição na delimitação do problema de recursos hídricos no semiárido e de veredas para serem trilhadas pela Política Nacional de Recursos nesta região brasileira. Inicialmente, procura-se descrever as características da natureza e da sociedade no semiárido e quais as questões de recursos hídricos imergem desses condicionantes; em seguida, apresentam-se a política nacional de recursos hídricos, segundo a definição da Constituição de 1988 e da Lei 9.433/97, a ocorrência do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, Sistemas Estaduais e da Agência Nacional de Águas (ANA) e os Programas de Ação do Plano Nacional de Recursos Hídricos. Uma análise das confluências e divergências da problemática da água no semiárido e das proposições é feita para, finalmente, identificar os desafios da Política Nacional e se propor uma agenda para os recursos hídricos no semiárido.

1.2 CARACTERÍSTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Esta seção objetiva caracterizar a natureza e a sociedade do semiárido, de forma a possibilitar a identificação dos problemas atuais dos recursos hídricos, nesta região. Visão panorâmica sobre o semiárido pode ser encontrada, entre outros, no livro “Natureza e Sociedade do Semi-Árido” (Souza Filho & Moura, 2002).

1.2.1 A natureza no semiárido

A natureza no semiárido traz, em si, a marca da escassez hídrica. Do ponto de vista climático, a definição de semiárido vem da classificação do clima de Thornthwaite

(Ayoade, 1988) que o definiu em função do Índice de Aridez (IA), que é reconhecido como a razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. A Tabela 1.1 apresenta a faixa do índice de aridez para diversos climas da terra.

Tabela 1.1 Classificação climática com base no índice de aridez

Índice de aridez	Classificação
$IA < 0,05$	Hiper árido
$0,05 < IA < 0,20$	Árido
$0,20 < IA < 0,50$	Semiárido
$0,50 < IA < 0,65$	Subúmido seco
$0,65 < IA < 1,00$	Subúmido úmido
$IA > 1,00$	Úmido

A paisagem desta região é dominada pela mata branca ou, na língua indígena, “caatinga”. O bioma da caatinga é um dos maiores, ocupando grande parte da região do Nordeste do Brasil. A caatinga é região de grade biodiversidade e nela foram identificados mais de 600 tipos de árvore, enquanto em toda a Europa foram identificados 100. Existe uma grande variedade de matas na caatinga (por exemplo: caatinga densa, arbustiva) caracterizando grande variabilidade deste ambiente, o que enseja a denominação, no plural, de caatingas.

O semiárido brasileiro possui localização anômala em relação aos ambientes de climas áridos e semiáridos tropicais e subtropicais da terra (Ab'Saber, 1974). Estudo realizado pela FUNCEME e BNB (2005), identificou sete unidades geossistêmicas no semiárido brasileiro, com área total de 853 mil km². Entre essas unidades a depressão sertaneja ocupa quase 50% da área. Mencionadas unidades geoambientais se encontram brevemente descritas na Figura 1.1 e na Tabela 1.2. A marca da região semiárida é a heterogeneidade de seus geoambientes ou de suas paisagens.

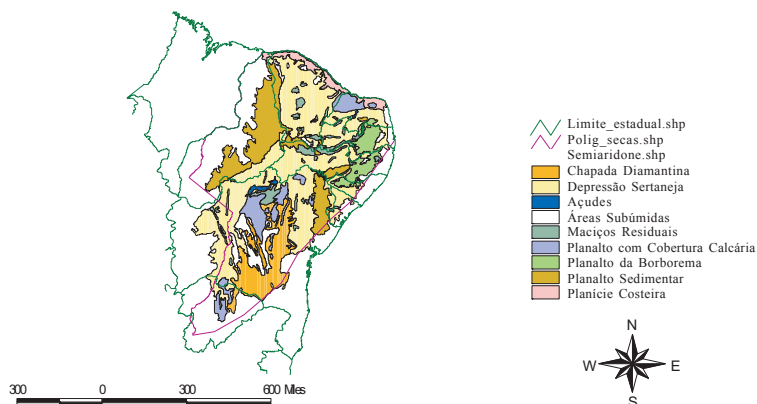


Figura 1.1 Grandes unidades geossistêmicas do semiárido do Nordeste Brasileiro identificadas pela FUNCEME e BNB (2005)

Tabela 1.2 Principais unidades geoambientais do semiárido brasileiro

Nome	Planalto da Borborema	Depressão Sertaneja	Maçiços e serras Baixas	Tabuleiros Costeiros
Precipitação anual (mm)	400 a 600. Existem locais de 1300	500 - 800	700 - 900	800 - 1700
Relevo (m)	600 - 1000	Suave ondulado: testemunhos de ciclos de erosão	300 - 800	50 - 100
Vegetação	Caatinga hipoxerófila; floresta perenifólia, subcaducifólia e caducifólia	Caatinga hipoxerófila	Variada, podendo ser florestas ou caatinga	Mata úmida e subúmida
Economia	Propriedades pequenas e médias. Pólicultura/pecuária e pecuária extensiva	Agricultura para consumo local, caprinocultura e ovinocultura	Propriedades grandes e médias. Agropecuária tradicional	Na zona mais úmida a cana-de-açúcar

A delimitação do semiárido encontra outras definições, além da apresentada pela FUNCEME. O Ministério da Integração Nacional definiu, em 2005 (MI, 2005), uma nova delimitação do semiárido brasileiro a partir de três critérios técnicos:

- precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm;
- índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico, que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- risco de seca maior que 60% tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Em referência a esta classificação, o semiárido brasileiro passou a ter 969.589,4 km², cobrindo 11% do território nacional e contendo 1.132 municípios em dez Estados da Federação (PI, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA e MG).

O ponto central do relato anterior é a reafirmação de que a escassez hídrica e a heterogeneidade espacial são características que marcam a região semiárida brasileira. Desta forma, a ocorrência da água e sua apropriação pela sociedade (transformando-a em recursos hídricos) são centrais para o entendimento da dinâmica da natureza e da sociedade desta região.

A ocorrência da água no semiárido é marcada por sua grande variabilidade espacial e temporal. A precipitação média anual pode variar espacialmente de 400 a 2.000 mm. As precipitações são de verão (dezembro-fevereiro) e de outono (março-maio), tendo o sul do semiárido nordestino maior precipitação de verão e a parcela setentrional precipitações de outono. Este regime de chuvas se dá sob pronunciada sazonalidade, com a precipitação ocorrendo praticamente sobre um período do ano. Este regime de chuvas sobre os solos rasos do cristalino na depressão sertaneja, impõe a existência de rios intermitentes em diversas regiões. Adicionalmente, ocorre uma significativa variabilidade interanual que impõe secas e cheias severas, sobreposta à variabilidade plurianual (decadal) que produz seqüências de anos secos ou úmidos. A Figura 1.2 ilustra este processo de variação.

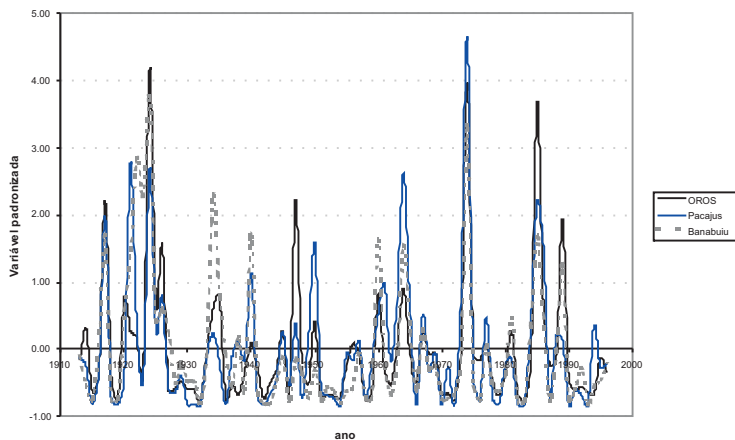


Figura 1.2 Variabilidade das vazões no Rio Jaguaribe na seção de Iguatu. Plotagem realizada com dados da COGERH

O diagnóstico dos recursos hídricos elaborado pelo Projeto Áridas, Vieira (1995), apresenta como principais características do semiárido: i) rios intermitentes; ii) secas periódicas e cheias frequentes; iii) uso predominante da água para abastecimento humano e agropecuário; iv) águas subterrâneas, limitadas em razão da formação cristalina que abrange cerca de 70% do semiárido; v) precipitação e escoamento superficial pequenos, se comparados com o restante do País, enquanto no Brasil, como um todo, o escoamento específico é de $21 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, no Nordeste (NE) é de apenas $4 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (Barth, 1987); vi) a eficiência hidrológica dos reservatórios é extremamente baixa, em função das altas taxas de evaporação e do alto tempo de residência; a disponibilidade efetiva anual, oriunda de reservatórios e de cerca de 1/5 de sua capacidade de acumulação; vii) conflitos de domínio entre União e Estados, em trechos de rios perenizados por reservatórios públicos; viii) necessidade de uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas, nos aluviões que se estendem ao longo de rios providos de reservatórios de montante; ix) a existência de uma ampla infraestrutura hídrica, construída ao longo dos anos, com reservatório de todos os tamanhos, públicos e privados, e poços perfurados no sedimento e no cristalino, apresentando problemas de segurança, manutenção e operação.

Este diagnóstico pode ser atualizado em seu item (vii), em que a existência da ANA proporcionou ferramenta institucional para melhor lidar com este problema.

A escassez devida à alta variabilidade temporal do regime fluvial tem sido enfrentada com a construção de infraestrutura física de transporte da água no tempo.

Sobre essas condições, o reservatório passa a ser um transportador de água no tempo, para compensar a sazonalidade e a variabilidade interanual. Reservatórios de menor porte são capazes de compensar apenas a sazonalidade do regime de vazões (transportando a água do período úmido de cada ano para o período seco do mesmo

ano). Outros podem transportar água do período úmido de um ano para os anos subsequentes, face à variabilidade interanual, sendo esses os médios e grandes reservatórios. A variabilidade de escala decadal ou multidecadal (décadas secas ou úmidas) não é mitigada pelos reservatórios podendo, em certas situações, vir a sê-lo através de infraestrutura de transferências hídricas; no entanto, mais frequentemente a gestão adaptativa dos recursos hídricos é a única solução viável.

A infraestrutura de armazenamento e as transferências hídricas reduziram significativamente a vulnerabilidade, em diversos locais do nordeste semiárido.

1.2.2 Sociedade do semiárido

O Sertão nordestino foi integrado à colonização portuguesa, graças a movimentos populacionais, partindo de dois focos: Salvador e Olinda. Andrade (1998), retrata em detalhes a incorporação do semiárido nos Sertões (denominação da região pertencente ao ciclo do gado), assim como este processo introduziu o regime de latifúndios e as relações de trabalho tradicionais no meio rural do semiárido. De início, este processo de ocupação está associado à indústria açucareira (ouro branco) na zona da mata.

O processo de ocupação, inicialmente associado à economia do gado e depois à sua associação com o algodão, está vinculado ao processo de degradação ambiental devido ao manejo da terra realizado através das coivadas (queima da vegetação como técnica de preparação da terra); técnica indígena que passou a ser utilizada em larga escala. Os solos rasos, principalmente das depressões sertanejas, foram erodidos, impondo perda de produtividade agrícola que interage em um ciclo perverso para o pequeno agricultor: pobreza, baixo nível tecnológico, baixa produtividade, pobreza; ciclo este que se intensifica pela expropriação do pequeno excedente do agricultor realizada pelas secas ou pelas cheias ou, ainda, pelas relações assimétricas de produção, que se deram no campo semiárido, sendo este o quadro histórico em que se encerra a agricultura de subsistência da região.

O fenômeno natural das secas tem seus impactos alocados de forma desigual nos diferentes grupos sociais, criando problemas de justiça ambiental. Este processo condicionou a evolução histórica das relações sociais entre os diferentes setores sociais envolvidos nas secas, Neves (2000), em sua “A multidão e a história: saques e outras ações de massa no Ceará”, demonstra esta construção e o estabelecimento de uma cultura das secas. Este processo tem, nos atuais programas governamentais de assistência social (bolsa família, aposentadoria, seguro safra...) novos condicionantes, que transformam a fisionomia desses sertões. A agricultura irrigada é outra força que muda os sertões no Vale do São Francisco e no Apodi, entre outras regiões semiáridas, estabelecendo novas relações de produção no campo. O surgimento de grandes cidades com comércio e indústria, completa os vetores de transformação. Este processo dual encontra uma bela formulação em Gomes (2001),

quando observa a permanência do quadro histórico da agricultura de subsistência no semiárido atual, perseverando as “Velhas Secas”, que contrastam com os “novos sertões” semeados pelos ventos de mudanças aqui identificados.

Neste processo se reforça a clivagem entre o rural e o urbano, entre a agricultura irrigada de capital intensivo e a agricultura de subsistência, entre a sociedade autoritária e paternalista tradicional e as políticas de assistência governamentais, essas clivagens tencionam a sociedade do semiárido.

1.2.3 Temas da política de águas do semiárido

Os problemas de recursos hídricos no semiárido do nordeste ocorrem em um espaço natural e social heterogêneo, impondo problemas diferentes que exigem soluções específicas. A primeira clivagem é estabelecida por aqueles que pertencem e pelos que não pertencem a um sistema de recursos hídricos (hidrossistema).

Comumente, os que não pertencem a um sistema de recursos hídricos são frequentemente as populações rurais difusas e a agricultura de sequeiro.

O acesso à água das populações rurais difusas continua a ser um problema significativo, não obstante sua redução percentual devido à imigração para centros urbanos. Aqui se faz imprescindível a água para beber e para produzir. Diferentes políticas públicas com base em uma solução tecnológica específica, têm passado pelo semiárido, como ondas: a pequena açudagem, os poços como dessalinizadores e as cisternas são algumas delas. Essas políticas não estão baseadas, com frequência, em uma visão integrada do território e promovem uma solução homogênea para um espaço sócio-natural heterogêneo. A homogeneização da solução impõe que se somem, aos exemplos de sucesso onde a solução promovida pela política é a mais adequada, exemplos de dificuldades onde a mesma não o é deixando-se, desta forma, de explorar o melhor de cada tecnologia disponível. Demanda-se aqui uma política que integre alternativas de abastecimento adequadas para os diferentes espaços sendo necessárias, para este fim, a elaboração de uma cesta de tecnologias de abastecimento e uma cesta de modelos gerenciais que produzam solução sustentável do ponto de vista técnico, financeiro, administrativo e social.

A agricultura de sequeiro contempla uma grande variedade, indo da agricultura de subsistência ao latifúndio capitalista. Esta variedade traduz níveis de vulnerabilidade e oportunidades diferentes à variabilidade do clima e à disponibilidade hídrica. O entendimento das alternativas de ação e consequente processo de decisão de cada um desses subconjuntos de agricultores de sequeiro, deve ser o passo inicial na definição da estratégia de ação específica. Para alguns desses a previsão da disponibilidade hídrica através do uso da previsão climática pode ser relevante e, para outros, a assistência social pode ser a ação necessária.

Os que pertencem a um hidrossistema são aqueles que têm seu abastecimento de água associado a um manancial superficial (reservatório, rio perenizado, aluvião

recarregado por perenização) ou subterrâneo (grande aquífero sedimentar). Nesses hidrossistemas pode haver um uso/usuário ou múltiplos usos/usuários. A definição da disponibilidade hídrica e como a mesma será apropriada pelos diferentes usos/usuários, é o problema central desses hidrossistemas. As características do semiárido (clima e geologia) impõem que o potencial hídrico da região carece, para ser ativado, de construção de infraestrutura física. Por exemplo, os solos rasos da depressão sertaneja e a pronunciada sazonalidade e variabilidade climática interanual, impõem que a disponibilidade hídrica em grande escala seja superficial e que reservatórios que transportem a água durante o ano (devido à sazonalidade) e entre anos (devido à variação interanual), sejam construídos, constituindo-se esta uma característica marcante dos recursos hídricos do semiárido. As infraestruturas físicas que viabilizaram o uso (reservatórios, poços, canais...) podem ser de uso singular ou múltiplo. Devido à escala de investimento, todos os sistemas de maior porte são de uso múltiplo e tiveram implantação com financiamento público.

A infraestrutura de recursos hídricos no semiárido necessita ser implantada, operada e mantida e deve promover benefícios para a sociedade; para este fim, três classes de ações são inerentes aos recursos hídricos no semiárido: i) a construção da infraestrutura hídrica; ii) sua operação e manutenção e iii) a gestão da apropriação desses recursos escassos e, desta forma, conflituosos pelos usuários de água.

A problemática dos recursos hídricos posta desta forma traz, em si, uma questão de escala. O abastecimento das populações difusas é frequentemente pontual e os hidrossistemas têm sua ocorrência na escala de bacia hidrográfica sendo, desta forma, regional.

1.3 A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

1.3.1 Constituição e Lei Nacional de Recursos Hídricos

A Constituição de 1988 redefiniu o domínio das águas do Brasil, estabelecendo os rios de domínio do Estado (com nascente e foz no mesmo Estado, Artigo 26 Constituição de 1988) e os de domínio Federal (os que ultrapassam fronteiras estaduais e/ou cruzam a fronteira brasileira, Artigo 20 Constituição de 1988) e definiu a existência de um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.

A Lei 9.433/97 definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos em seus fundamentos, objetivos e instrumentos, e regulamentou a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Esta Lei estabeleceu, como fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, que: i) a água é um bem de domínio público; ii) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; iii) em situações de escassez o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; iv) a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar, sempre, o uso múltiplo das águas; v) a bacia hidrográfica e a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; vi) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Tendo por objetivo: i) assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos; ii) a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; iii) a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

A Política de Recursos Hídricos tem, como diretrizes: i) a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; ii) a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País; iii) a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; iv) a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; v) a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo; vi) a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são o Enquadramento, Planejamento, Outorga, Cobrança e o Sistema de Informações.

1.3.2 Sistema nacional de recursos hídricos

Objetivos do Sistema Nacional: i) coordenar a gestão integrada das águas; ii) arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; iii) implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; iv) planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; v) promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: i) o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; ii) a Agência Nacional de Águas; iii) os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; iv) os Comitês de Bacia Hidrográfica; v) os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais, cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; vi) as Agências de Água.

Os atores sociais deste processo são o Estado (nível federal, estaduais e municipais), a sociedade civil organizada e os usuários de água (setor produtivo).

1.3.3 Plano nacional de recursos hídricos

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), é momento privilegiado da política nacional, ao definir as metas e o conteúdo dos programas de ações da política nacional.

O primeiro PNRH foi publicado em 2006. A construção deste plano se deu sob o paradigma do planejamento político cuja fundamentação técnica serve de base para a construção de pactos entre os atores sociais, sobre o presente e o futuro desejável e o caminho para alcançá-los. Esta forma de planejamento participativo proposta na Lei das Águas, necessita ainda de importantes aperfeiçoamentos metodológicos, não obstante as significativas conquistas já obtidas.

O PNRH definiu seu Programa XII como específico para o semiárido, denominado “Programa de Gestão Sustentável de Recursos Hídricos e Convivência com o Semiárido Brasileiro”. Este programa específico sobre o semiárido não teve ainda o detalhamento realizado. Outros programas do PNRH incumbem ações de caráter geral aplicadas ao semiárido ou focalizam especificamente o semiárido nordestino; como exemplo, pode-se citar o Programa VI, denominado “Programa de Usos Múltiplos e Gestão Integrada de Recursos Hídricos”.

1.3.4 Agência Nacional de Águas

A Agência Nacional de Águas (ANA), é um importante agente de gestão para as águas no semiárido. A diretiva da ANA, de descentralizar ações transferindo, de forma responsável, para os Estados Federados, ações, tem-se mostrado correta em diversas situações evitando, desta forma, a tentação da criação de uma gigante e incontrolável burocracia nesta agência para fazer face às suas tarefas institucionais. A catalisação, de acordo entre os Estados como no marco regulatório do Piranhas-Açu, é outro tipo de iniciativa que constrói um sistema de gestão mais racional. A utilização de incentivos econômicos/financeiros (Ex. Pro-Água) para os Estados se equiparem jurídica e administrativamente, tem produzido bons resultados em algumas situações.

A descentralização em oposição à desconcentração, a catalisação de processos políticos e a utilização de incentivo econômico/financeiro aos Estados, têm sido os principais instrumentos de ação da ANA no semiárido. A ANA tem sido, desta forma, um importante ator na gestão de recursos hídricos do semiárido nordestino.

Observa-se, aqui, que uma dificuldade se encontra na bipolaridade da política Federal de recursos hídricos, que designa a um ministério a construção da infraestrutura hídrica e, a outro, a gestão de água, impondo dessincronização em virtude das diferenças de prioridade, dinâmicas e culturas frequentemente encontradas entre pastas ministeriais diferentes, o que aparta dois momentos essenciais para a Política de Águas do Semiárido, isto é, a infraestrutura física de oferta e a regulação do uso e operação dos sistemas.

1.3.5 Política de recursos hídricos nos Estados

Os Estados do semiárido possuem diferentes políticas de recursos hídricos em seus objetivos, diretrizes e instituições. Esta diferença é condicionada pelas diferentes

dinâmicas políticas, economias e culturais que individualizam, dando identidade a cada uma dessas unidades da federação.

A diversidade da dominialidade da água e os processos políticos nos Estados do Nordeste, são uma força de diferenciação, enquanto a natureza do semiárido e os programas federais (por exemplo: Pro-Água) produzem identidade.

1.4 SEMIÁRIDO BRASILEIRO E A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS: CONVERGÊNCIAS E DIVERGÊNCIAS

O impasse dos recursos hídricos no semiárido, como anteriormente descrito, tem três dimensões: (i) infraestrutura de estocagem plurianual e transferência hídrica; (ii) gestão dos recursos hídricos, notadamente dessa infraestrutura, contemplando operação e manutenção das mesmas e regulação de seus usos, incluindo alocação de água e (iii) abastecimento de populações rurais difusas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, como descrita na Lei 9.433/97, tem seus fundamentos, objetivos e diretrizes aderentes aos problemas do semiárido nordestino. Os instrumentos da Lei são adequados para a gestão não contemplando, de forma explícita, ferramentas que tratem da construção da infraestrutura, reservação plurianual e regional, além do problema das populações rurais difusas. Esta dificuldade da Lei pode estar associada a uma lógica interna de gestão da escassez hídrica em região úmida ou ao fato da água ser entendida como natureza e não como infraestrutura para o desenvolvimento (recursos hídricos) ou, ainda, pode estar associada à praticidade da operação da Lei se dar apenas por um ministério.

O potencial de recursos hídricos precisa, para ser ativado frequentemente de infraestrutura de armazenamento e transferência hídrica. Esta é uma dimensão inalienável de uma política de águas para o semiárido, tal como a operação e a manutenção da infraestrutura são fundamentais para que a mesma possa prover os benefícios. Com o uso da água, benefícios dele decorrentes ocorrerão para um usuário específico em situação de escassez em detrimento de outro; desta forma, haverá conflito de interesses na alocação deste bem escasso, com gestão da demanda (regulação do uso) que promova uso eficiente do recurso e sistema de alocação que promova eficiência econômica e justiça social. Essas ações devem ser integradas ao sistema de recursos hídricos. O sistema federal delega atribuições de construção da infraestrutura hídrica ao Ministério da Integração Nacional e de regulação do uso ao Ministério do Meio Ambiente e ANA, culminando em dificuldades de integração deste conjunto de ações.

A resposta dos Estados quanto ao enfrentamento deste problema, é a mais diversa. Há Estados onde uma única secretária especializada em recursos hídricos gerencia todas essas funções (ex.: Ceará) e outras que as distribuem em diferentes instituições.

A dificuldade básica para a resolução do impasse está na dupla função da água, por ser natureza e desenvolvimento. Enquanto coisa em si, a água é meio de suporte para os ecossistemas enquanto coisa para nós, ela é insumo para o processo

produtivo, é recurso hídrico. Este recurso hídrico necessita ser “produzido” no semiárido através da infraestrutura de armazenamento e transferência hídrica, tornando-se este processo “produção” impactante do meio ambiente natural. Desta forma, a “indústria da água” não pode ser parte do sistema ambiental devendo pelo mesmo ser regulada; isto posto, a ocorrência dual das ações de recursos hídricos na esfera Federal tem sua racionalidade reconhecida e, portanto, seu direito de existir. Esta existência, no entanto, leva a importantes ineficiências em virtude da dificuldade de articulação margeando, muitas vezes, a incompatibilidade da visão da política fundada pela Lei 9.433/97 e a visão hidráulica clássica.

Desafio relevante está na definição da forma de aplicação dos instrumentos de gestão para o semiárido.

O enquadramento dos cursos d’água define o rio que se deseja, os usos permitidos e as metas de qualidade da água do curso d’água. A dificuldade reside, aqui, na intermitência dos cursos de água do semiárido que esvaziam os critérios baseados em níveis de permanência dos cursos d’água, como a $Q_{7,10}$ e a existência de estoques de água plurianual com altos períodos de residência, que modificam sensivelmente a qualidade da água e o ecossistema. A análise da resiliência dos sistemas fluviais e seus ecossistemas é um caminho de trabalho que pode identificar a capacidade de suporte desses sistemas e possibilitar a identificação dos níveis e tipos de aproveitamento e seus impactos pontenciais no curso d’água, abrindo espaço para o enquadramento dos sistemas fluviais de rios intermitentes.

A outorga é outro desafio por sua dimensão institucional e pela dificuldade de quantificação do volume outorgável devido à incerteza climática. A garantia do direito outorgado, notadamente em anos de escassez, quando retiradas não autorizadas podem acontecer, é um grande desafio institucional. A outorga só é um instrumento de gestão efetivo caso haja sistema de fiscalização e punição que garantam institucionalmente o direito outorgado. No entanto, a alta variabilidade climática na escala decadal com décadas secas e úmidas, é o grande desafio. Deve-se estabelecer estratégia adaptativa que aproveite as oportunidades das décadas úmidas e reduza as perdas em décadas secas. Para este fim, a existência de usos de baixo custo fixo e baixa prioridade deve ser estimulada ao lado de usos de maior capital intensivo e/ou prioridades, esses usos de menor eficiência econômica (não obstante, devem ter alta eficiência no uso da água) serão ativados ou desativados, dependendo do período ser de mais úmido ou seco.

A cobrança pelo uso da água no semiárido tem função econômica (prover eficiência econômica no uso da água) e financeira (viabilizar os recursos para operação e manutenção do sistema, além das demais atividades da gestão), devendo o modelo de gestão dos recursos hídricos incorporar este objetivo dual.

O planejamento de recursos hídricos é um instrumento relevante de tomada de decisão. A Lei 9.433/97 estabelece que o processo de tomada de decisão seja participativo, sendo este um supremo absoluto do modelo propugnado por esta lei, em cujo contexto o planejamento racional clássico de base tecnocrática deve dar lugar ao planejamento

político. Esta transição não é trivial, pois o planejamento político necessita de base técnica para que os ganhos e perdas (*trade-off*) dos diferentes agentes sejam devidamente reconhecidos e possibilitem acordos/pactos robustos, assim como se fazem necessários conhecimentos para a construção de decisões sustentáveis. A elaboração de metodologias consistentes e equilibradas para o planejamento político de recursos hídricos, não obstante os avanços obtidos em diversas experiências exitosas deste tipo de planejamento.

O processo de tomada de decisão demanda informações e, no contexto de variabilidade natural (clima e geoambientes) dos semiáridos, essas informações se fazem mais preciosas; assim, são essenciais o desenvolvimento e a manutenção de sistema de informações em especial de uma classe desses, qual seja, o sistema de apoio a decisão.

As especificidades da gestão de recursos hídricos no semiárido demandam a construção de novos instrumentos adequados às características da região como, por exemplo, instrumento que trate da operação e manutenção de infraestrutura hídrica incluindo-se, aqui, a segurança de barragens e demais obras hídricas.

A participação nos processos de gestão deve ser analisada com cuidado no contexto do Nordeste. A tradição autoritária e paternalista pode transvestir-se de nova roupagem. Neste sentido, a estrutura e o fluxo de poder dos colegiados de gestão, a representatividade dos atores sociais e uma nítida definição das decisões a serem tomadas pelos colegiados, devem ser analisados para evitar captura pela lógica tradicional ou que esses colegiados não sejam espaços povoados por setores sem legitimidade social que os usam para interesses menores, burocratizando-os. Os colegiados (por ex.: comitês de bacia), só merecem existir se tiverem que decidir ou influenciar sobre temas relevantes e seus componentes tenham legitimidade e representatividade.

1.5 DESAFIOS À POLÍTICA NACIONAL: AGENDA DE ÁGUAS PARA O SEMIÁRIDO

A Política Nacional de Recursos é compatível com as necessidades do semiárido, devendo-se promover uma agenda de recursos hídricos que, ao tempo em que integre as múltiplas dimensões do problema, detalhe os instrumentos de gestão dos recursos hídricos considerando as especificidades da região semiárida; passa-se, então, a discutir elementos para a construção desta agenda da Política Nacional de Águas para o semiárido.

A construção de uma estrutura institucional que integre a construção de infraestrutura hídrica, sua operação e manutenção e a regulação dos usos aos processos de tomada de decisão e financiamento do sistema proposto pela Lei 9.433/97, deve ser operacionalizada. Neste sentido, deve-se reconhecer que o sistema de recursos hídricos é usuário do meio ambiente (ex.: ao construir barragens) e deve ser regulado pelo sistema ambiental, cabendo aqui uma distinção que estabelece a identidade dos dois sistemas demandando-se, assim, existência própria de cada uma;

não obstante a individualização dos sistemas, há espaço para integração e produção de importantes sinergias positivas como, por exemplo, o setor de recursos hídricos pode usufruir do sistema de coerção (fiscalização e normas de punição) do sistema ambiental, para promover o comportamento desejável dos usuários de água, tal como o sistema ambiental pode usufruir dos instrumentos econômicos do setor de recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos deve incorporar, ao semiárido o problema do abastecimento de populações rurais difusas. Esta é uma questão de grande relevância sendo também a componente A do programa de ação aqui delineado.

A construção de infraestrutura física de armazenamento e a transferência hídrica ainda são ações necessárias em muitas regiões e constituirão a componente B do programa de ação aqui delineado.

Tem-se realizado no semiárido, nas últimas décadas, uma profunda reforma na gestão da água. Não obstante a diversidade da ocorrência desta reforma, pode-se afirmar que a ela contemplam múltiplas dimensões do gerenciamento de recursos hídricos, tais como:

i) a instalação de uma infraestrutura político-jurídico-institucional, que administre o sistema;

ii) descentralização e participação pública no processo de tomada de decisão e sistema administrativo de gerenciamento de conflitos, constituído das comissões de usuários, comitês de bacia e conselhos estaduais de recursos hídricos;

iii) sustentabilidade financeira e mecanismo de financiamento do sistema, através da cobrança pelo uso da água;

iv) a construção de infraestrutura física que aumente as garantias do sistema e permita a transferência de água para o suprimento dos usos, com maior valor econômico e social;

v) a internalização da cultura de operação e a manutenção de hidrossistemas como forma de garantir a produção de benefícios sociais das infraestruturas construídas;

vi) o planejamento como instrumento de seleção das ações a serem adotadas;

vii) a capacitação institucional (técnica e instrumental) para o gerenciamento do sistema.

A reforma da água operada no semiárido contempla, desta forma, mudanças políticas na transparência e forma de tomada de decisões, culturais na forma de relação entre público e privada, no critério como se constrói, opera-se e se mantém a infraestrutura e na visão de sustentabilidade financeira, econômica e social dos sistemas constituindo-se, assim, em uma reforma que opera sobre processos sociais profundos, demandando tempo para a construção de uma nova cultura das águas, associada ao sistema de valores promovidos pela reforma.

Esta reforma da água não se encontra concluída, estando em momento decisivo de sua consolidação. Uma agenda para a Política de Águas para o semiárido deveria contemplar pelo menos cinco objetivos:

- i) consolidação e aprimoramento dos instrumentos de gerenciamento da demanda: outorga, licença, fiscalização e tarifa pelo uso da água;
- ii) consolidação da gestão da oferta quantitativa das águas superficiais (através da operação e manutenção da infraestrutura hídrica) e introdução de mecanismos da gestão da qualidade da água, tal como das águas subterrâneas;
- iii) aprimoramento dos mecanismos de participação pública e gerenciamento de conflitos pelo uso da água;
- iv) fortalecimento institucional a fim de capacitá-los aos desafios desta fase da reforma em curso;
- v) gerenciar o risco climático nos recursos hídricos.

Esses cinco objetivos ensejam pelo menos oito componentes de ação:

- fortalecimento institucional;
- sistema de outorga, licença e fiscalização;
- programa de tarifa de água bruta;
- comitês de bacias;
- organização de usuários de água bruta;
- operação e manutenção da infraestrutura hídrica;
- gestão da qualidade da água;
- gestão das águas subterrâneas;
- gerenciamento do risco climático em recursos hídricos

Com base na experiência do Ceará pode-se identificar uma agenda para os recursos hídricos no semiárido, como se segue.

1.5.1 Populações rurais difusas

Prevêem-se, aqui, ações que objetivam:

- implantação de sistemas de abastecimento rural para populações difusas;
- desenvolvimento e implantação de sistema de gestão dos abastecimentos de populações rurais difusas.

Os problemas de acesso à água das populações rurais difusas e das regiões periurbanas, continuam graves; demanda-se uma solução integrada para o problema que reconheça as especificidades naturais e sociais do local a ser abastecido e proponha solução sustentável do ponto de vista técnico, administrativo, financeiro e social.

Para este fim, uma cesta de soluções tecnológicas e outra de soluções gerenciais devem ser elaboradas e oferecidas a cada local, para uma seleção mais sustentável.

1.5.2 Infraestrutura de armazenamento e transferência hídrica

Prevêem-se, aqui, ações que objetivam:

- a construção de infraestrutura de estocagem de água, que permita a regularização plurianual;
- a construção de obras de transferência hídrica.

A variabilidade espacial e temporal da ocorrência da água, demandam uma infraestrutura física que transporte a água no tempo (reservatórios) e no espaço (adutoras e canais) com vista a reduzir as flutuações da oferta hídrica. O potencial hídrico do semiárido ainda não foi totalmente ativado devendo-se construir, frequentemente, reservatórios para ativá-lo. A construção de obras de transferência hídrica pode ser um aliado importante na redução da variabilidade espaço-temporal da ocorrência de água, ao possibilitar a interligação de regiões com certa diferença temporal da ocorrência da água ou com disponibilidades hídricas médias diferentes.

1.5.3 Fortalecimento institucional

Realizar ações de fortalecimento das instituições, com o objetivo de:

- desenvolver a política de recursos humanos do Sistema de Administração dos Recursos Hídricos (SARH);
- melhorar a infraestrutura física e informacional das instituições do SARH;
- implantar o desenvolvimento do sistema de planejamento de recursos hídricos e gestão da informação;
- aprimorar os mecanismos de acompanhamento dos projetos.

Os sistemas de gerenciamento de recursos hídricos tiveram sua implantação, na forma atual, na última década. O fortalecimento e a modernização deste sistema necessitam do aprimoramento de três dimensões, em particular a dos recursos humanos, infraestrutura física e informacional e o desenvolvimento de um sistema de planejamento permanente.

A política de recursos humanos deverá promover a capacitação do corpo técnico, incluindo o intercâmbio com instituições nacionais e internacionais. Esta capacitação deverá ser orientada por um planejamento que identifique os perfis profissionais necessários nas diversas instituições do sistema. Este planejamento deverá contemplar sistema de remuneração que permita a capacidade técnica, assim como a capacidade gerencial. Novos talentos necessários ao sistema deverão ser selecionados, recrutados e treinados. Este processo se constitui em uma reestruturação do quadro técnico do sistema de gerenciamento de recursos hídricos.

As condições e ferramentas de trabalho devem ser melhoradas de forma a compatibilizá-las às necessidades do sistema e a viabilizar a maior produtividade do quadro técnico. Desta forma, a melhoria de instalações, o desenvolvimento e aquisição de sistemas computacionais e softwares e de veículos automotores, se fazem urgentes.

O planejamento tem sido uma ferramenta utilizada em diversos Estados para a definição da política de recursos hídricos, mas o planejamento tem sido estanque aos serviços associados à produção dos documentos de planejamento e os diversos

níveis de planejamento não se encontram bem articulados enquanto as informações produzidas na construção desses documentos são, muitas vezes, perdidas. Faz-se necessário, portanto, um sistema de planejamento contínuo, que defina as ações a serem realizadas, avalie essas ações e realize os ajustes necessários. Este sistema deverá definir e articular os diferentes tipos e níveis de planejamento; enfim, ele deverá possibilitar a avaliação e o controle das ações em curso, permitindo a construção de cenários prospectivos e a tomada de decisões sobre as ações demandadas na administração das águas.

O desenvolvimento dessas atividades necessitará de um sistema de acompanhamento das intervenções com características operacionais de planejamento.

1.5.4 Sistema de outorga, licença e fiscalização

Esta classe de ações tem três objetivos, a saber:

- estabelecimento de bases técnicas e informacionais sólidas, para a emissão das outorgas com vistas à expansão da aplicação deste instrumento;
- implementação de um sistema de fiscalização (controle) dos usuários de água, eficiente e eficaz;
- aprimoramento dos métodos e instrumentos utilizados no licenciamento de obras hídricas.

O direito de uso da água definido na outorga e sua efetividade garantida pela fiscalização, são fatores decisivos da qualidade em qualquer sistema de gerenciamento de recursos hídricos. O sistema de outorga carece ser aprimorado urgentemente. O conhecimento sobre a oferta hídrica de longo prazo e a definição de critérios de alocação desta oferta através da outorga de longo prazo, são imprescindíveis para a definição da demanda instalada no sistema, isto é, quanto será, por exemplo, de irrigação e indústria permitido instalar no sistema. A grande variabilidade climática decadal dos regimes impõe incertezas que necessitam ser incorporadas ao processo de tomada de decisão e demandam estratégias robustas para a outorga de longo prazo que, ao promover o uso econômico das águas, não produza perdas sociais significativas em conjunto de décadas mais secas.

Adicionalmente, é imperativo conhecer os usuários de água e suas características. Esta base de informação permite o planejamento em geral e, especificamente, o da outorga, da mesma forma como o planejamento da fiscalização. O levantamento de informações e o cadastramento dos usuários reduzem a assimetria de informações entre o sistema de regulação e controle e os usuários de água. Adicionalmente, referidas informações podem ser úteis na construção de uma estratégia para a legalização dos usuários (de uso significativo) junto ao sistema de gerenciamento, através da outorga.

A alocação de água se dá, em muitos lugares, pela outorga e pelo processo de alocação de água negociada. Esses processos não se encontram articulados e este último não encontra amparo adequado no sistema normativo. É desejável a articulação dos dois processos entre si e com a cobrança pelo uso da água, de forma a possibilitar uma alocação de água com eficiência econômica, equidade e legitimidade social.

O direito de uso da água deverá ser garantido através de um sistema de fiscalização, visto que, sem fiscalização, poderá haver retiradas ilegais que comprometerão os direitos de uso outorgado, sendo desta forma dimensões inalienáveis a outorga, a cobrança e a alocação de água, em seu conjunto. A fiscalização consiste na identificação do infrator (monitoramento de ações ilícitas) e sua punição. A identificação do infrator demanda ação de poder de polícia do Estado devendo o mesmo estar capacitado para esta ação; os custos da ação do poder público podem ser reduzidos se houver mecanismos de autorregulação (ação privada). Esta classe de ação contempla a implantação e o desenvolvimento de um sistema de fiscalização incorporando-lhe a dimensão pública e privada e a revisão do sistema normativo, que define o sistema de fiscalização do uso da água.

O sistema de controle do Estado opera sobre a oferta, da mesma forma como já descrito para a demanda, através da licença de obras hídricas. A licença de obras hídricas é instrumento fundamental para a gestão da oferta sustentável; como exemplo, pode-se citar a construção de pequenos reservatórios que têm a importante função de distribuição da água no espaço territorial, permitindo diversos usos mas que podem impor perdas significativas ao sistema de regularização plurianual. O aprimoramento dos métodos e as informações utilizados no sistema de licenciamento são de importância crucial no gerenciamento da oferta hídrica. O licenciamento de obras para o aproveitamento subterrâneo será contemplado na componente gerenciamento de águas subterrâneas.

Os usuários de água e a sociedade necessitam ser informados e educados sobre o sistema de outorga, finalização e licença quanto ao material educativo, que deve ser elaborado e distribuído.

1.5.5 Tarifa de água bruta

Esta classe de atividades tem, como objetivo:

- aprimorar o programa de cobrança pelo uso da água, com vistas à promoção do uso da água economicamente eficiente e que garanta a sustentabilidade financeira do sistema de gerenciamento de recursos hídricos;
- integrar cobrança à outorga e ao processo de alocação, negociada de forma a permitir um processo de alocação de água que promova eficiência econômica, equidade e legitimidade social;
- desenvolvimento de instrumentos econômicos complementares e a cobrança pelo uso da água que promova eficiência econômica e equidade social;
- redução de perdas financeiras através da macromedição dos maiores usuários de água bruta.

A cobrança pelo uso da água no sistema de gerenciamento de recursos hídricos do Ceará, tem a dupla função: financiadora do sistema e de incentivo econômico à conservação de água. Este instrumento de gestão não se encontra intimamente associado à outorga de direito de uso, embora seja uma necessidade do sistema

atual, devendo-se verificar a alternativa de associar a cobrança pelo uso da água aos diferentes níveis de risco definidos pelo alocados no sistema de prioridades da outorga, como forma de aumentar a eficiência econômica do sistema.

A incorporação de instrumentos econômicos complementares à cobrança, tais como fundo operacional para anos seco e sistema de seguro para os usuários, deve ter sua oportunidade analisada; os fundos teriam a responsabilidade de equalizar os fluxos financeiros do sistema, financiando os custos de operação (ex.: bombeamento) e “enforcement” mais altos nos anos secos, anos em que a receita da agência deverá cair (“menor estoque para realizar”) mantidos constantes os preços da água ou com pequenas oscilações; outro instrumento que deve ter sua viabilidade analisada é o seguro como instrumento de transferência de risco que possibilite a redução de perdas econômicas em anos extremos.

A cobrança carece de um sistema de apropriação de custos que permita a identificação dos mesmos em cada componente do sistema hídrico. Este sistema permitirá o desenvolvimento de um gerenciamento dos custos que produza melhor relação custo-efetividade; adicionalmente, dará maior transparência à aplicação dos recursos da tarifa.

A integração entre cobrança, a outorga e a alocação negociada, é importante para a construção de um mecanismo de alocação de água robusto e que produza os resultados sociais desejados. Esta integração permitirá, adicionalmente, dar maior previsibilidade aos resultados e à alocação de água negociada.

As potenciais perdas financeiras de arrecadação do sistema podem ser reduzidas por um sistema de macromedição dos volumes de água utilizados. Este sistema de macromedição contribuirá também para dar o incentivo econômico correto aos usuários de água (cada um será cobrado exatamente pelo uso efetivamente realizado e não o uso estimado).

1.5.6 Comitês de bacias

Tem-se, como objetivo:

- promover o controle social do gerenciamento dos recursos hídricos, através da ampliação da transparência das informações e decisões pertinentes à bacia (tais como arrecadação pela cobrança, outorgas de usos, licenças de obras, planejamento da bacia, decisões do comitê) permitindo seu acesso aos membros dos comitês e à sociedade, em geral;
- desenvolver programa de formação dos membros do comitê para a redução de assimetrias entre os segmentos, advinda dos diferentes níveis de informação;
- apoio ao planejamento participativo e à arbitragem de conflitos no comitê.

O sistema de gerenciamento de recursos hídricos, criado pela Lei 9.433/97 tem, como um de seus objetivos básicos, o gerenciamento de conflitos, de forma administrativa tendo o Comitê de Bacia como momento privilegiado.

O planejamento de recursos hídricos pode ser uma ferramenta para mapear, explicitar e dirimir conflitos entre os agentes sociais e econômicos em uma bacia hidrográfica.

Neste sentido, o aprimorar o planejamento participativo nos comitês de bacia para a elaboração dos planos de bacia e demais documentos de planejamento, é um instrumento a ser utilizado na construção de consenso e na arbitragem de conflitos.

O processo de participação pública pode ser comprometido caso haja grande assimetria de informação entre os agentes sociais dele participantes. Faz-se necessário, desta forma, o desenvolvimento de programa educacional que reduza a assimetria de informação e possibilite a construção de consensos mais sólidos e com maior equidade.

A transparência e o controle social do gerenciamento de recursos hídricos são importantes e devem ser promovidos. A construção de mecanismos de disseminação da informação como portais e ferramentas que viabilizem sua disponibilidade para esses mecanismos, deve ser elaborada para viabilizar a transparência e o controle social do processo.

1.5.7 Organização de usuários de água bruta

Tem-se, como objetivo:

- fomentar a instalação de comissões gestoras de sistemas hídricos;
- desenvolvimento de métodos e ferramentas computacionais de apoio à alocação negociada de água;
- desenvolver programa de educação junto aos usuários da água, com vistas à promoção do uso racional da água;
- difusão das práticas de conservação hidroambiental desenvolvidas no Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental (PRODHAM);
- desenvolver estratégias de gerenciamento do risco climático de secas, de forma a promover integração social, eficiência econômica e equidade social.

As organizações de usuários de água criadas no Ceará, em 1994, tem na alocação negociada de água um de seus maiores objetivos. E, juntamente com os comitês de bacia, constituem as instâncias de participação em escala local e regional.

A ampliação deste espaço de decisão através da instalação de comissões gestoras de sistemas hídricos, constitui a ação desta componente. A ampliação desses espaços deve ser acompanhada do desenvolvimento de métodos e ferramentas computacionais de apoio à alocação negociada de água para as comissões existentes e a ser instaladas. Ditas ferramentas devem dirimir o conflito cognitivo, identificando as alternativas de solução para a análise e decisão das comissões contribuindo, desta forma, para a maior transparência do processo e a construção de soluções com maior sustentabilidade social.

O programa de educação junto aos usuários da água com vistas à promoção do uso racional da água, deve ser realizado como instrumento de modificação das práticas atuais que, em diversas áreas, apresentam grande desperdício no uso da água.

A essas práticas de conservação da água se deve somar a difusão das práticas de conservação hidroambiental desenvolvidas, por exemplo, na Base Zero, na Paraíba, e no PRODHAM, no Ceará, como forma de promover o uso sustentável dos recursos

ambientais nas microbacias; Essas práticas reduziram os processos de erosão e seus impactos e poderão permitir maior disponibilidade hídrica no sistema.

O gerenciamento de recursos hídricos tem aumentado a segurança dos sistemas hídricos; no entanto, períodos de escassez hídrica (meses, anos ou décadas) poderão ocorrer e neste sentido se deve desenvolver estratégias de gerenciamento do risco climático de secas, de maneira a promover integração social, eficiência econômica e equidade social. O planejamento, as estratégias e os instrumentos de gestão desses períodos devem ser implementados e desenvolvidos.

1.5.8 Operação e manutenção da infraestrutura hídrica

Esta classe de atividades tem, como objetivo:

- a exploração integral dos benefícios econômicos e sociais da infraestrutura existente, através da reabilitação e da melhoria da infraestrutura hídrica;
- eficiência e eficácia da operação dos sistemas em tempo real, através da automação da operação da infraestrutura hídrica;
- desenvolvimento da infraestrutura, métodos e técnicas utilizados na operação e manutenção do eixo da integração, com vistas à segurança e eficiência no uso desta infraestrutura.

A cultura de operação e a manutenção dos sistemas hídricos devem ser desenvolvidas, a exemplo da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) no Ceará. Esta prática potencializa a exploração das infraestruturas disponíveis com custos mais baixos, isto é, produzir os benefícios sociais a menor custo; esta é uma silenciosa transformação com importantíssima melhoria na qualidade do gerenciamento da oferta hídrica; enfim, o desejável aprofundamento desta prática.

A operação em tempo real, através da automação e do desenvolvimento de sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), deverá ser implementada nos sistemas estratégicos com vistas a possibilitar segurança e eficiência operacional.

Algumas infraestruturas que não foram projetadas de forma a facilitar a operação e a manutenção ou em que essas práticas não foram executadas adequadamente, necessitam ser reabilitadas e/ou melhoradas, sendo esta reabilitação o caminho que leva essas infraestruturas a produzirem os benefícios sociais planejados.

1.5.9 Gestão da qualidade da água

Esta classe de ações trata da qualidade de águas superficiais e subterrâneas que serão tratadas posteriormente. Tem-se, como objetivo:

- definir os instrumentos econômicos e de controle, necessários para um gerenciamento eficiente da qualidade da água;
- definição do marco regulatório e do sistema normativo e legal do gerenciamento da qualidade da água, assim como os mecanismos de integração ao gerenciamento de quantidade;

- definir a estratégia de implementação do sistema de gerenciamento da qualidade da água (GQA);
- dar continuidade e efetividade aos resultados do PRODHAM avaliando a possibilidade de incorporação das estratégias de manejo hidroambiental deste programa, ao sistema de gerenciamento da qualidade da água.

O gerenciamento de recursos hídricos superficiais no semiárido não tem incorporado adequadamente os aspectos da qualidade da água. O crescimento das cidades, das indústrias, piscicultura e irrigação, introduz a qualidade da água como problema relevante. A incorporação da qualidade da água no gerenciamento de recursos hídricos é o objeto desta componente.

O gerenciamento da qualidade da água deverá incorporar instrumentos de incentivo econômico e participação pública em adição aos mecanismos de comando e controle, tornando-se esta uma diferença importante entre a gestão da qualidade da água, feita pelo setor de recursos hídricos e o setor ambiental (marcadamente comando e controle).

Inicialmente, a estratégia de definição da política de gestão da qualidade da água encontra, no Ceará, uma dificuldade: os padrões e critérios definidos para os corpos de água atualmente disponíveis, são marcadamente para regiões úmidas e não para o semiárido do Brasil. A definição da política de gestão da qualidade da água deverá revisitar esses critérios e padrões, de forma a adequá-los às especificidades do semiárido.

Na definição do modelo de gestão incorporando instrumentos normativos e econômicos, a participação pública deve ser realizada tal como a implantação de sua base informacional, institucional e legal.

O processo de definição deste arcabouço deverá contemplar: a) o diagnóstico das fontes poluidoras concentradas e difusas, urbanas e rurais; b) a modelagem matemática que funcione com sistema de apoio à decisão do sistema de monitoramento e ao planejamento do modelo de gerenciamento da qualidade da água (esta modelagem deve permitir a integração da informação disponível, a avaliação de impactos e a construção de cenários atuais e futuros); c) o projeto de rede de monitoramento; d) a proposição de arcabouço político-jurídico-institucional de gerenciamento da qualidade e a implantação de projeto piloto para teste deste modelo, incluindo a estratégia de monitoramento; e) a definição do modelo quanto a experiência do projeto piloto que incorpore a outorga, a cobrança e a fiscalização (incluindo monitoramento) da qualidade, as formas de participação pública e o sistema normativo (leis, decretos e resoluções) que amparem o modelo de gestão.

1.5.10 Gestão da água subterrânea

Esta classe de ações tem, como objetivos:

- definir os instrumentos econômicos e de controle necessários para um gerenciamento quali-quantitativo das águas subterrâneas;

- definição do marco regulatório e do sistema normativo e legal do gerenciamento das águas subterrâneas, além dos mecanismos de integração ao gerenciamento das águas superficiais;
- definir a estratégia de implementação do sistema de gerenciamento das águas subterrâneas.

O semiárido tem, em seu território, dois grandes domínios de ocorrência das águas subterrâneas: o cristalino e o sedimentar. O domínio cristalino tem sua exploração frequentemente associada ao abastecimento de pequenas comunidades. Sob o domínio sedimentar (ex: Gurgueia, Apodi, Araripe e Barreira) é que se dão os principais usos econômicos e o abastecimento de populações das águas subterrâneas.

A definição de uma política de gestão quali-quantitativa das águas subterrâneas e sua integração com a das águas superficiais, é o objeto desta componente. Tal política deverá contemplar a outorga e a cobrança de água subterrânea. A definição das normas (leis, decretos e resoluções) que constituirão o arcabouço jurídico desta política, deverá ser formulada e implantada da mesma forma que a infraestrutura institucional, para operar o modelo de gestão.

Utilizar-se-á, na construção desta política, um modelo matemático dos aquíferos sob um sistema de apoio à decisão, como forma de avaliação das disponibilidades hídricas e dos impactos dos diferentes cenários decorrentes das alternativas de políticas analisadas. Este modelo terá, como função, sistematizar as informações disponíveis nos estudos dos aquíferos já realizados e contribuirá para o planejamento da rede de monitoramento das águas subterrâneas e na definição de novos estudos.

O sistema de gerenciamento necessita de uma rede de monitoramento das águas subterrâneas através de poços e piezômetros. Esta rede de monitoramento terá múltiplas funções, entre elas a de instrumentalizar a fiscalização essencial a qualquer modelo de gestão.

1.5.11 Gerenciamento do risco climático em recursos hídricos

Esta classe de ação trata do Gerenciamento do Risco Climático em suas diversas escalas temporais de ocorrência de sua variabilidade (sazonal, interanual e multidecadal) e devido à mudança climática. O gerenciamento do risco climático é estratégia transversal e tem por objetivo:

- identificar os riscos associados ao clima no projeto, construção e operação de infraestrutura de recursos hídricos, tal como o gerenciamento da demanda de água;
- identificar estratégias bem-sucedidas de convivência com a alta variabilidade climática, estratégias que reduzem ou neutralizam crises sociais quando do estresse hídrico, devido aos eventos climáticos extremos;
- proposição de estratégias robustas transversais às ações de gestão de recursos hídricos que deem maior resiliência e capacidade de adaptação das sociedades às secas.

O Gerenciamento de Risco Climático é estratégia desejável para minimizar as crises sociais e os impactos nas infraestruturas de recursos hídricos, em virtude dos eventos

climáticos extremos. Esta estratégia deve incorporar a criação de seguros possivelmente associados à cobrança pelo uso da água e outras medidas não estruturais e medidas estruturais. As ações devem ocorrer nas escalas regional, estadual e nas bacias hidrográficas.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A heterogeneidade e a variabilidade climática do semiárido são as características fundamentais da natureza, nos semiáridos do Nordeste do Brasil. Essas características demandam soluções específicas adequadas a cada paisagem e a cada modo de variação do clima. O gerenciamento do risco climático dos recursos hídricos é chave neste cenário.

A Política Nacional de Recursos Hídricos na forma apresentada pela Lei 9.433/97, tem instrumentos úteis para a gestão de recursos hídricos no semiárido carecendo de um aprimoramento metodológico para uma aplicação mais eficiente e sustentável. O Plano Nacional de Recursos Hídricos deve ter definido melhor as ações para a região, de forma a prover uma Agenda Integrada para a Política Nacional de Recursos Hídricos para o semiárido.

Os avanços da Política de Recursos Hídricos na região foram significativos, havendo ainda a necessidade de consolidação de conquistas e ajustes em algumas direções. Propõem-se, aqui, elementos para uma agenda de ações.

O semiárido continua desafiador, não obstante se mostrar cada vez mais possível a produção de condições materiais para que suas populações tenham boa qualidade de vida. A existência de uma inteligência do semiárido é decisiva para a identificação de soluções sustentáveis de adaptação do homem ao seu meio. Essas alternativas podem servir para que a sociedade e, notadamente, seu setor político, as utilizem na construção de políticas públicas que promovam o desenvolvimento com eficiência econômica e com sustentabilidade e justiça ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, M. C. A Terra e o homem no Nordeste. Recife: Editora Universidade UFPE.1998.
- Ayoade, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Editora Bertrand Brasil, 1988.
- Gomes, G. M. Velhas secas em novos sertões: Continuidade e mudança na economia do semi-árido e cerrados nordestinos. Ed. IPEA. 2001.
- Ministério da Integração. Nova delimitação do semi-árido. Brasília, 2005.
- Neves, F. C. A multidão e a história: saques e outras ações de massa no Ceará. Ed. Relume Dumará. 2000.
- Sampaio, E.; Rodal, M. J. Fitofisionomias da caatinga: Documento para discussão no GT Botânica. Petrolina, 2000.

Souza Filho, F. A.; Moura, A. D. (org.). Natureza e sociedade do semi-árido. 2002.
Vieira, V. P. P. B. GT II - Recursos hídricos 2.0 - Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino. Projeto ARIDAS. 1995.

Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos

Fernando F. Pruski¹ & Pedro L. Pruski¹

¹ Universidade Federal de Viçosa

- 2.1 Introdução
 - 2.2 Gestão de recursos hídricos numa visão prática e conceitos importantes
 - 2.3 Implementação de ações para a conservação do solo e da água
 - 2.4 Quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos
 - 2.5 Compatibilização entre os órgãos gestores de recursos hídricos de critérios para o estabelecimento das vazões máximas permissíveis para a outorga
 - 2.6 Uso das vazões mínimas mensais como índice de referência para a definição de critérios visando à concessão de outorgas
 - 2.7 Regularização de vazões pela construção de reservatórios
 - 2.8 Otimização do uso da água pela agricultura irrigada
 - 2.8.1 Melhoria das condições de manejo da irrigação
 - 2.8.2 Uso da irrigação com déficit em regiões com carência de água
 - 2.9 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos

2.1 INTRODUÇÃO

A água não é apenas um elemento necessário para quase todas as atividades humanas mas, sendo também, componente fundamental da paisagem e do meio ambiente. Quando há abundância, a água pode ser tratada como um bem livre, sem valor econômico. Com o crescimento da demanda começam a surgir conflitos entre os usuários e a água passa a ser escassa e precisa ser gerida como um bem econômico ao qual deve ser atribuído o valor adequado.

O conceito de seca varia expressivamente conforme o tipo de usuário que a define e a caracteriza por eventos extremos associados a um período anômalo em que as precipitações, ou as vazões naturais, são menores que as que normalmente ocorrem na região, fato que pode causar insuficiência para o abastecimento de água aos setores usuários, conforme as demandas existentes.

A escassez, por sua vez, está associada a uma situação em que a disponibilidade hídrica é insuficiente para atender às demandas e manter as condições ambientais mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentável. A caracterização do risco de ocorrência da escassez hídrica requer um conhecimento apropriado, tanto da disponibilidade como das demandas.

A escassez também pode decorrer de aspectos qualitativos quando a poluição afeta de tal forma a qualidade que os padrões excedem os admissíveis para determinados usos. Os corpos d'água têm a capacidade de diluir e assimilar efluentes neles lançados por meio de processos que proporcionam sua autodepuração. Esta capacidade, entretanto, é limitada, podendo ocorrer situações em que a carga poluidora lançada é acima da tolerável. A capacidade dos corpos d'água assimilarem poluentes depende da vazão disponível, sendo a concentração de poluentes inversamente proporcional à vazão. Os aspectos de quantidade e qualidade de água são, portanto, indissociáveis.

Enquanto a caracterização da ocorrência de secas está associada à sazonalidade das condições climáticas, a escassez depende de uma análise mais profunda, tanto das disponibilidades quanto das demandas, podendo estar associada a outros fatores

que não aqueles relacionados às variações decorrentes do clima, como é o caso das condições associadas ao crescimento das demandas.

Neste capítulo se busca apresentar algumas alternativas, dentre as inúmeras possíveis, que podem permitir o aumento da disponibilidade de água e o uso mais racional dos recursos hídricos, atenuando conflitos já existentes ou potenciais.

2.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NUMA VISÃO PRÁTICA E CONCEITOS IMPORTANTES

A gestão de recursos hídricos é a forma para equacionar e resolver as questões associadas à escassez. Pode-se dizer, em uma visão prática, que a gestão de recursos hídricos se assemelha à gestão da economia familiar. A disponibilidade hídrica é o quanto se ganha. As demandas são o quanto se gasta. A poupança são os reservatórios (superficiais e subterrâneos), que permitem que, em períodos em que a receita é menor que as despesas, se possa utilizar os recursos estocados. As transposições são empréstimos feitos a fundo perdido.

No processo de gestão dos recursos hídricos é necessário considerar, também, os aspectos qualitativos, à medida em que, durante o processo de circulação, a água sofre alterações na sua qualidade em razão das ações antrópicas e das próprias interrelações do meio ambiente com os recursos hídricos.

A vazão máxima, a vazão crítica de enchente ou vazão de projeto utilizada na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas, tais como canais, bueiros, vertedores de barragens, galerias de águas pluviais, sistemas de drenagem, apresenta pequena importância no processo de gestão de recursos hídricos.

A estimativa da vazão máxima é de grande importância para o controle de inundações e dimensionamento adequado de obras hidráulicas e, portanto, em ações relativas ao planejamento dos recursos hídricos. A gestão, entretanto, está diretamente associada às vazões mínimas e médias evidenciadas ao longo da hidrografia.

A disponibilidade natural de água na hidrografia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem, refletindo o potencial disponível para o abastecimento de água para populações, indústrias, irrigação, navegação, dessedentação animal, lançamento de poluentes e outras atividades, sem que lhes seja necessária a regularização de vazão dos cursos d'água.

As vazões mínimas são caracterizadas por sua duração e frequência de ocorrência, a qual está associada ao período de retorno do evento considerado. A vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos, designada $Q_{7,10}$, é bastante utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica natural dos cursos d'água.

Outro procedimento usado para avaliar as vazões mínimas é a curva de permanência, que permite a obtenção da vazão associada a diferentes níveis de permanência no tempo como, por exemplo, a Q_{95} e a Q_{90} (vazões com 95 e 90% de permanência no tempo), que também são muito usadas para avaliar a disponibilidade natural dos cursos d'água.

A vazão média permite caracterizar a disponibilidade hídrica potencial de uma bacia sendo, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração, a maior vazão possível de ser regularizada no curso d'água.

Então, enquanto a vazão mínima está diretamente associada à disponibilidade natural de um curso d'água, a vazão média de longa duração se relaciona à disponibilidade potencial sendo que, para a adequada gestão dos recursos hídricos é necessário, tal como na gestão de um orçamento doméstico, conhecer a disponibilidade (natural e potencial) de água a fim de compatibilizá-la com as demandas já existentes e futuras.

O Brasil tem vivenciado expressivas mudanças na concepção da administração e uso dos recursos hídricos a partir da promulgação da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta lei apresenta, como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade de consideração da gestão descentralizada dos recursos hídricos.

Embora seja notório que venham sendo vivenciadas importantes experiências relativas à busca de alternativas para a melhor gestão e utilização dos recursos hídricos, muitas regiões, entretanto, se tem agravado e tornado ainda mais evidente o quadro de deficiência ou, até mesmo, insuficiência da disponibilidade de recursos hídricos, tanto do ponto de vista quantitativo como do qualitativo.

Conforme estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, a unidade básica de planejamento deve ser a bacia hidrográfica e não a hidrografia. A hidrografia é apenas o sistema circulatório da bacia. O corpo é a bacia. O que é feito na bacia reflete na hidrografia. Intervir diretamente na hidrografia é trabalhar na consequência, é como se faz com alguém que sofreu um ataque cardíaco. Se a pretensão é atuar na causa, o local mais apropriado é intervir na bacia. A mudança deste enfoque é essencial para que se migre de um plano eminentemente de gestão para um plano efetivamente voltado ao planejamento da bacia.

Neste contexto, a consideração das áreas agrícolas apresenta papel essencial pois, embora a agricultura responda somente através da irrigação por cerca de 70% do consumo total de água, é nas áreas ainda não impermeabilizadas que se potencializa a produção de água com regularidade e qualidade, enquanto em áreas urbanas, com alto grau de impermeabilização, o grande interesse é a rápida drenagem da água, nas áreas agrícolas há um interesse especial de garantir a infiltração da água e a sua manutenção por um tempo maior no sistema hidrológico. Representam essas áreas, portanto, reservatórios com alto potencial para a regularização das vazões reduzindo as vazões máximas associadas ao escoamento superficial e aumentando a disponibilidade de água nos períodos de estiagem.

A aplicação da ciência, tecnologia e inovação à gestão de recursos hídricos é essencial para aumentar a disponibilidade hídrica natural e, também, otimizar as

demandas e, conseqüentemente, adequar o balanço entre disponibilidades e demandas, garantindo a maximização da relação entre benefícios e custos e a minimização dos impactos ambientais.

2.3 IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo. Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos à produção agropecuária, também promovem a poluição de rios e reservatórios.

A erosão também causa problemas à qualidade e disponibilidade de água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez no período de estiagem.

Os principais problemas que ocorrem em cursos e reservatórios d'água em decorrência do processo erosivo são: a) redução da capacidade de armazenamento; b) redução do potencial de geração de energia elétrica; c) elevação dos custos de tratamento da água; d) desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água e prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas e e) aumento dos custos com a dragagem.

No Brasil, os problemas decorrentes da erosão são muito sérios. Estimativas feitas por Hernani et al. (2002) são de que as perdas anuais de solo em áreas ocupadas por lavouras e pastagens no Brasil são da ordem de 822,7 milhões de toneladas. A esses valores estaria associada uma perda total, no âmbito da propriedade rural, de US\$ 2,93 bilhões por ano, que se refere aos custos relativos à reposição de corretivos e fertilizantes, somados às perdas referentes à menor produtividade e aos maiores custos de produção, ocasionados pela erosão.

Os custos externos à propriedade rural devidos ao processo erosivo (tratamento de água, reposição da capacidade de acumulação de reservatórios, manutenção de estradas, recarga de aquíferos, maior consumo de combustíveis, maior consumo de energia elétrica em áreas irrigadas, entre outros) somariam US\$ 1,31 bilhões anuais. Assim, estimaram que a erosão promoveria ao Brasil um prejuízo de US\$ 4,24 bilhões por ano.

Além das perdas de solo existe, ainda, outro problema, associado à manutenção da água precipitada na propriedade. Grande parte desta água escoou sobre a superfície do solo fazendo com que haja uma redução do volume de água, que atinge o lençol freático.

Embora o panorama evidenciado na atualidade já caracterize uma situação bastante preocupante e algumas medidas expressivas estejam sendo tomadas no sentido de reduzir essas perdas, como a inserção e a expansão da área cultivada com plantio direto, diversas projeções indicam, para o futuro, um agravamento da situação em consequência das mudanças climáticas esperadas para o século XXI.

Uma estimativa do efeito das mudanças climáticas globais nas perdas de solo é de que no meio Oeste dos Estados Unidos ocorra um acréscimo de 39% por volta do ano 2050, mesmo se os produtores rurais fizerem os necessários ajustes na adubação do solo a fim de manter a produção de biomassa e a produtividade constantes (Williams, 2000).

Pruski & Nearing (2002) realizaram estudo das variações potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo considerando as mudanças climáticas esperadas no século XXI. As variações estimadas para o período estudado (1990 a 2099), em relação às estimadas para 1990, foram de -24,3 a 41,0% para o escoamento superficial e de -13,9 a 101,9% para as perdas de solo. As variações foram maiores para as perdas de solo que para o escoamento superficial e, para ambas, maiores que para a precipitação. Embora o aumento estimado nos níveis de CO₂ para o século XXI deva contribuir para o aumento da produtividade e, conseqüentemente, da produção de biomassa, o grande aumento esperado na temperatura terá um efeito mais expressivo e tenderá a promover um decréscimo na produtividade, aumentando o escoamento superficial e as perdas de solo.

Visando identificar o limite máximo de perdas a fim de manter a capacidade produtiva de um solo é que foi criado o conceito de tolerância de perdas de solo, que caracteriza sua quantidade máxima, que pode ser perdida por erosão sem que a área apresente queda expressiva de produtividade.

Tendo em vista o fato de que as perdas de solo, mesmo quando mantidas dentro do limite tolerável para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo, podem estar causando prejuízos excessivos a outros setores, é necessário que a sociedade avalie, inclusive através dos comitês de bacias hidrográficas, considerados no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos como os órgãos colegiados onde são debatidas as questões referentes à gestão das águas, se as perdas evidenciadas se encontram dentro de limites para assegurar a sustentabilidade da bacia, como um todo.

Com base neste aspecto, a Agência Nacional de Águas (ANA) propôs o programa intitulado Produtor de Água, que se constitui em um programa voltado para a melhoria da qualidade e da quantidade de água produzida em áreas agrícolas. Neste programa é previsto o pagamento, segundo o conceito provedor-recebedor, aos produtores que, através de práticas e manejos conservacionistas, contribuam para a melhoria das condições dos recursos hídricos.

Se a água é tratada como um bem dotado de valor econômico e que, para o seu uso, é cobrado um valor financeiro, seja pela sua abstração ou pela sua contaminação, nada mais justo que o recurso advindo desta receita seja investido na bacia, sobretudo como forma de remuneração para aqueles que adotam as medidas recomendáveis à sua preservação, seja em relação à sua quantidade, seja em relação à qualidade.

Para a construção das estradas são necessárias a eliminação da cobertura vegetal e a compactação do solo, o que reduz a infiltração da água e, conseqüentemente, aumenta a propensão ao escoamento superficial. Quando atinge determinada vazão,

este escoamento assume grande potencial para provocar o desprendimento e o transporte do solo, causando problemas para a manutenção da estrada, ao danificar acostamentos, taludes e o próprio leito da estrada.

O escoamento advindo das estradas interfere também nas áreas adjacentes, provocando a formação de sulcos e vossorocas e, desta forma, danos às áreas agrícolas e aos recursos hídricos. Estradas em condições inadequadas podem iniciar ou agravar processos erosivos em áreas cultivadas, prejudicando a produtividade e, em contrapartida, a lucratividade dos produtores, afetando ainda a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos.

A erosão provocada pela água no leito e nas margens de estradas não pavimentadas é um dos principais fatores para sua degradação, sendo responsável por aproximadamente metade das perdas de solo no Estado de São Paulo (Anjos Filho, 1998).

No Estado da Carolina do Norte (Estados Unidos), Grace III et al. (1998) observaram que mais de 90% do sedimento produzido em áreas florestais provêm das estradas, sendo a drenagem inadequada um dos principais fatores responsáveis por essas perdas. Reid & Dunne (1984) acrescentam que a maior parte do sedimento produzido na superfície da estrada é de tamanho inferior a 2 mm, sendo o material desta granulometria o mais prejudicial ao sistema aquático.

O custo de implantação de sistemas de conservação de solos é, em geral, bem inferior ao custo associado às suas consequências. Estudo realizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) a respeito do custo associado ao assoreamento do Sistema Tietê-Pinheiros, caracteriza um aporte de sedimentos de $5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, ao qual está associada uma despesa anual de cerca de R\$ 200 milhões, sendo que seriam necessários apenas cerca de R\$ 2 milhões por ano para reduzir em 50% o aporte desses sedimentos.

O controle do escoamento superficial permite a transformação dos problemas causados, como a produção de erosão hídrica, de enchentes e do assoreamento de rios e reservatórios, entre outros, no aumento da disponibilidade de água nos períodos de estiagem.

Cabe ressaltar, mais uma vez, a grande diferença no tratamento dado às áreas urbanas e às áreas com exploração por atividades agro-silvo-pastoris, de preservação permanente e de reserva legal. Enquanto nas primeiras o objetivo é o rápido transporte do escoamento superficial à rede de drenagem, nas outras se busca a contenção do escoamento, a fim de minimizar os prejuízos dele advindos. Para tanto, é essencial o desenvolvimento de ações no âmbito da bacia visando à adoção de práticas que possibilitem o aumento da infiltração da água no solo.

Em áreas com ocupação pela agricultura, pecuária, silvicultura e em áreas de preservação permanente e reserva legal, o objetivo deve ser o aumento da infiltração na própria área de cultivo enquanto nas áreas ocupadas com estradas não pavimentadas o objetivo deve ser o de controlar o escoamento superficial e direcioná-lo a estruturas que possam assegurar a infiltração.

A água que se infiltra no solo sofre retardamento para a sua chegada aos mananciais de água, fazendo com que os problemas afetos à sua concentração nos períodos chuvosos sejam minimizados, e sua disponibilidade nos períodos de estiagem aumente.

Pode-se dizer, portanto, que a adoção de medidas de contenção do escoamento corresponde a “transformar problemas em solução”. Também, o enfoque qualitativo deve ser considerado, sempre que a qualidade da água provinda da contribuição do escoamento subterrâneo é, em geral, muito superior àquela associada ao escoamento superficial.

Desta forma, o planejamento conservacionista deve estar baseado no aumento do tempo de permanência da água na bacia, o que corresponde dizer que, quanto mais alto for o local em que se promover a infiltração da água na encosta mais eficiente será o programa de conservação da água e do solo, uma vez que menores serão a liberação e o transporte de sedimentos pelo escoamento superficial, e maior será a permanência da água na bacia.

As condições do escoamento da água na hidrografia são diretamente influenciadas pelas condições presentes na bacia. Portanto, o aumento da disponibilidade da água e a redução dos riscos associados ao escoamento superficial são amplamente influenciados pelas intervenções feitas na bacia. A consideração desses aspectos é essencial em um plano de recursos hídricos que, desta forma, deve ser mais abrangente que um plano dedicado apenas à gestão.

É importante que se tenha sempre em mente que, embora a agricultura, principalmente através da irrigação, seja o grande consumidor de água, é também nessas áreas não urbanizadas que se pode proceder à produção de água com maior qualidade e regularidade, à medida em que, conforme já mencionado, e enquanto nas áreas urbanas o maior interesse é a rápida condução da água à rede de drenagem, nas áreas com baixo grau de impermeabilização se propicia a oportunidade para o retardamento da chegada da água à hidrografia e para o aumento da sua disponibilidade nos períodos de estiagem.

A pressão pela produção de alimentos e de fibras cresceu de forma muito intensa nas últimas décadas, seja pelo grande aumento da população mundial seja, também, pelo próprio aumento da demanda per capita, por esses insumos. O aumento da produção, entretanto, deve ser planejado, e não da forma desordenada, como se processou no Brasil durante a última década do século passado e, de certa forma, também neste século, às custas de uma exploração insustentável dos recursos naturais e de uma utilização do solo acima da sua capacidade de suporte.

Destaque especial merece a grande expansão de pastagens e áreas de cultivo em substituição à cobertura florestal, e que acabou por acarretar, em muita áreas, prejuízos ambientais expressivos decorrentes da incapacidade apresentada pelo solo para suportar o tipo de uso e manejo adotados, causando o quadro de degradação evidenciado em muitas bacias, e que hoje tem exigido a implantação de programas de revitalização, voltados a tentar restabelecer as condições perdidas em função da ocupação e utilização inadequadas do solo.

É imprescindível a busca da utilização do solo conforme sua capacidade de uso e manejo procurando-se, inclusive, a correção das grandes distorções cometidas quando da substituição, em muitas áreas, da cobertura nativa por usos totalmente inadequados à capacidade do solo.

Reconhecer e utilizar o solo conforme sua capacidade de uso e manejo é, portanto, o primeiro requisito para um plano adequado de conservação de solo e água. As práticas conservacionistas são medidas importantes; entretanto, acessórias para assegurar a contenção do processo erosivo.

Nesta ótica é possível ir muito além da tão emblemática e almejada revitalização de nascentes. É possível pensar em devolver algumas das nascentes que “desceram a encosta” ao seu lugar de origem. Não é sonho. É apenas a aplicação das leis da física às condições ambientais.

A adoção de práticas para o controle do processo erosivo e a consequente conservação do solo e da água consistem na prática mais eficiente também em relação à conservação dos recursos hídricos, à medida em que intervém tanto na ocorrência das vazões máximas como no aumento da disponibilidade hídrica, valendo-se da própria capacidade de regularização disponível na bacia hidrográfica, correspondente ao reservatório de armazenamento (natural) de águas subterrâneas.

A aplicação de práticas científicas e tecnológicas é essencial para atenuar o processo erosivo e garantir a conservação adequada do solo e da água.

O Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, tem desenvolvido pesquisas e disponibilizado técnicas voltadas ao controle do processo erosivo, considerando-se as condições típicas relativas à realidade brasileira.

O Hidros é um conjunto de softwares que disponibilizam metodologias para o dimensionamento de projetos hidroagrícolas e permitem: determinar os parâmetros da equação de chuvas intensas (Plúvio 2.1); dimensionar canais para a condução de água (Canal); dimensionar sistemas de drenagem de superfície (Dreno 2.0); racionalizar o uso de práticas para o controle da erosão em áreas agrícolas e selecionar, dimensionar e otimizar a implantação de sistemas de terraceamento (Terrço 3.0); dimensionar sistemas de drenagem e bacias de acumulação em estradas não pavimentadas (Estradas); e obter o hidrograma de escoamento superficial ao longo de uma encosta ou em canais de terraços ou drenos de superfície (Hidrograma 2.1). Esses softwares estão disponíveis no site <http://www.ufv.br/dea/gprh> e no livro intitulado Hidros: Dimensionamento de Sistemas Hidroagrícolas (Pruski et al., 2006).

2.4 QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Como administrar um orçamento doméstico sem saber o quanto se ganha?

Embora muito se fale a respeito da importância que se tem dedicado a estudos mitigadores de problemas associados à água, na prática, entretanto, ainda falta, nitidamente, a consciência da sociedade em geral e da maioria dos órgãos gestores de

recursos hídricos, de que a água é um recurso escasso. Se existisse esta consciência, haveria, certamente, um investimento maior no conhecimento da sua disponibilidade e em forma para a sua melhor utilização.

O aumento das demandas, sobretudo daquelas para a produção de alimentos e de biocombustíveis, exercerá um forte impacto na disponibilidade de água, especialmente nos aspectos quantitativos, enquanto o crescimento populacional, industrial e pela demanda de minérios, trará um impacto mais relevante nos aspectos qualitativos. Este, que seria, em uma abordagem inicial, um processo adverso, pode constituir, no caso do Brasil, um grande impulso para o desenvolvimento do setor do agronegócio. Será necessário, entretanto, o investimento no desenvolvimento de ações que permitam uma análise mais criteriosa da disponibilidade e do uso da água.

Para subsidiar o processo de outorgas é fundamental o conhecimento das disponibilidades hídricas ao longo da hidrografia, mas este conhecimento, quando disponível, fica, em geral, restrito aos locais onde estão localizadas as estações fluviométricas.

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados.

O conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia auxilia as decisões político-administrativas associadas à disponibilidade e ao uso da água. É essencial, portanto, o desenvolvimento de ações voltadas ao melhor conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos e da melhor forma de sua utilização.

Alguns dos conflitos já existentes poderiam ser minorados e, até mesmo, resolvidos, a partir de um conhecimento melhor do processo de circulação da água na bacia hidrográfica.

Estudos de regionalização da disponibilidade natural (mínima), potencial (média) e das curvas de regularização de vazões mostram a disponibilidade efetiva de água não somente para condições ditas a fio d'água e representadas pela vazão mínima mas, também, para as condições ditas potenciais e representadas pela vazão média.

A quantificação correta da disponibilidade dos recursos hídricos por meio de estudos de regionalização que considerem a real complexidade do processo, potencializará uma alocação melhor da água. Esses estudos devem: envolver variáveis que ajudem a descrever o comportamento do sistema natural, como a consideração da "inércia hídrica"; considerar a variação das vazões mínimas ao longo do ano, por meio da sua quantificação em uma base mensal; buscar o melhor aproveitamento das vazões, a partir da sua regularização; utilizar modelos que permitam a extrapolação das equações de regionalização para trechos de cabeceira; considerar aspectos relativos à hidrogeologia etc.

Existem, entretanto, algumas dificuldades específicas que necessitam ser consideradas para a regionalização de vazões como, por exemplo: a limitada base de dados fluviométricos disponíveis, o efeito de regularização dos reservatórios, a minimização das descontinuidades das vazões estimadas quando da troca de uma região hidrologicamente homogênea para outra e a de intermitência de vazões em alguns cursos d'água.

Tendo em vista a importância da regionalização de vazões para o conhecimento da disponibilidade de água ao longo da hidrografia, o Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) tem desenvolvido diversas ações a fim de facilitar e melhorar o processo de regionalização de vazões. Dentre essas ações merecem destaque especial os seguintes trabalhos:

- Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH): desenvolvido com base na chamada Pública MCT/FINEP/Ação Transversal – Desenvolvimento de Aplicativos – SNIRH pela UFV/GPRH (instituição coordenadora) juntamente com a Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, e sob a supervisão da ANA. O SisCAH permite a importação de séries históricas de vazão; o pré-processamento dessas séries; o preenchimento e a extensão de séries; a obtenção da curva de permanência de vazões; a obtenção da curva de regularização e a estimativa de vazões mínimas, médias e máximas. O SisCAH encontra-se disponível para download no site <http://www.ufv.br/dea/gprh>.

- Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV) – também desenvolvido sob a coordenação da UFV/GPRH com base na chamada Pública MCT/FINEP/Ação Transversal – Desenvolvimento de Aplicativos – SNIRH e contando também com a participação das outras instituições envolvidas na elaboração do SisCAH, e com a supervisão da ANA, o SisCoRV permite a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e a estimativa das equações para a regionalização de vazões de forma fácil, eficiente e rápida. O SisCoRV também se encontra disponível para download no site <http://www.ufv.br/dea/gprh>.

- Dissertação de mestrado de Oliveira (2008) intitulada “Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do rio Grande” e na qual foi sugerido um novo critério, baseado na técnica do Box Plot, para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes, e proposto um procedimento para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões.

- Tese de doutorado de Rodriguez (2008) intitulada “Proposta conceitual para a regionalização de vazões” e na qual foi desenvolvida e aplicada, à bacia do São Francisco, uma nova proposta conceitual para a regionalização de vazões média e mínima; avaliado o potencial de uso das vazões mínimas variáveis ao longo do ano na caracterização da disponibilidade hídrica e avaliado o efeito do uso das vazões naturais em relação às vazões observadas para a bacia do Paracatu.

Neste trabalho foi evidenciado que: a) a consideração de limites físicos para a Q_{mid} (CE) e para as vazões mínimas (vazões específicas mínimas) possibilitou reduzir o risco de superestimativa quando da extrapolação das equações de regionalização de vazões; b) a consideração da precipitação média anual menos a inércia hídrica possibilitou ajustes das equações de regionalização das vazões média de longa duração e mínimas (Q_{90} , Q_{95} , $Q_{7,10}$) mais precisos na maior parte das sub-bacias do São Francisco;

c) a regionalização das vazões, considerando-se as diferentes interações existentes nas sub-bacias e na calha do São Francisco, permitiu a redução das descontinuidades decorrentes da análise individualizada de cada região hidrologicamente homogênea; d) a comparação da regionalização feita entre a $Q_{95\text{jan}}$ e a Q_{95} mostra o potencial do uso de vazões variáveis ao longo do ano para melhor caracterização da disponibilidade hídrica; e e) os impactos do uso das vazões naturais em substituição às vazões observadas verificados na bacia do Paracatu podem ser considerados inexpressivos para a estimativa da Q_{mld} e de razoável expressividade para a estimativa das vazões mínimas.

O aplicativo Disponibilidade dos Recursos Hídricos na Bacia do São Francisco (DRHi-SF) é um Sistema de Informações Geográficas desenvolvido pelo GPRH na escala do milionésimo para a visualização e extração de informações da base hidrorreferenciada e que permite estimar, para cada segmento da hidrografia da bacia do São Francisco, as vazões média e mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) utilizando-se equações de regionalização obtidas no estudo realizado por Rodriguez (2008). O DRHi-SF se encontra disponível para download no site <http://www.ufv.br/dea/gprh>.

Em projeto em desenvolvimento pelo GPRH, com financiamento e acompanhamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), estão sendo realizados estudos de regionalização das vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) e média (Q_{mld}) que permitirão a obtenção dessas vazões em qualquer seção da hidrografia (escala de 1:100.000 ou 1:50.000) sob a dominialidade do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Assim como para os recursos hídricos de superfície, há, também, a necessidade de uma ampla caracterização e quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos, envolvendo a identificação de fontes, quantificação e análise do potencial de sua utilização.

É importante que se tenha em mente que os recursos hídricos subterrâneos não constituem uma fonte inesgotável e que a disponibilidade dos recursos hídricos de superfície está diretamente ligada à utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

O uso intensivo dos recursos hídricos subterrâneos promove uma expressiva redução da disponibilidade hídrica de superfície e a conseqüente redução das vazões mínimas ao longo da hidrografia, sempre que a principal contribuição para o escoamento nos períodos de estiagem está associada ao escoamento subterrâneo. Tal comportamento já vem sendo nitidamente evidenciado em diversas bacias, como na bacia do rio Verde Grande, afluente da margem direita do São Francisco, e situado em uma região em que a precipitação média na bacia é da ordem de 850 mm.

Nesta bacia se constata uma expressiva redução nas vazões mínimas a partir da intensificação do processo de desenvolvimento econômico da região, apesar da vazão média ter aumentado no período considerado. Portanto, embora não tenham ocorrido mudanças climáticas e antrópicas que pudessem causar a redução da vazão média, a vazão mínima, fortemente influenciada pela contribuição subterrânea, sofreu um declínio muito expressivo, tendo em vista o fato de que, nesta bacia, a retirada de águas subterrâneas, sobretudo para a irrigação, é extremamente grande.

As águas subterrâneas constituem, portanto, um importante recurso estratégico mas que, como qualquer recurso natural, deve ser utilizado com muito critério e baseado em conceitos científicos sólidos. O uso das águas subterrâneas deve ser acompanhado, portanto, de um estudo de avaliação do impacto do seu uso e não como se vê com frequência, da simples consideração desses como fonte externa à bacia. Os recursos hídricos, subterrâneos e de superfície, estão fortemente interconectados.

2.5 COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE OS ÓRGÃOS GESTORES DE RECURSOS HÍDRICOS DE CRITÉRIOS PARA O ESTABELECIMENTO DAS VAZÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS PARA A OUTORGA

A adoção de critérios distintos entre os órgãos gestores para a permissão de outorgas traz sérios problemas para a gestão dos recursos hídricos em bacias nas quais há diversos órgãos gestores envolvidos. Quando um rio deságua em outro submetido a um critério de outorga diferente, haverá uma incompatibilidade decorrente das próprias diferenças entre esses critérios ocorrendo, inclusive, situações em que a excedência do limite de vazão permissível para outorga passa a acontecer em virtude desta diferença.

Comparando as vazões máximas permissíveis para a outorga pela União (70% da Q_{95}) e pelo Estado de Minas Gerais (30% da $Q_{7,10}$) tem-se que a primeira é, em geral, bem superior ao dobro da vazão permissível para outorga em Minas Gerais, uma vez que, normalmente, a $Q_{7,10}$ é bem inferior à Q_{95} . Tal contraste é mais acentuado ainda quando se consideram os valores permitidos para outorga em outros estados. Tocantins, Bahia e Pernambuco, por exemplo, apresentam vazões permissíveis para outorga ainda bem maiores que a vazão permitida pela União.

Para a análise da variação espacial da relação entre demandas e vazão mínima de referência (estabelecida conforme diferentes critérios) foram gerados, para a bacia do rio Paracatu, situada em 96% da sua área no Estado de Minas Gerais, em 2% em Goiás e em 2% no Distrito Federal, mapas nos quais os trechos da hidrografia são representados em classes de cores, de acordo com a relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante do trecho considerado e a vazão mínima de referência.

Utilizou-se, para a geração dos mapas, o Sistema de Informações para Apoio ao Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (SIAPHi), desenvolvido por João Felipe Souza, em sua dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, ainda em fase conclusiva.

Na representação foram consideradas as outorgas vigentes em janeiro de 2010 e que todas são a fio d'água, e duas vazões mínimas de referência: a Q_{95} , utilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) (bacia do rio Preto) e a $Q_{7,10}$, utilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (restante da bacia do rio Paracatu).

Na Figura 2.1 se apresenta o mapa da relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante do trecho considerado e a vazão mínima de referência (Q_{95} na

área de dominialidade da ANA e $Q_{7,10}$ na área de dominialidade do IGAM). Em 52% dos trechos com outorgas a montante, a vazão total outorgada superou o limite máximo permitido para outorga (70% da Q_{95} na área de dominialidade da ANA e 30% da $Q_{7,10}$ na área de dominialidade do IGAM).

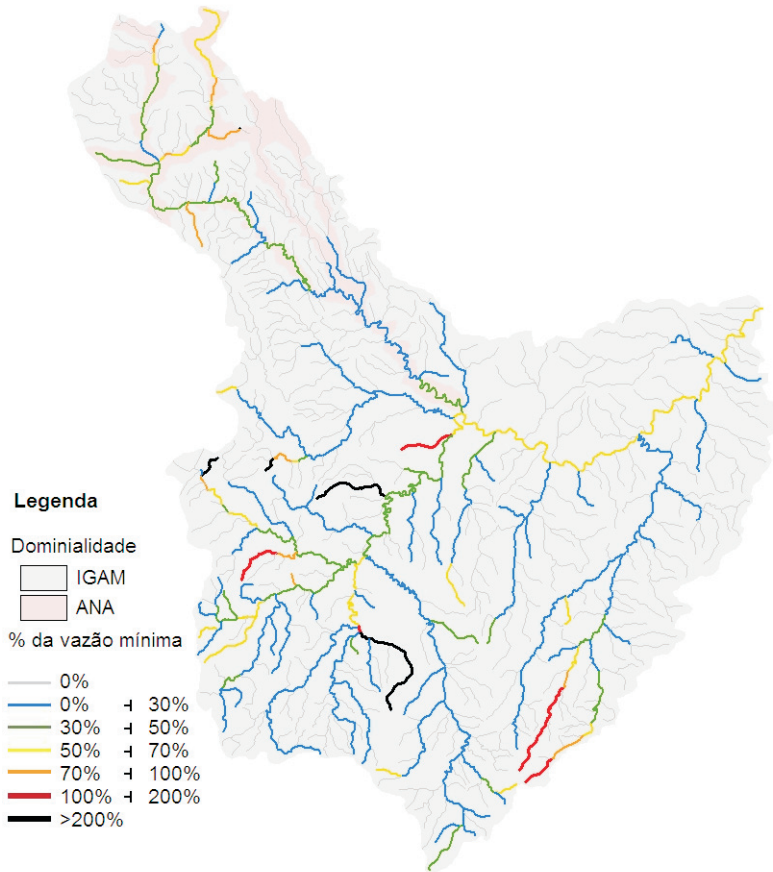


Figura 2.1 Porcentagem da vazão mínima Q_{95} (área de dominialidade da ANA) e da $Q_{7,10}$ (área de dominialidade do IGAM) outorgada a montante de cada segmento da hidrografia, considerando-se as outorgas vigentes em janeiro de 2010

Na área de dominialidade da ANA evidenciou-se que em 8,2% dos 61 trechos com outorgas a montante, o somatório da vazão outorgada a montante superou 70% da Q_{95} , enquanto na área de dominialidade do IGAM constatou-se que 60,3% dos 320 trechos que já apresentavam vazões outorgadas a montante, o somatório das vazões outorgadas superou 30% da $Q_{7,10}$, critério utilizado pelo IGAM, mostrando o efeito que as diferenças entre os critérios adotados pela ANA e pelo IGAM para o

estabelecimento da vazão máxima permissível para outorga trazem em relação à permissividade de uso da água na bacia.

É importante salientar que o valor correspondente a 70% da Q_{95} tende, em geral, a ser superior à $Q_{7,10}$, o que corresponde dizer que, provavelmente, a retirada simultânea das vazões outorgadas irá promover a ocorrência de vazões nulas no rio por, pelo menos, sete dias consecutivos e, ao menos, uma vez a cada 10 anos.

Para as condições apresentadas na Figura 2.1, embora o rio Paracatu tenha aumento expressivo em sua vazão a jusante da sua confluência com o rio Preto, passa a ter maior comprometimento na disponibilidade de suas vazões, à medida em que este rio apresenta uma vazão permissível para outorga de apenas 30% da $Q_{7,10}$. Quando o rio Preto desagua no Paracatu ele já poderia ter uma abstração de 70% da Q_{95} , o que implicaria em uma condição de atendimento ao limite dos valores permissíveis para a outorga, em uma retirada superior àquela que seria permissível no trecho a jusante da confluência.

Com a finalidade de mostrar os efeitos do impacto advindo do uso de diferentes critérios relativos à vazão máxima permissível para outorga se apresenta, na Figura 2.2, a simulação do impacto que a adoção do critério utilizado pela ANA (70% da Q_{95}) teria quando usado para toda a área da bacia do Paracatu. As mudanças em relação à situação que existe atualmente na bacia, que está apresentada na Figura 2.1, ocorrem nos trechos localizados na região de dominialidade do IGAM, sendo esses reclassificados conforme a relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante e a Q_{95} . Para esta nova condição se evidencia que apenas em 4,74% dos trechos com vazão outorgada a montante o somatório das vazões outorgadas supera 70% da Q_{95} .

Para a análise do impacto que teria a utilização do critério usado pelo IGAM (30% da $Q_{7,10}$) em toda a bacia do Paracatu apresenta-se, na Figura 2.3, a relação entre a vazão total outorgada e a $Q_{7,10}$.

Evidencia-se, para esta condição, que também existe uma reclassificação de muitos segmentos da hidrografia e as diferenças se tornam ainda mais evidentes. Neste caso, 48,2% dos trechos com vazões outorgadas a montante excedem o valor de 30% da $Q_{7,10}$, quando na condição anterior apenas 4,74% excediam a vazão correspondente a 70% da Q_{95} .

Na Tabela 2.1 são apresentados os percentuais dos trechos da hidrografia para diferentes classes da relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante e as duas vazões mínimas de referência utilizadas na bacia do Paracatu ($Q_{7,10}$ e Q_{95}). Nesta tabela se evidencia que, enquanto apenas 51,84% dos trechos que possuem alguma outorga a montante estariam em conformidade, caso o critério utilizado pelo IGAM (30% da $Q_{7,10}$) fosse adotado em toda a bacia, 95,26% estariam em conformidade, caso o critério utilizado pela ANA (70% da Q_{95}) também fosse adotado em toda a bacia.

Assim sendo e embora se possa entender, em um primeiro momento, que o critério proposto pelo IGAM seja bastante restritivo, há de se considerar, também, que o uso do critério adotado pela União poderá trazer consequências ambientais, à medida em

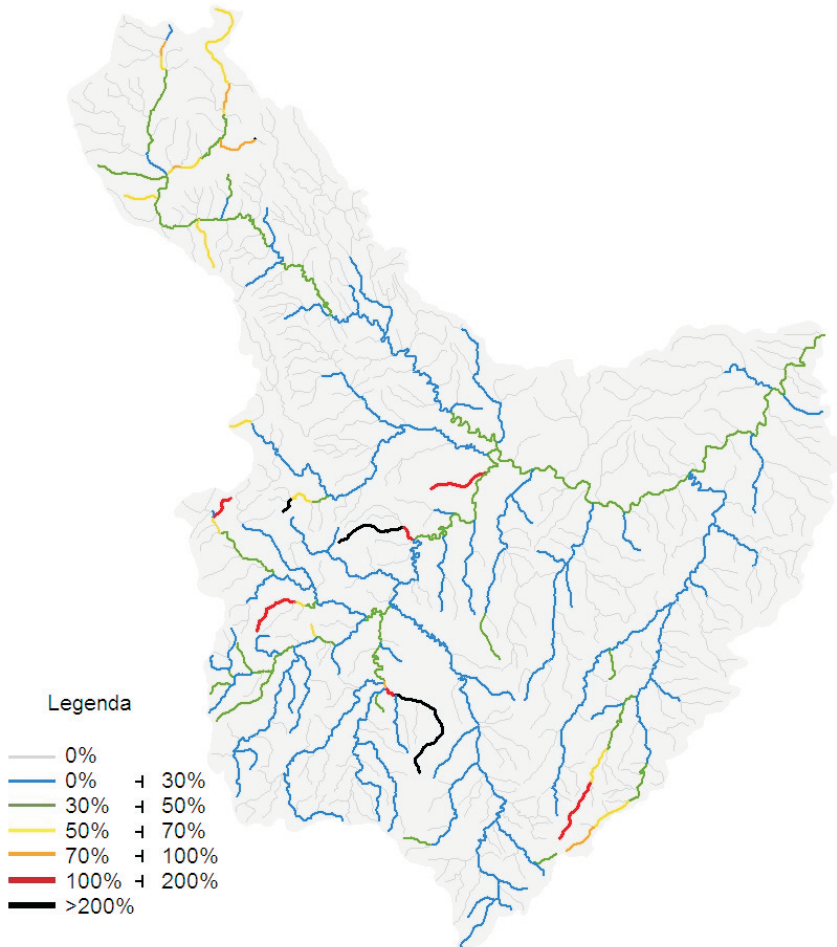


Figura 2.2 Porcentagem da vazão mínima Q_{95} outorgada a montante de cada segmento da hidrografia, considerando-se as outorgas vigentes em janeiro de 2010

Tabela 2.1 Percentuais dos trechos da hidrografia para diferentes classes da relação entre o somatório das vazões outorgadas a montante e as duas vazões mínimas de referência utilizadas na bacia do Paracatu ($Q_{7,10}$ e Q_{95})

Classe (%)	Vazão mínima de referência (%)	
	$Q_{7,10}$	Q_{95}
> 0 a 30	51,84	64,47
> de 30 a 50	21,84	26,58
> de 50 a 70	17,63	4,21
> de 70 a 100	4,47	1,58
> de 100	4,21	3,16

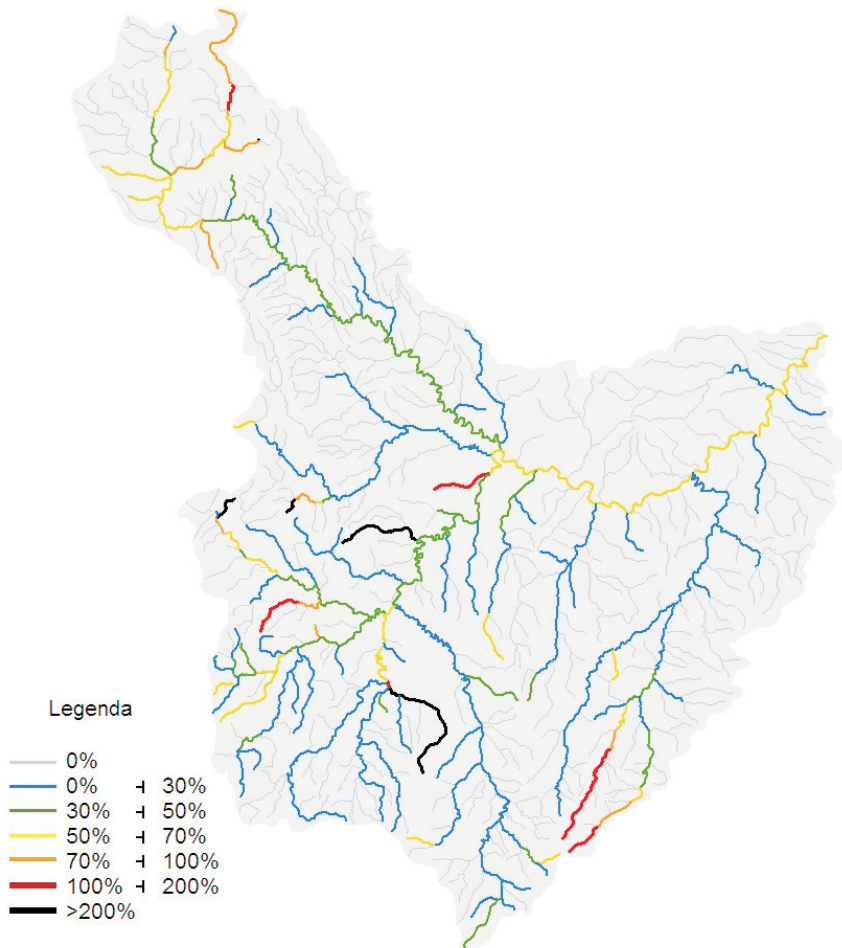


Figura 2.3 Porcentagem da $Q_{7,10}$ outorgada a montante de cada segmento da hidrografia, considerando-se as outorgas vigentes em janeiro de 2010

que poderá implicar na ocorrência de vazões nulas, com grande frequência, e desaconselháveis do ponto de vista ambiental.

A utilização de uma análise mensal abordada na sequência, poderá representar uma alternativa efetiva para atenuar este problema, sendo que a adoção de um critério menos conservador para a concessão de outorgas também deverá ser mais permissível em relação à capacidade do corpo d'água, no que diz respeito à sua capacidade de recepção de efluentes.

A busca da compatibilização dos critérios de outorga máxima permissível pelos órgãos gestores poderá representar uma distribuição mais justa dos recursos hídricos e um expressivo avanço no processo de compartilhamento do uso da água.

Decisões que envolvam uma nova proposta de alocação dos recursos hídricos na bacia poderão vir a ser tomadas pelos comitês de bacias, considerando-se fatores, como prioridades de uso da água e necessidades de desenvolvimento preferencial de certas regiões, devidamente respeitadas as exigências ambientais.

Também, as condições relativas a bacias situadas no semiárido, região com alta frequência de rios de baixa disponibilidade hídrica ou, até mesmo, intermitentes, merecem uma análise particular e que respeite as especificidades relativas a esta condição.

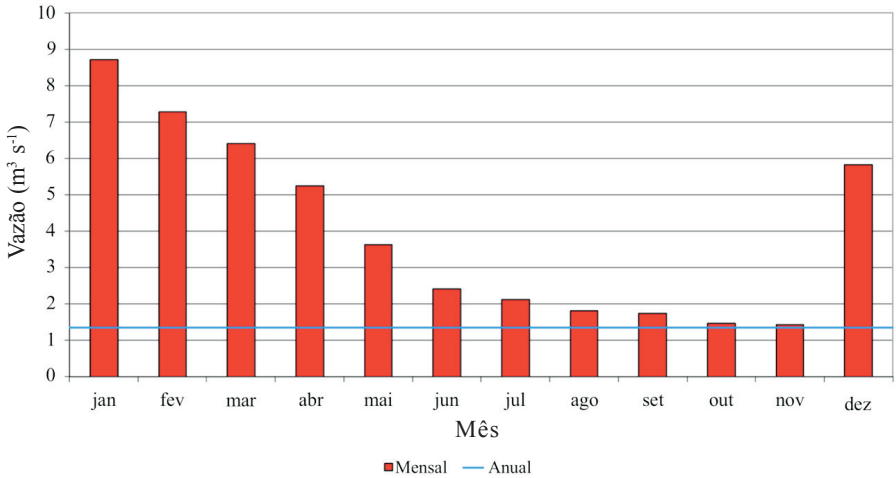
2.6 USO DAS VAZÕES MÍNIMAS MENSAS COMO ÍNDICE DE REFERÊNCIA PARA A DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS VISANDO À CONCESSÃO DE OUTORGAS

O uso das vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{95} ou Q_{90}) mensais como índices de referência para a definição de critérios visando à concessão de outorga em substituição às vazões mínimas calculadas em uma base anual, representa um expressivo aumento da disponibilidade de água sem que isto signifique um aumento no risco de ocorrência de vazões excessivamente baixas e que possam causar comprometimento ambiental, quando da sua utilização.

Além do uso das vazões mínimas estimadas em uma base anual representar uma restrição única e linear para todo o ano, há ainda o fato de que o período de maior demanda pelos recursos hídricos, seja do ponto de vista quantitativo ou para a diluição de efluentes, nem sempre coincide com o período de menor disponibilidade.

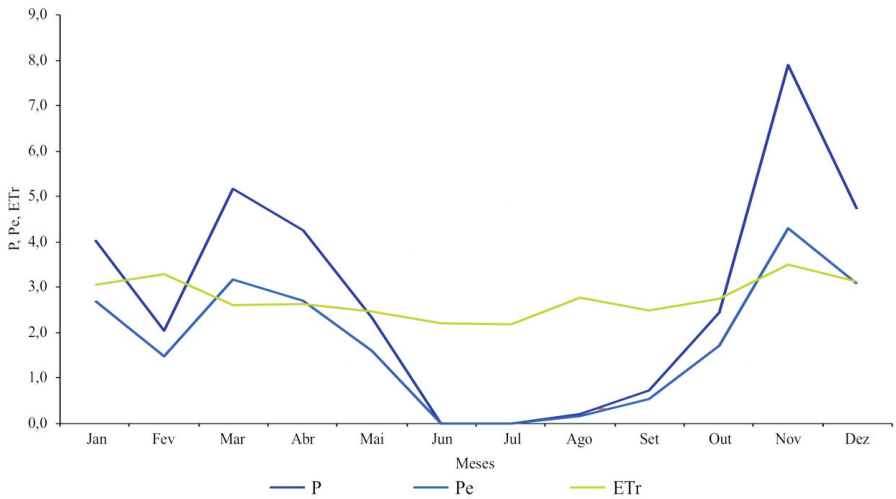
Na Figura 2.4 se representa a variação da $Q_{7,10}$ ao longo do ano e sua comparação com a $Q_{7,10}$ anual (representada pela linha azul horizontal da figura) considerando-se as vazões relativas à estação Fazenda Barra da Água, situada no ribeirão Entre Ribeiros, afluente da margem esquerda do rio Paracatu. Pela análise da figura pode-se evidenciar que a utilização das vazões mínimas mensais em substituição às vazões mínimas anuais representa um aumento que varia de 550% (janeiro) a 7,5% (novembro). Isto pode representar um aumento expressivo de disponibilidade de água, seja para o consumo ou para a diluição de efluentes em empreendimentos providos de um comportamento sazonal característico, como é o caso da irrigação, responsável pelo consumo de mais de 80% da vazão utilizada na bacia do Paracatu.

Considerando as informações contidas na Figura 2.5 relativas à análise da precipitação (média mensal e efetiva) e da evapotranspiração e as condições correspondentes ao município de Unai (situado na bacia do Paracatu) em novembro de 1996, evidencia-se que a maior demanda de água para a irrigação ocorreu no mês de agosto, quando a utilização da vazão mínima mensal representaria um aumento na disponibilidade hídrica de cerca de 35% (Figura 2.4); já o mês de novembro, em que ocorre o menor aumento da disponibilidade de água pela substituição da vazão mínima anual pela vazão mínima mensal (7,5%), é o mês em que ocorreu o maior excedente hídrico para a irrigação, setor que responde por mais de 80% do consumo de água na bacia.



Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Acréscimo relativo (%)	550,75	442,54	378,36	291,79	170,90	80,60
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Acréscimo relativo (%)	58,21	35,07	29,85	9,70	7,46	334,33

Figura 2.4 Valores da $Q_{7,10}$ mensal ao longo do ano e sua comparação com a $Q_{7,10}$ anual considerando-se as vazões relativas à estação Fazenda Barra da Égua, situada na bacia do ribeirão Entre Ribeiros



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2004)

Figura 2.5 Precipitação média mensal - P (mm dia⁻¹), precipitação efetiva - Pe (mm dia⁻¹) e evapotranspiração da cultura - ETr (mm dia⁻¹) ao longo do ano de 1996 no município de Unai

Tal análise também pode ser estendida para uma abordagem relativa à qualidade de água sempre que, em muitos casos e pelas características do tipo de empreendimento e sua sazonalidade, principalmente aqueles industriais, a maior quantidade de efluentes lançados não coincide com o período de menor disponibilidade hídrica. Para o mês de janeiro, mês de maior disponibilidade hídrica, haveria uma capacidade de assimilação 6,5 vezes maior do que aquela estabelecida com base no valor calculado a partir de uma análise anual.

Bof (2010) desenvolveu, como dissertação de mestrado, trabalho intitulado “Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos”, cujo objetivo foi avaliar o impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga nas condições existentes na sub-bacia do rio Paracatu, a montante da confluência com o ribeirão Entre Ribeiros. Foram comparadas as vazões máximas permissíveis para outorga considerando-se os critérios usados pelo IGAM e pela ANA, em bases anual e mensal.

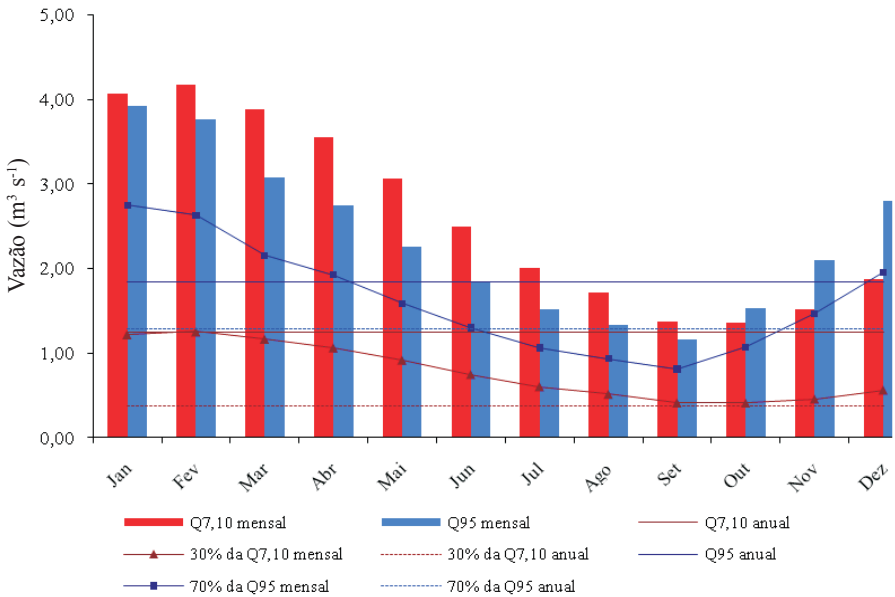
Apresentam-se, a seguir, alguns dos principais resultados obtidos por Bof (2010).

No estudo foram utilizados dados consistidos de seis estações fluviométricas situadas na bacia do rio Paracatu, sendo que na Figuras 2.6 estão representadas, para a estação Fazenda Limoeiro, as variações da $Q_{7,10}$ e da Q_{95} mensais ao longo do ano, a comparação com os valores anuais e a projeção do uso de diferentes critérios para a concessão de outorga. O comportamento evidenciado nas outras cinco estações foi similar ao evidenciado na estação Fazenda Limoeiro e descrito na sequência.

Pela observação da Figura 2.6, correspondente à estação Fazenda Limoeiro e tomada como exemplo para a análise, pode-se evidenciar que a Q_{95} anual (igual a $1,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) é 47% superior à $Q_{7,10}$ anual (igual a $1,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), fazendo com que, pelo critério de outorga de 70% da Q_{95} o valor permitido para outorga seja 3,4 vezes maior que o permitido pelo critério de 30% da $Q_{7,10}$. Pode-se evidenciar, ainda, que este último critério é bastante restritivo, à medida em que limita o valor permissivo para uso de água ao longo de todo o ano por uma restrição evidenciada apenas em um período específico e, mesmo neste período, correspondendo à disponibilidade para uso de apenas uma pequena parte da vazão existente no rio.

A utilização do critério correspondente a 70% da Q_{95} anual também apresenta a característica de limitar o uso de água nos períodos de maior disponibilidade a uma restrição evidenciada apenas em períodos com pouca disponibilidade hídrica. Neste caso se evidencia que o critério, além de ser bastante restritivo nos meses de maior disponibilidade hídrica, é excessivamente permissivo nos meses com menor disponibilidade, evento que pode levar a um alto risco de ocorrência de condições passíveis de implicar até na completa seca do rio, principalmente nos meses de setembro e outubro.

Nesses mesmos meses 70% da Q_{95} anual se aproximam dos valores de $Q_{7,10}$ mensais, o que implica em alto risco de que o rio seque mas, com o uso do critério de 70% da Q_{95} mensal, este risco diminui de forma expressiva.



Fonte: Bof (2010)

Figura 2.6 Vazões $Q_{7,10}$ e Q_{95} , mensais e anuais e vazões máximas permissíveis para outorga para a estação Fazenda Limoeiro

Para novembro e dezembro são evidenciados em algumas estações, casos em que 70% da Q_{95} mensal superam a $Q_{7,10}$ mensal, enquanto a 70% da Q_{95} anual são inferiores à $Q_{7,10}$ mensal; sendo assim, o uso do critério baseado na Q_{95} mensal pode aumentar o risco de que o rio seque nesses meses; entretanto, para os demais meses o uso do critério baseado na Q_{95} mensal sempre aumenta a vazão máxima permissível para a outorga, sem implicar em um aumento dos riscos ambientais.

De forma geral, a utilização do critério baseado nas vazões mensais potencializa um plano melhor de utilização da água, à medida em que permite um uso maior da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

Pela análise da Figura 2.6, o uso da $Q_{7,10}$ mensal potencializa um aumento muito expressivo da vazão permissível para outorga em alguns meses como, por exemplo, de janeiro a junho, e menos expressivo em outros meses, como setembro, outubro e novembro; entretanto, mesmo nesses meses ocorre aumento na disponibilidade de água (no caso da estação Fazenda Limoeiro de, no mínimo, 8%), seja para o consumo pelos diferentes segmentos de usuários, seja para a diluição de efluentes.

A análise da utilização da Q_{95} produz resultados ainda mais interessantes. Evidencia-se que o uso de uma base mensal para a estimativa das vazões mínimas conduz a uma proximidade maior entre a $Q_{7,10}$ e a Q_{95} , enquanto na base anual a Q_{95} é

47% maior que a $Q_{7,10}$; em uma base mensal esta diferença diminui havendo, inclusive, muitos meses em que a $Q_{7,10}$ mensal passa a ser maior que a Q_{95} mensal.

Considerando ainda que o volume de água permissível para a outorga é representado pela área sob a curva (ou reta) relativa ao critério de outorga adotado tem-se que, para a estação Fazenda Limoeiro, para o critério correspondente a 30% da $Q_{7,10}$ anual, o volume de outorga permitido seria de 11,82 hm³, enquanto para os critérios correspondentes a 70% da Q_{95} anual seria de 40,68 hm³, 30% da $Q_{7,10}$ mensal de 24,51 hm³ e 70% da Q_{95} mensal de 51,59 hm³, valores 3,4; 2,1 e 4,3 vezes, respectivamente, superiores ao volume máximo permitido pelo critério utilizado para concessão de outorga em Minas Gerais.

Na Figura 2.7 estão representados os gráficos da amplitude de variação, considerando-se as seis estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e anual e Q_{95} mensais e anual.

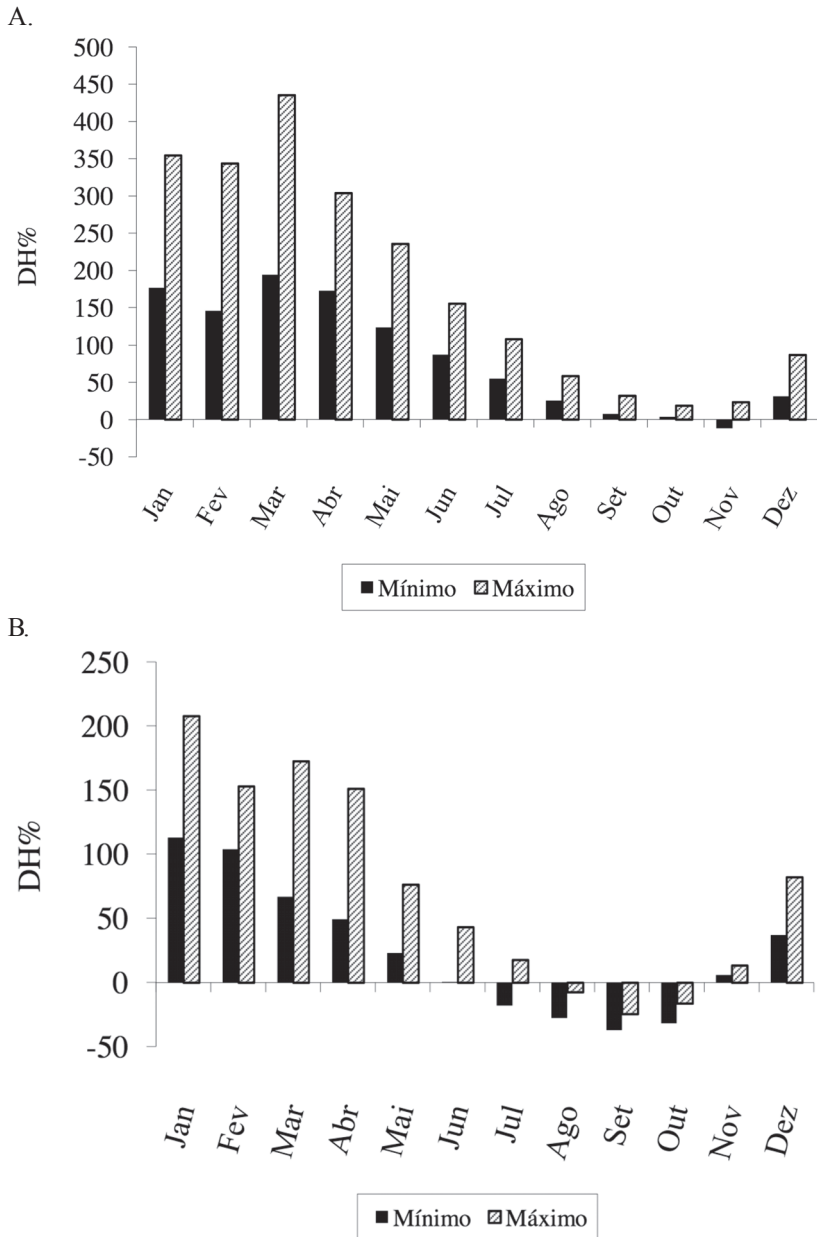
O único mês em que ocorreram valores de $Q_{7,10}$ mensais menores do que os de $Q_{7,10}$ anual foi novembro, tendo este comportamento sido evidenciado apenas nas estações BR 40 – Paracatu e Santa Rosa. Nas demais condições os valores de $Q_{7,10}$ mensal foram superiores aos de $Q_{7,10}$ anual, caracterizando o potencial do aumento da vazão permissível para a outorga, fato ainda mais acentuado no período de janeiro a maio, em que os aumentos foram sempre superiores a 50%.

No caso da Q_{95} (Figura 2.7B), observa-se no período de janeiro a abril, aumento da vazão permissível para a outorga sempre superior a 50%, e entre os meses de junho e outubro foram obtidos valores negativos de diferença relativa que, embora impliquem em uma redução da vazão máxima permissível para a outorga nesses meses, trazem, como benefício, maior segurança ambiental, à medida em que o uso de 70% da Q_{95} anual conduz a valores que se aproximam da própria $Q_{7,10}$ mensal, principalmente nos meses de setembro e outubro.

A consideração das vazões estimadas em uma base mensal trará um aumento expressivo no trabalho requerido para a quantificação da disponibilidade hídrica; entretanto, apresenta um alto potencial para o aumento da vazão permissível para a outorga.

Em regiões áridas e semiáridas as vantagens associadas à utilização das vazões mínimas mensais em substituição à vazão mínima mensal podem ter diferenças expressivas em relação a regiões com maior precipitação e que permitem, inclusive, o aumento da garantia de suprimento hídrico.

Na bacia do rio Verde Grande, situada em 92% da sua área no Norte do Estado de Minas Gerais e em 8% da sua área na Bahia, em uma região semiárida, a potencialidade de uso das vazões mínimas mensais em substituição à vazão mínima anual como critério para a concessão de outorgas fica um pouco obscurecida, por quatro fatores principais: a) a menor disponibilidade de recursos hídricos; b) o grande uso de águas subterrâneas; c) o fato das vazões de retirada já superarem expressivamente as vazões naturais e d) o fato do mês da menor disponibilidade hídrica coincidir com o mês de maior demanda pela irrigação.



Fonte: Bof (2010)

Figura 2.7 Amplitude de variação considerando-se as seis estações fluviométricas utilizadas no estudo, da diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ mensais e anual (A) e Q_{95} mensais e anual (B)

Embora os benefícios advindos do uso de um critério sazonal não sejam tão evidentes, como no caso de outras bacias já estudadas, mesmo assim algumas vantagens expressivas adviriam da utilização de um critério baseado no uso de índices mensais, conforme descrito na sequência.

A análise do comportamento das vazões mínimas (Q_{95} e $Q_{7,10}$) estimadas em uma base anual e mensal foi realizada para as estações Colônia do Jaíba (44670000) e Boca da Caatinga (44950000) considerando-se o período anterior ao ano de 1979 (período ainda não afetado quanto à redução da disponibilidade hídrica, pela expressiva retirada de águas subterrâneas para a irrigação). A utilização das vazões mínimas mensais em substituição às vazões mínimas anuais representa um aumento que varia de 211,0% (janeiro) a 4,8% (setembro) em Colônia do Jaíba, e de 713,4% (fevereiro) a 1,0% (setembro) em Boca da Caatinga.

Este fato pode representar um aumento expressivo de disponibilidade de água, seja para o consumo ou para a diluição de efluentes em empreendimentos providos de um comportamento sazonal característico, como é o caso da irrigação, responsável pelo consumo de mais de 90% da vazão utilizada na bacia do Verde Grande.

Para as condições reinantes na bacia é tem-se que a maior demanda de água para a irrigação ocorre no mês de setembro quando a utilização da vazão mínima mensal representaria um aumento na disponibilidade hídrica de cerca de 4,8% em Colônia do Jaíba e de 1,0% em Boca da Caatinga.

A análise das demandas pela irrigação ao longo da bacia caracteriza a pequena disponibilidade de recursos superficiais para atendê-las. É evidente que estes aumentos (de 1 a 5%) são de pouca expressividade para atender às demandas já existentes na bacia; apesar disto, uma nova postura no manejo dos recursos hídricos poderia representar uma mudança expressiva na disponibilidade de água na bacia.

Tendo em vista o fato da demanda superar a disponibilidade em todos os meses, à exceção de dezembro, a incorporação de uma unidade de bombeamento adicional para a captação de águas superficiais poderia representar um benefício muito grande no que diz respeito ao aumento da disponibilidade de água.

Em meses como janeiro, para o qual existe um pequeno déficit hídrico, o suprimento deste déficit poderia ser completamente suprido pelo uso de águas de superfície o que permitiria, neste período, uma recarga maior do lençol freático, à medida em que as águas superficiais, que estariam sendo “perdidas”, passariam a ser melhor utilizadas, e, conseqüentemente, reduzida (ou eliminada) a utilização de águas subterrâneas, permitindo melhores condições para a recuperação do lençol freático.

O mesmo procedimento poderia ser utilizado nos meses subsequentes sendo, neste caso, a disponibilidade de águas superficiais para usos múltiplos decrescente com o tempo, até que em setembro, mês de maior déficit (e menor disponibilidade), o aumento da disponibilidade de águas superficiais seria muito reduzido, pouco contribuindo para o suprimento hídrico mas, pelo fato de ter sido utilizada uma quantidade menor de águas subterrâneas ao longo dos meses de maior disponibilidade de águas superficiais, haveria um aumento da água disponível no lençol freático, que poderia passar a ser utilizada com maior eficiência.

2.7 REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES PELA CONSTRUÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Enquanto a disponibilidade natural dos recursos hídricos está associada à vazão mínima, a disponibilidade potencial está relacionada à vazão média de longa duração.

A análise do potencial de regularização das vazões em diferentes seções da hidrografia e a avaliação do impacto da construção de reservatórios de regularização para atender às demandas hídricas, atual e futura (projetada), devem representar um aumento expressivo na disponibilidade de recursos hídricos e, em contrapartida, uma redução substancial de conflitos em regiões com problemas de disponibilidade de água.

Em estudo realizado por Rodriguez (2004) relativo à estimativa das demandas e disponibilidades hídricas na bacia do Paracatu ficou evidenciado que, na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, mais especificamente na seção correspondente à estação Fazenda Barra da Égua, a vazão estimada como de retirada pela irrigação na área de contribuição correspondente a esta seção no mês de maior requerimento de irrigação (agosto) representou, em 1996, ano do último Censo Agropecuário publicado, 87,1% da $Q_{7,10}$.

Neste mesmo estudo foi patente, também, que a vazão média consumida pelos cinco segmentos considerados (abastecimento urbano, dessedentação humana no meio rural, dessedentação animal, indústria e irrigação) foi de apenas 2,1% da vazão média de longa duração, o que mostra a grande potencialidade do aumento da disponibilidade de água pela implantação de estruturas que promovam a regularização do escoamento da água na hidrografia. Pode-se evidenciar, por este exemplo, que a disponibilidade natural, representada pela vazão mínima, poderá ser acrescida expressivamente pela utilização de reservatórios de regularização.

O uso de reservatórios de regularização constitui na prática que permite, portanto, aumentar a disponibilidade hídrica natural, aproximando-a da disponibilidade potencial.

Além de promover o aumento da disponibilidade de água para os múltiplos usuários, a implantação de reservatórios pode representar, também, o aumento da capacidade de diluição de poluentes.

A utilização de águas subterrâneas constitui uma forma de exploração deste potencial de regularização, à medida em que se utiliza um volume de água que passa a sofrer um processo de regularização em decorrência do seu armazenamento em aquíferos, razão pela qual o aumento da infiltração da água no solo e a consequente recarga do lençol freático, constitui-se em importante forma de aumento da disponibilidade de água nos períodos de estiagem.

Com base nesses fatos considera-se que a utilização racional das águas, com a implantação de duas estações de bombeamento em regiões como a bacia do rio Verde Grande, onde existe grande utilização de águas subterrâneas, poderá constituir, conforme já discutido anteriormente, uma forma de manejo recomendável para o aumento da disponibilidade de água no período de estiagem. Associada à captação

de águas subterrâneas seria implantada uma estação de bombeamento complementar, para captação de águas superficiais.

A captação de águas superficiais seria acionada em períodos em que a água superficial estivesse disponível em quantidade suficiente para garantir o suprimento da vazão requerida pelo empreendimento. Durante este período se aproveitaria a água superficial e que estaria sendo naturalmente “perdida”. Em contrapartida, estar-se-ia se permitindo a recarga do lençol freático e, em consequência, o reabastecimento do reservatório de águas subterrâneas.

Embora este tipo de prática traga certas dificuldades, como a relativa ao custo associado à implantação de uma segunda unidade de bombeamento, a questão básica que deve ser analisada neste caso é a efetiva escassez existente de água e o grau de restrição que a carência de água está representando para o desenvolvimento socioeconômico da população da bacia. Quanto maior for a carência de água existente mais justificável será a utilização desta prática ou, até mesmo, de outras práticas que busquem um aumento da quantidade de água potencialmente alocável na bacia.

Outras dificuldades também precisam ser consideradas; por exemplo, no caso da utilização da água para o abastecimento humano, uma grande dificuldade é a atinente à diferença relativa à qualidade da água a ser tratada. Obviamente que a água provida da captação subterrânea deverá estar provida de uma qualidade superior àquela advinda da captação de superfície e, logicamente, este aspecto também deverá ser devidamente analisado na avaliação da viabilidade de utilização deste tipo de medida.

No caso da irrigação, setor de maior consumo de água e em que não há uma exigência tão grande em relação à qualidade da água, esta prática poderá representar uma vantagem efetiva. Considerando, a título de exemplo, as informações contidas nas Figuras 2.4 e 2.5 ter-se-ia que nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 2.4), nos quais é evidenciada a necessidade de aplicação de uma complementação de água para a cultura (Figura 2.5), esta poderia advir do suprimento de águas superficiais uma vez que, nesses meses, a vazão mínima mensal é, respectivamente, 551 e 443% superior à vazão mínima estimada em uma base anual (Figura 2.4).

Continuando a análise das informações correspondentes às Figuras 2.4 e 2.5, tem-se que nos meses de março e abril de 1996 não houve necessidade da complementação de água pela irrigação, entretanto, caso houvesse, esta poderia ser suprida por água advinda de suprimento de superfície, à medida em que nesses meses há excedentes de 378 e 292% na vazão mínima mensal, respectivamente, em relação à vazão mínima anual.

Nos meses de maio e junho o suprimento de água também poderia ser de superfície passando, progressivamente, para um suprimento subterrâneo, quando começaria a ser utilizada, então, a água armazenada no solo e que teria um aumento na sua disponibilidade em função da não utilização nos períodos com maior disponibilidade de águas superficiais.

É evidente que este tipo de prática, como, aliás, qualquer outra, não deve e não pode ser utilizada de forma generalizada, requerendo estudos específicos que avaliem

a real complexidade da situação em análise; considera-se, entretanto, que a adoção da prática de utilização de duas unidades de bombeamento apresenta boa potencialidade para o aumento de disponibilidade de água nos períodos mais críticos, tendo em vista a utilização da capacidade de armazenamento do sistema natural, e representado pela regularização associada às águas subterrâneas.

2.8 OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA

A irrigação constitui o principal usuário de recursos hídricos, respondendo tanto em nível nacional como mundial, por cerca de 70% do consumo de água. Em Minas Gerais a irrigação responde, em alguns casos, por percentuais ainda mais expressivos, como é o caso, por exemplo, da bacia do Paracatu, em que a irrigação responde por mais de 85% do consumo, e da bacia do Verde Grande, onde mais de 95% da vazão outorgada estão associados à irrigação. Em ambas as regiões já são evidenciados sérios conflitos pelo uso da água.

Além da alta proporção de água utilizada pela irrigação, o uso da água por este segmento ainda apresenta características que o diferenciam dos demais setores. O uso da água pela irrigação apresenta um comportamento não linear ao longo do ano, havendo um aumento expressivo na demanda exatamente nos períodos mais secos do ano, nos quais o déficit hídrico é maior.

Também é importante salientar que as perdas ocorridas na irrigação, mais especificamente as perdas por percolação, mesmo não caracterizando uma perda quantitativa efetiva de água para o sistema, visto que boa parte da água retorna para a bacia, acabam por produzir um prejuízo efetivo para este, de vez que a “perda” ocorre no período de menor disponibilidade enquanto o retorno acontece em períodos em que a disponibilidade de água já não é tão crítica, comportamento oposto ao associado a práticas mecânicas de conservação de solo e água em que, pelo controle do escoamento superficial, a infiltração ocorre nos períodos de maior disponibilidade hídrica, favorecendo o aumento de disponibilidade nos períodos de estiagem. Assim sendo, se apresentam algumas ações potencialmente aplicáveis à irrigação visando à melhoria da eficiência do uso da água.

2.8.1 Melhoria das condições de manejo da irrigação

A baixa eficiência do uso da água, típica em sistemas agrícolas (as culturas consomem uma elevada quantidade de água para a produção de matéria seca), se associa à carência de um manejo racional da água voltado para as características edafoclimáticas e fenológicas das culturas irrigadas. Somada a esta pequena conversão de água está a baixa eficiência que, normalmente, apresenta os sistemas de irrigação implantados no Brasil, não sendo raros sistemas de irrigação que operam com eficiência de irrigação inferior a 50%, significando que, para cada dois volumes de água derivados para a irrigação, menos de um é efetivamente utilizado (consumido) pela cultura.

Em algumas bacias, após a implantação de projetos de irrigação sem a prévia quantificação do volume de água possível de ser usado, está faltando água para as áreas situadas a jusante, chegando ao extremo da total falta de água para consumo humano, de animais e da fauna silvestre, causando, com isso, sérios impactos ambientais nestas regiões e atritos entre os envolvidos.

Ramos & Pruski (2003) evidenciaram, em estudo desenvolvido no âmbito do Projeto GEF São Francisco, em que foi realizada a avaliação de 55 projetos de irrigação ao longo da bacia, que em 39,4% das avaliações feitas em sistemas de irrigação localizada houve aplicação de água em excesso, tendo-se evidenciado eficiência de aplicação média de 79%, abaixo do valor de 85%, considerado excelente para este tipo de irrigação. Dois valores inferiores a 20% foram evidenciados, sendo um dos quais inferior, inclusive, a 5%. Para os sistemas de irrigação por aspersão os valores variaram de 41 a 86%, com média de 71,5%, abaixo do valor de 80%, considerado excelente para os sistemas de irrigação por aspersão. Esses resultados mostram a potencialidade que apresenta o uso de práticas adequadas de manejo da irrigação na economia de água por este segmento usuário.

O aumento da eficiência do uso da água por este setor tem que merecer, portanto, atenção especial, devendo esta meta ser buscada não só pelo emprego de práticas de manejo de irrigação adequadas e que aumentem a eficiência do uso da água pela irrigação mas, também, pela utilização de medidas que permitam maximizar o aproveitamento da água em locais em que ela seja o fator restritivo à produção agrícola, como a utilização da irrigação com déficit, a adequação de calendário de cultivo e até mesmo pela consideração de vazões máximas permissíveis para a outorga variáveis ao longo do ano.

2.8.2 Uso da irrigação com déficit em regiões com carência de água

Quanto maior a quantidade de água aplicada pela irrigação a fim de maximizar a produtividade, menor passa a ser a eficiência de uso da água.

A função de produção, que expressa a relação entre a produtividade e a quantidade de água aplicada, é convexa. Desta forma, o aumento da aplicação de água tende a promover redução da taxa de aumento da produtividade. Se a aplicação de água for em excesso, a produção tenderá a decrescer.

Apresenta-se, a seguir, análise realizada com base nas funções de produção obtidas por Bernardo (2004), e representada para a cultura do mamão na Figura 2.8 juntamente com a equação que expressa a função de produção. Nesta figura se observa que o máximo físico de produção é precedido de um trecho em que o incremento da lâmina de água aplicada à cultura não é acompanhado de equivalente aumento na produtividade.

Pela análise da Figura 2.8 e das informações contidas na Tabela 2.2 evidencia-se que o aumento de 5 % na quantidade de água aplicada, ou seja, o aumento associado aos últimos 5% necessários para assegurar a produtividade máxima, irá acarretar aumentos de produtividade que variam de 0,2% (cana/açúcar) a 2,1% (cana/colmos).

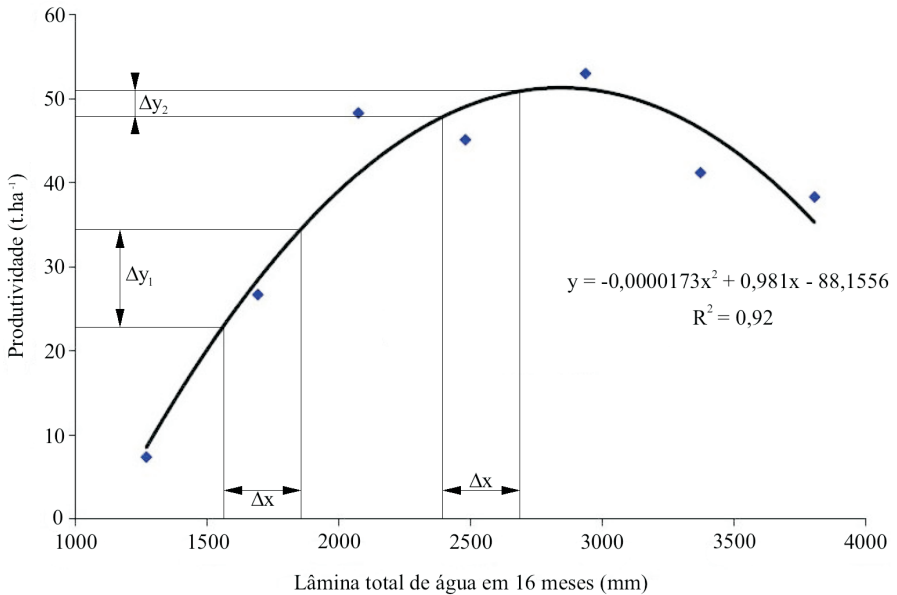


Figura 2.8 Produtividade total do mamoeiro em função da lâmina total de água em 16 meses

Tabela 2.2 Taxa de aumento da produtividade com o aumento da quantidade de água aplicada considerando-se diferentes reduções na quantidade de água em relação àquela necessária para garantir a máxima produtividade

Cultura	Δ Água	Δ Produt.	Δ Água	Δ Produt.	Δ Água	Δ Produt.
	(%)					
Cana (colmos)		2,10		4,20		8,40
Cana (açúcar)		0,19		0,37		0,75
Goiaba	5	1,10	10	2,20	20	4,40
Maracujá		1,20		2,40		4,70
Mamão		0,24		0,49		0,98

Desconsiderando da análise a cultura de cana (colmos) tem-se que o aumento dos últimos 5% da quantidade de água aplicada corresponde a aumentos de produtividade iguais ou inferiores a 1,2%, mostrando forte tendência de redução da taxa de aumento de produtividade por quantidade de água aplicada. No caso das culturas de cana (açúcar) e mamão este aumento é, inclusive, inferior a 0,25%. Ainda desconsiderando a cultura de cana (colmos) tem-se que o aumento dos últimos 10% necessários para garantir a máxima produtividade incrementou, em menos de 2,5%, a produtividade, sendo este inferior a 0,5% para as culturas de cana (açúcar) e mamão. Para o aumento dos últimos 20% de água aplicados os aumentos de produtividade foram inferiores a 5%, e inferiores a 1% para as culturas de cana (açúcar) e mamão.

Considerando, ainda, que: a) a análise diz respeito à lâmina total de água aplicada e que a irrigação seja suplementar, a percentagem de crescimento da quantidade produzida por quantidade de água aplicada efetivamente pela irrigação, torna-se ainda mais baixa e b) o aumento da quantidade de água aplicada tende a reduzir a eficiência de aplicação e aumentar as perdas por percolação; parece evidente que a utilização da irrigação com déficit apresenta um efetivo potencial em regiões onde o fator restritivo para a produção é a disponibilidade de água e não a disponibilidade de terra.

Assim é que, embora se considere plenamente condizente a busca do máximo físico de produção, ou do ponto de máximo rendimento econômico, em áreas em que o fator restritivo para a produção é a disponibilidade de terra, evidencia-se que em condições nos quais o fator restritivo é a quantidade de água disponível, pode-se trabalhar em um ponto deslocado para a esquerda na curva da função de produção, e para o qual o aumento da produtividade já não é tão acentuado com o aumento da quantidade de água aplicada. Para este ponto poderá ser agregada, conseqüentemente, maior quantidade de terras ao processo produtivo por unidade de água aplicada.

Outro exemplo que reforça esta afirmativa advém de estudo realizado por Pruski et al. (1994), para um Latossolo Vermelho-Escuro, em que foi procedida a análise do efeito da percentagem de área adequadamente irrigada nas eficiências de aplicação e de armazenamento e na lâmina percentual aplicada na extremidade final da área em irrigação por sulco. Neste estudo foi evidenciado que: a) existe um acréscimo no valor da eficiência de aplicação (E_a) com a redução da percentagem de área adequadamente irrigada (L_p). A E_a aumentou de 61%, obtida na condição de irrigação adequada, para 65; 69 e 73%, obtidas nas condições correspondentes a valores de L_p iguais a 90, 80 e 70%, respectivamente; b) houve um pequeno decréscimo no valor da eficiência de armazenamento (E_r) com a redução da área adequadamente irrigada, ou seja, a E_r diminuiu de 100 (condição de irrigação adequada) para 99; 98 e 96%, para valores de L_p de 90, 80 e 70%, respectivamente; c) a redução no volume de água aplicado em relação àquele correspondente a um L_p igual a 100%, foi de 26; 17 e 8%, para comprimentos adequadamente irrigados de 70, 80 e 90%. Assim sendo, quando a lâmina requerida foi aplicada para um comprimento de 70% do comprimento do sulco, a eficiência de armazenamento diminuiu em apenas 4% enquanto a redução na quantidade de água aplicada diminuiu em cerca de 25%.

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de gestão de recursos envolve a análise e compatibilização das demandas às disponibilidades dos recursos hídricos. Assim sendo, para um adequado processo de gestão são necessárias ações tanto no sentido de melhorar o conhecimento da disponibilidade de recursos hídricos como para otimizar o consumo de água pelos diversos setores de usuários.

A aplicação da ciência e tecnologia é, portanto, essencial tanto para fins de melhor caracterizar a disponibilidade de recursos hídricos como para melhorar o seu

aproveitamento pelos vários setores usuários, o que torna possível uma maximização do potencial produtivo e econômico da bacia, sem que isto represente um maior risco às condições ambientais, além de permitir a atenuação de conflitos entre usuários.

Dentre as práticas que podem permitir a otimização do processo de gestão dos recursos hídricos, ajustando as demandas às disponibilidades, pode-se destacar: a implementação de ações para a conservação do solo e da água; a quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos; a compatibilização entre os órgãos gestores de recursos hídricos de critérios para o estabelecimento das vazões máximas permissíveis para a outorga; o uso das vazões mínimas mensais como índice de referência para a definição de critérios para a concessão de outorgas; a regularização de vazões pela construção de reservatórios; e a otimização do uso da água pela agricultura irrigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anjos Filho, O. Estradas de terra. *Jornal O Estado de São Paulo*, São Paulo. Suplemento agrícola, 29 de abril de 1998.
- Bernardo, S. Produção agrícola e uso da água. Importância e padrões do uso da água na agricultura brasileira. In: Universidade de Passo Fundo. *Uso da água na agricultura*. Passo Fundo, UPF, 2004. p.10. Conferência apresentada no Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura, Passo Fundo, 2004.
- Bof, L. H. N. Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Viçosa: UFV, 2010. 99 p. Dissertação Mestrado
- Grace III, J.M., Rummer, B., Stokes, B.J., Wilhoit, J. Evaluation of erosion control techniques on forest roads. *Transactions of the ASAE*, v. 41, n.2, p.383-391, 1998.
- Hernani, L.C., Freitas, P.L., Pruski, F.F., De Maria, I.C., Castro Filho, C., Landers, J.C. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C.V., Freitas Júnior, E., Peres, J.R.R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. p.47-60.
- Oliveira, F.A. Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do rio Grande. Viçosa: UFV, 2008. 173p. Dissertação Mestrado
- Pruski, F. F., Carvalho, D. F., Soares, A. A.; Cecon, P. R., Staffen, G. J. Influência da área adequadamente irrigada por sulco nas eficiências de aplicação e armazenamento para um Latossolo Vermelho-Escuro. *Engenharia na Agricultura*, v.3, n.38, p.1-9, 1994.
- Pruski, F.F., Nearing, M.A. Climate-induced changes in the erosion during the 21st century for eight U.S. locations. *Water Resources Research*, v.38, n.12, p.1-11, 2002.
- Pruski, F. F.; Silva, D. D.; Teixeira, A. de F.; Cecílio, R. A.; Silva, J. M. A.; Griebeler, N. P. *Hídros: Dimensionamento de Sistemas Hidroagrícolas*. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 259 p.
- Ramos, M.M., Pruski, F.F. Subprojeto 4.3 – quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco. In: *Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco*. Viçosa: ANA,/GEF/PNUMA/OEA. Relatório final. 2003. 190 p.

- Reid, L.M., Dunne, T. Sediment production from forest roads. *Water Resources Research*, v. 20, n.11, p.1753-1761, 1984.
- Rodriguez, R. del G. Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu. Viçosa: UFV, 2004. 94p. Dissertação Mestrado
- Rodriguez, R. del G. Proposta conceitual para a regionalização de vazões. Viçosa: UFV, 2008. 254p. Tese Doutorado
- Williams, A. The costs of reducing soil erosion given global climate change – The case of midwestern U.S. farm households. West Lafayette: Purdue University, 2000. Ph.D. Dissertation

Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas

Everaldo R. Porto¹, Aderaldo de S. Silva² & Luiza T. de L. Brito²

¹ Consultor independente

² Embrapa Semiárido

- 3.1 Introdução
 - 3.2 A oferta ambiental
 - 3.2.1 O regime pluviométrico
 - 3.2.2 As águas subterrâneas
 - 3.2.3 Fator solo
 - 3.2.4 Peculiaridade da caatinga
 - 3.3 Relação solo-água-planta na agricultura de sequeiro
 - 3.4 O risco da agricultura dependente de chuva
 - 3.5 Perfil das principais tecnologias de captação de água de chuva
 - 3.5.1 Consumo humano - cisterna
 - 3.5.2 Barreiro para uso em irrigação de salvação
 - 3.5.3 Captação “in situ”
 - 3.5.4 Barragem subterrânea
 - 3.6 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas

3.1 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é constituída de um aglomerado de unidades de paisagens com diferentes características, no que diz respeito ao solo, relevo, clima, vegetação e potencial hídrico disponível. Todavia, o principal critério para a delimitação física desse espaço foi estabelecido levando-se em consideração a isoieta de 800 mm de chuva por ano, ou seja, são considerados pertencentes à região semiárida todos os municípios que apresentam uma precipitação anual igual ou inferior a 800 mm. Com base neste critério o semiárido brasileiro apresenta uma área de 853.383,59 km², sendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba os que detêm maior percentual de área dentro da região, com 91,98; 91,69 e 89,65%, respectivamente (Banco do Nordeste, 2005).

Por falta de programas de proteção ambiental específicos, a região já apresenta sequelas. Segundo Sá et al. (2007), as áreas em processo de degradação, com intensidade de baixa ou severa, somam mais de 20 milhões de hectares. As causas deste processo estão associadas principalmente a práticas inadequadas de exploração de seus recursos físicos e biológicos destacando-se, entre elas, os sistemas de cultivos espoliativos, o superpastejo da caatinga e o extrativismo predatório. A degradação dos recursos hídricos locais tem ocorrido pela destruição da cobertura vegetal em razão dos desmatamentos e das queimadas, do uso desordenado da água e do lançamento de agentes poluidores nos mananciais.

Nesta região o sistema tradicional de produção agrícola consiste de uma exploração conjunta de agricultura e pecuária; na realidade, as transformações recentes da agricultura do Nordeste semiárido como resultado do processo de modernização do campo, se traduzem em grandes desigualdades socioeconômicas, a exemplo dos municípios do Vale do São Francisco, Parnaíba e Açu, onde pôde ser intensificada uma agricultura próspera, integrada aos mercados nacional e internacional, cujas atividades produtivas apresentam vantagens comparativas em termos de competitividade - as áreas irrigadas - contrastando com extensas áreas de sequeiro, situadas nas margens desse processo, em que as oportunidades econômicas da

agropecuária são limitadas em função das propriedades rurais, cédulas de sustentação da subsistência, não possuem capacidade para investir nem de acesso às informações, o que resulta numa drástica redução da atividade agropecuária e da aplicação de tecnologias apropriadas.

Assim, referidos produtores vivem em permanente estado de emergência, independente do desempenho das chuvas; na verdade, cada vez menos os recursos naturais da região têm condições de suportar o esforço físico, químico e biológico, resultante da ação do homem em busca da sobrevivência; por outro lado, ainda são escassas as políticas públicas postas em prática adequada à convivência com o semiárido, objetivando principalmente a conservação e o uso racional de água na agricultura dependente de chuva.

3.2 A OFERTA AMBIENTAL

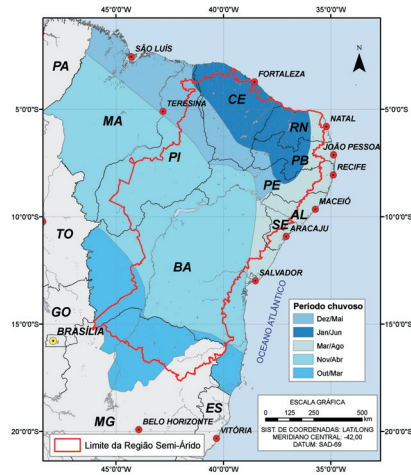
3.2.1 O regime pluviométrico

Para a agricultura de sequeiro, isto é, aquela praticada sob a dependência da distribuição, quantidade e intensidade das chuvas, uma avaliação do regime pluviométrico se faz necessário para o planejamento e manejo das atividades agropecuárias a serem adotadas pelo produtor, tais como o que e quando plantar, e adequar a capacidade dos reservatórios para atender às demandas de água para os consumos humano e animal.

Na maioria das zonas áridas e semiáridas do mundo, a precipitação média anual é da ordem de 80 a 250 milímetros. No Brasil, a menor média modal da pluviometria anual é apresentada pelo município de Cabaceiras, PB, de 252 mm (FUCEME, 1993), porém a média de todo o trópico semiárido é de 700 mm ano⁻¹ (SUDENE, 1980). Com base neste valor e se considerando a área de 853.383,59 km², definida pelo Banco do Nordeste (2005), o volume de água produzido pelas chuvas que caem na região semiárida brasileira é 597,36 bilhões de m³ ano⁻¹. De acordo com os critérios estabelecidos pelas Nações Unidas, o País que apresenta um potencial superior a 10.000 m³ ano⁻¹ per capita, é considerado rico quanto à oferta hídrica; no caso específico do semiárido interno, este valor chega a 29.868 m³ ano⁻¹; portanto, a região é rica em água; todavia, está faltando a melhoria das políticas públicas para uma distribuição e manejo melhores da água de chuva que cai na região.

No semiárido brasileiro o ciclo hidrológico se inicia no mês de outubro e termina em setembro do ano seguinte. Este fato é, inclusive, descrito pela poesia popular (ver a música a triste partida, cantada por Luiz Gonzaga), porém o mais importante é que a região apresenta períodos diferenciados para o início das chuvas, conforme mostra a Figura 3.1.

De acordo com essa figura, os inícios dos períodos chuvosos na região semiárida do Brasil vão de novembro a março; por outro lado, ao se observar o gráfico da



Fonte: Adaptação de Rebouças & Marinho (1972)

Figura 3.1 Mapa de distribuição dos períodos de chuva que ocorrem no semiárido

distribuição da radiação solar na região (Figura 3.2), verifica-se uma variação sazonal na quantidade de radiação solar, que chega à superfície da terra na região, dando-se a menor incidência entre os meses de junho a julho; em seguida, a quantidade de radiação incidente aumenta, chegando ao pico entre os meses de novembro e dezembro.

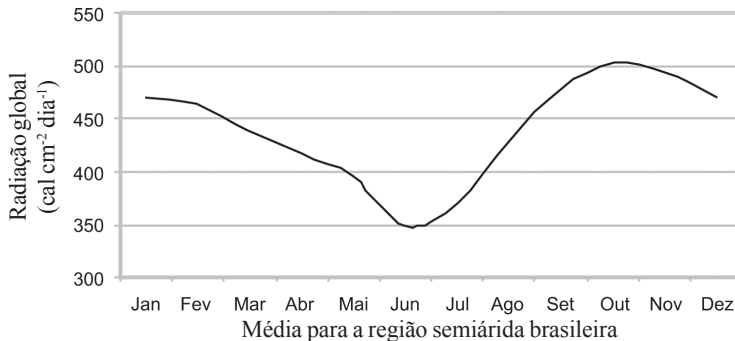


Figura 3.2 Distribuição média mensal da radiação solar global, no semiárido brasileiro

Este aumento ou redução da radiação solar tem efeito direto no consumo de água pelas plantas, fazendo com que a taxa de evapotranspiração seja maior ou menor; portanto, para localidades com quantitativos anuais de chuva próximos, o potencial de sucesso para o rendimento de alguns cultivos pode ser diferente.

Um exemplo deste efeito pode ser visto na Figura 3.3, quando se compara a possibilidade de sucesso para o cultivo do *Phaseolus vulgaris* nos municípios de

Piranhas, AL, e Irecê, BA. Mesmo Irecê apresentando uma média de precipitação 91 mm superior à de Piranhas, a possibilidade de colheita deste cultivo é de 10% inferior em relação ao município alagoano; este evento ocorre porque o período de chuvas para Irecê surge entre os meses de novembro/abril. O aumento da radiação solar neste período propicia uma demanda maior de água pelo cultivo do feijão possibilitando, portanto, que a planta sofra um estresse hídrico maior.

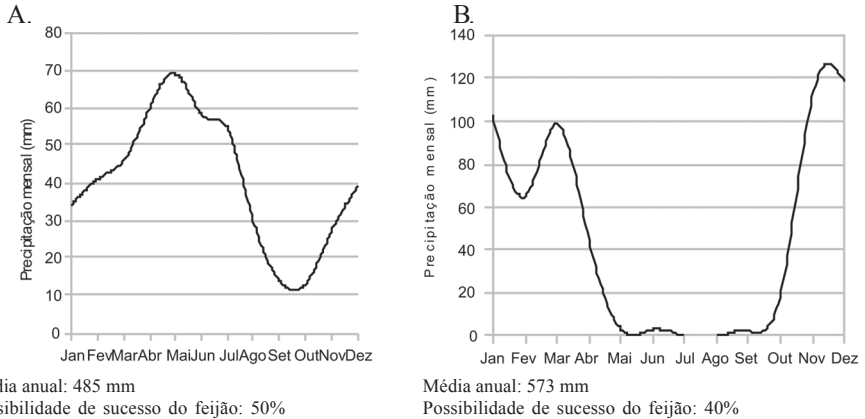


Figura 3.3 Chances de sucesso para a cultura do feijão em Piranhas, AL (A), e Irecê, BA (B)

3.2.2 As águas subterrâneas

Com respeito às águas subterrâneas, o semiárido brasileiro apresenta uma particularidade que o difere de outras regiões do país, onde os terrenos sedimentares e permeáveis são predominantes. No caso do Brasil, dominam as rochas cristalinas, pouco permeáveis e predominantemente salinas. Esses tipos de rocha estão presentes em aproximadamente 80% da região; os 20% restantes representam bolsões sedimentares no Estado do Piauí e regiões do Cariri, Chapada do Apodi e outras. De acordo com Rebouças (1999), é possível se extrair, dessas áreas, com segurança, cerca de 20 bilhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$, porém nas áreas do cristalino existem, atualmente, mais de 100.000 poços perfurados, com vazões médias em torno de 2.000L h^{-1} , o que estabelece um potencial de água a ser extraída da ordem de 292 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$. É importante ressaltar que, na maioria dos casos, a água desses poços apresenta teores de sais superiores a 1g L^{-1} , o que a torna imprópria para o consumo humano. Além disso, essas fontes de água são essenciais aos animais, em especial aos caprinos, cuja demanda de água para dessedentação de todo o rebanho da região é da ordem de $40 \times 10^6 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$; outra grande vantagem é que elas estão protegidas da evaporação. Atualmente, existem sistemas de produção estabelecidos para o aproveitamento dessas água (Porto et al., 2000), tanto para os consumos humano e animal, como para a produção vegetal.

3.2.3 Fator solo

O solo é um dos mais importantes elementos naturais da paisagem do semiárido. Os solos da região são, de maneira geral, rasos, com baixa fertilidade natural, baixo teor de matéria orgânica, drenagem limitada, baixa capacidade de infiltração e de retenção de umidade e apresentam grande potencial para a erosão hídrica provocada principalmente pela ocorrência de chuvas de alta intensidade.

Outrossim, os solos da região são acometidos por processos de adensamento e/ou compactação de suas camadas; este último proporciona alteração no arranjo das partículas do solo aumentando sua densidade e diminuindo o volume de seus poros, chegando a comprometer significativamente a absorção de água pelo perfil do solo. A Figura 3.4 ilustra o efeito deste processo de adensamento/compactação em um solo classificado como argissolo amarelo eutrófico abruptico plíntico (Embrapa, 1999). Em função deste processo a capacidade de infiltração do solo foi reduzida a ponto de, após uma chuva de 50 mm em 24 h, a profundidade do perfil umedecido ser de apenas 17 cm.

É importante evidenciar que apenas o impacto da gota de chuva e a erosão são responsáveis pela redução da capacidade de infiltração, haja vista que a pobreza desses solos em matéria orgânica e a formação de uma crosta de silte na superfície do solo seco, também contribuem significativamente para a redução da taxa de infiltração.

Para a aplicação das técnicas de captação e manejo da água de chuva, o solo é um componente que apresenta interações sumamente importantes, quando associado ao regime pluviométrico. A seleção de áreas visando à aplicação dessas

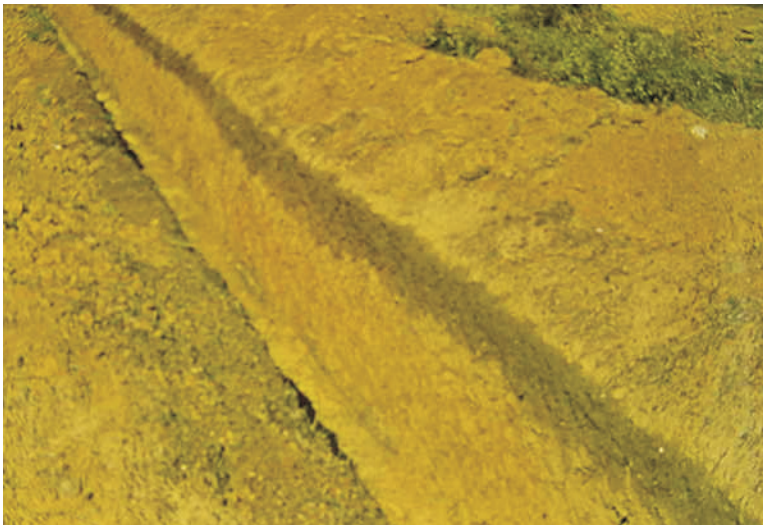


Figura 3.4 Vista da espessura do perfil de solo umedecido através de uma chuva com 50 mm de lâmina d'água

técnicas, pressupõe um conhecimento geral dos solos sobretudo em relação a quatro de suas características físicas: textura, estrutura, porosidade e profundidade efetiva; todavia, não se pode esquecer de que a topografia da área é essencial na definição de algumas técnicas a serem usadas.

3.2.3.1 Textura e estrutura

A textura de um solo é determinada pelo conteúdo de areia grossa e fina, de limo e de argila. Apesar de na definição da classe textural do solo não se levar em conta o conteúdo de matéria orgânica, ela é de extrema importância, não só na melhoria da capacidade de infiltração do solo mas, principalmente, na elevação da capacidade de retenção de umidade do perfil de solo.

Quando se opta pela aplicação de um sistema de captação de água de chuva para a produção agrícola, é conveniente que o solo apresente boa capacidade de infiltração (solos arenosos) mas, ao mesmo tempo, é oportuno que a água infiltrada possa ser retida no perfil durante todo o ciclo da cultura (solo com bom teor de argila).

A estrutura, por sua vez, está determinada pelo arranjo ou disposição das partículas do solo, caso em que as partículas não mais devem ser vistas individualmente como areia, limo ou argila mas, sim, como essas partículas estão estruturadas.

3.2.3.2 Porosidade

A textura e a estrutura do solo, mesmo sendo dois aspectos físicos distintos do solo, estão diretamente ligadas ao aspecto porosidade, que é a parte do solo não ocupada por elementos sólidos. Dois são os tipos de poros: os macroporos e os poros capilares. Em geral, um solo de textura média apresenta porosidade total em torno de 50%; para a captação da água da chuva a macroporosidade é elemento importante e, para a retenção e movimentação do fluxo interno de água no solo, a porosidade capilar é essencial.

3.2.3.3 Profundidade efetiva

O aproveitamento da água de chuva pela planta vai depender da quantidade de água infiltrada e a que profundidade ela ficou armazenada. A depender da quantidade de chuva que ocorra e da facilidade de infiltração no perfil do solo, a tendência desta água é se distribuir em todo o perfil, até atingir a camada impermeável que, de modo geral, é a própria rocha matriz que dá formação ao perfil do solo. Considerando que, em sua maioria, os solos do semiárido brasileiro é raso, esta é uma limitação para algumas das técnicas de captação e aproveitamento da água de chuva para fins agrícolas.

3.2.4 Peculiaridade da caatinga

A caatinga é a formação florística que ocupa a quase totalidade da área do trópico semiárido brasileiro, sendo uma pequena porção representada por vegetação do tipo cerrado; ela é constituída por um conjunto de árvores e arbustos de porte médio e pequeno, retorcidos, de folhas pequenas e caducas, e em boa parte dotadas de espinhos, sendo a principal característica dessa vegetação o xerofitismo.

As plantas xerófilas são aquelas que, por apresentarem mecanismos que permitam um regime de economia de água rígido, toleram o estresse hídrico ou resistem à seca e, em virtude dessas características, elas devem servir de referência para um manejo de água eficaz e eficiente. Esses mecanismos foram desenvolvidos em função da associação florística com o solo e a atmosfera, que atua quase como uma simbiose (Duque, 2004); enfim, elas podem ser classificadas em três tipos, conforme o mecanismo de sobrevivência: efêmeras; suculentas ou carnosas e lenhosas.

Segundo Duque (2004), plantas efêmeras são aquelas cujo ciclo fenológico se completa num período que corresponde à estação chuvosa. Elas apresentam portes diferenciados, podendo variar desde alguns centímetros até um metro ou mais de altura. Seu ciclo completo, compreendendo florescimento e frutificação, pode ser precoce ou prolongado, a depender da duração do período de chuvas; em geral, se reproduzem através de sementes, rizomas ou bolbos.

As suculentas, como a própria classificação define, se caracterizam por apresentarem caules e folhas constituídas de células viscosas; em geral, têm reduzida taxa de transpiração de vez que possuem cutículas espessas ou serosidade, que protegem os estômatos fazendo com que a perda d'água por essas plantas seja minimizada. Um exemplo desse tipo de xerófila, é a palma forrageira (*Opuntia ficus indica*); outra característica desse grupo de plantas é que elas possuem grande quantidade de raízes superficiais, o que favorece a absorção de água contida nas neblinas e orvalho.

As lenhosas, segundo Duque (2004), são árvores ou arbustos perenes ou semi-perenes, com folhagens temporárias, de caules e ramos e, em algumas espécies, as próprias folhas, revestidas com camadas coreáceas ou serosas que controlam a absorção de calor e a perda d'água pelas plantas. Comumente, essas plantas apresentam raízes profundas, o que facilita a busca pela água. Uma característica importante para algumas espécies deste grupo de planta é a presença dos xilopódios, que são estruturas espessas, no sistema radicular que permite a acumulação de grandes volumes de água (Figura 3.5).

Neste contexto e em especial o umbuzeiro (*Spondia tuberosa*), um dos representantes desse grupo de plantas, apresenta menor densidade de estômatos, o que enseja uma eficiência maior na perda de água pelas folhas. Além do mais, o umbuzeiro possui alto controle no processo de transpiração que, à medida em que a temperatura vai aumentando, ela vai reduzindo ainda mais a liberação de água chegando, praticamente, a fechar os estômatos a partir das 9 h da manhã, e os abrindo novamente, ao entardecer.



Foto: Nilton Brito

Figura 3.5 Xilopódios do umbuzeiro, estruturas nas quais a planta armazena água para ser usada no período seco

Portanto, a interatividade entre os elementos que compõem o ambiente semiárido faz com que a vegetação nativa dessa região seja exclusiva e de grande valia para o desenvolvimento da região, servindo como referência quando se trata da utilização de recursos hídricos em condições de escassez.

3.3 RELAÇÃO SOLO-ÁGUA-PLANTA NA AGRICULTURA DE SEQUEIRO

Para se estabelecer um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva, é necessário se dispor de informações não só quanto à oferta ambiental mas, principalmente, em relação ao tipo de cultivo a ser explorado e qual o seu requerimento de água. Nas localidades de baixa precipitação pluviométrica o potencial de produção é definido pelo teor de umidade apresentado pelo perfil do solo, durante todo o ciclo do cultivo que, por sua vez, depende das propriedades físicas do terreno da área de plantio.

A disponibilidade de água para as plantas está à mercê da quantidade e frequência das chuvas, da capacidade de retenção de umidade do solo e da profundidade alcançada pelas raízes do cultivo. O ideal, para a planta, é que as chuvas ocorram em quantidade e frequência de modo que o perfil do solo, explorado pelo sistema radicular, esteja sempre ao redor da capacidade de campo. Em geral, os solos aluviais são mais uniformes em textura e um pouco mais profundos porém a maioria dos perfis dos solos da região semiárida brasileira é estratificada, de pouca profundidade e apresenta barreiras que restringem o enraizamento dos cultivos, ao redor de 30 a 60 cm.

Em termos de capacidade de armazenamento de umidade no perfil do solo explorado pelas raízes dos cultivos, ela pode variar entre 25 e 70 mm de água, para a maioria dos solos da região semiárida brasileira. Este quantitativo é suficiente para suprir adequadamente o requerimento de água pelos cultivos, por um período não mais que uma ou duas semanas; daí a importância das plantas nativas da caatinga terem desenvolvido os mecanismos de defesa quanto ao armazenamento de água nos seus próprios tecidos e da redução da taxa de transpiração.

Grande parte do semiárido brasileiro tem sua precipitação média anual em torno de 500 mm distribuídos num período de 3 a 4 meses, raramente indo até os 5 meses. Mesmo quantitativamente sendo este total de chuva suficiente para atender ao requerimento de água de uma cultura como o feijão, é comum os produtores sofrerem redução no seu rendimento e até mesmo perda total da safra.

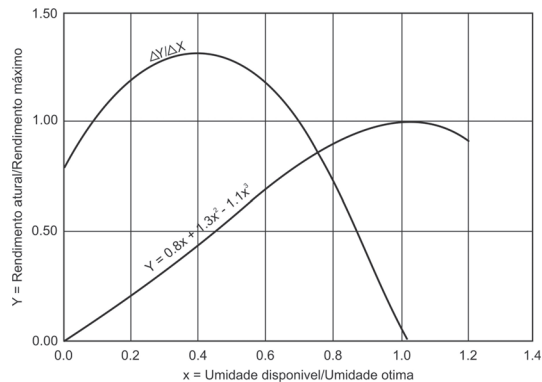
A fim de relacionar a precipitação pluviométrica e a produção de um cultivo, é oportuno avaliar as quantidades de chuva a determinado nível de probabilidade e a confiabilidade deste provimento em atender ao uso potencial de água do cultivo. O conceito de índice de umidade disponível, desenvolvido por Hargreaves & Christiansen (1973) MAI (Moisture Availability Index), teve este propósito.

Para desenvolver o índice os autores resumiram dados de rendimento e uso de água de vários autores. A umidade disponível foi calculada levando-se em consideração a água já armazenada no perfil do solo no início do plantio, mais as precipitações pluviométricas ocorridas durante o ciclo fenológico e a água de irrigação. Os dados de rendimento usados foram do Havaí, Califórnia, Utah e Israel. Os cultivos levados em conta foram: cana-de-açúcar, alfafa, milho e algumas forrageiras.

A fim de padronizar os dados visando comparar os resultados de diferentes cultivos, Hargreaves & Christiansen (1973), usaram Y para expressar o rendimento obtido em relação ao rendimento máximo e X como a relação entre a umidade atual e umidade através da qual o rendimento é máximo. Portanto, os valores de Y e X variaram de 0 a 1. Obteve-se, para a maioria dos dados analisados, a função demonstrada através da Figura 3.6.

É importante ressaltar que o déficit hídrico sofrido por uma cultura tem efeitos diferenciados, a depender da fase do ciclo fenológico em que o estresse ocorreu; todavia, a maior parte da informação disponível indica apenas a relação geral entre umidade disponível no solo e rendimento da cultura; mesmo assim, algumas informações valiosas podem ser concluídas ao se ter a primeira derivada da função mostrada na Figura 3.6, que é representada pela seguinte expressão: $\Delta y/\Delta x = 0,8 + 2,6x - 3,3 x^2$; isto nada mais é do que o produto marginal.

Para o intervalo de $x = 0,086$ e $0,701$, o valor de y é igual ou superior a 1 com o valor máximo de 1,31 quando $x = 0,394$. Portanto, assumido-se que a equação apresentada na Figura 3.6 pode descrever a relação umidade no solo versus rendimento obtido pode-se, então, concluir que, em condições de plantios com recursos hídricos escassos, o aumento do rendimento máximo de produção por umidade de água aplicada é obtido quando a umidade no perfil do solo é suficiente para atender a aproximadamente 40% do requerimento ótimo de umidade para o cultivo em apreço. Esta informação é valiosa para a agricultura dependente de chuva, em que o insumo mais limitado é a água.



Fonte: Hargreaves & Christiansen (1973)

Figura 3.6 Função de produção relacionando teor de umidade e rendimento

3.4 ORISCO DA AGRICULTURA DEPENDENTE DE CHUVA

A irregularidade na distribuição sequencial das chuvas tem sido um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e à estabilização na produção agrícola no semiárido brasileiro. Além da má distribuição sequencial, o período chuvoso é curto, com intervalo entre chuvas, longo, e estas de alta intensidade, o que não só provoca erosão como, também, concorre para que grandes volumes de água não fiquem armazenados no perfil do solo e sejam perdidos, tornando a exploração agrícola uma atividade de risco. Duque (2004) relata, em suas observações não recentes sobre o semiárido brasileiro, que em lavouras tradicionais de gêneros alimentícios, tais como milho, feijão e arroz, o produtor consegue apenas uma safra, com 100% de rendimento, em cada 10 anos.

Por outro lado e se considerando a diversidade de situações agroecológicas e socioeconômicas encontradas nesta região, não é possível o estabelecimento de normas gerais prefixadas para o enfrentamento de risco ao qual a atividade agrícola está sujeita.

Todavia, objetivando apoiar um planejamento racional para a transferência de tecnologias em manejo de solo e água, a Embrapa desenvolveu um modelo simulado que permitiu avaliar as chances de sucesso na exploração de culturas de feijão, milho e sorgo, ao mesmo tempo em que avalia o déficit hídrico sofrido por essas culturas e a potencialidade de produção de escoamento superficial (Garagorry & Porto, 1983).

O modelo considera não só a precipitação e a evapotranspiração mas, também, foram desenvolvidas funções de produção para os cultivos em apreço, relacionando-se a fenologia do cultivo com a escassez de umidade no perfil de solo. Os dados de precipitação usados foram diários e os de evapotranspiração potencial, mensais. A unidade de tempo para simulação foi a sequencial de 5 dias; portanto, o ano foi dividido em 73 períodos de 5 dias cada um. Os dados sobre a capacidade de

armazenamento de água no perfil do solo, foram estimados para as manchas de solo predominantes nos municípios avaliados.

Na Tabela 3.1 se encontram a probabilidade de resultado aceitável (PRA), o máximo déficit médio (MDM) de água sofrido pela cultura e o máximo escoamento médio (MEM) ocorrido durante o ciclo fenológico dos cultivos de feijão, caupi, milho e sorgo, para alguns municípios do semiárido brasileiro.

Tabela 3.1 Probabilidade de resultado aceitável (PRA), máximo déficit médio de água (MDM) e máximo escoamento médio (MEM) durante o ciclo das culturas de feijão, caupi, milho e sorgo, em oito municípios do semiárido brasileiro

Município Estado	Feijão			Caupi			Milho			Sorgo		
	PRA	MDM	MEM	PRA	MDM	MEM	PRA	MDM	MEM	PRA	MDM	MEM
	%	mm		%	mm		%	mm		%	mm	
Jaicós/PI	70	38	204	80	28	210	70	69	230	80	52	208
Icó/CE	70	44	231	80	26	235	70	74	253	80	48	230
Caicó/RN	70	44	212	70	31	222	60	80	246	70	62	219
Soledade/PB	20	85	58	33	53	78	20	97	60	33	91	76
Ouricuri/PE	30	90	105	40	60	114	20	152	118	40	100	110
Santana do Ipanema/AL	90	14	183	90	9	212	90	21	229	90	36	208
Nossa Senhora da Glória/SE	80	31	142	80	19	168	80	34	196	90	22	154
Irecê/BA	40	91	135	50	56	154	10	154	150	34	105	148

A partir da observação dos dados apresentados na Tabela 3.1, fica evidenciado que a produção de grãos no semiárido brasileiro é uma atividade de risco, como mencionado em tópicos anteriores; todavia, é importante ressaltar que este risco é variável, a depender do tipo de grão e do regime pluviométrico do ambiente. Esta tabela evidencia o déficit hídrico sofrido pelos cultivos avaliados e o excedente de umidade não absorvido pelo perfil do solo, quando da ocorrência de chuvas.

Pode-se constatar, também, que há bastante desperdício de água em função da formação do escoamento superficial. De modo geral, o escoamento superficial no início da chuva é menor, até que o solo atinja sua capacidade de campo e então se torne constante. Sempre que o solo se vai saturando, a velocidade de penetração da água diminui aumentando, consequentemente, o escoamento superficial, desde que a infiltração se mantenha constante. Aqui reside uma oportunidade para a redução dos riscos de perda dessas culturas, ou seja, é tirar proveito deste desperdício de água. Essas informações sugerem que, através das práticas de captação de água de chuva, o risco na produção de grãos na região semiárida pode ser reduzido.

Todavia, existem outras estratégias para a redução dos riscos de perda dos cultivos, por falta de umidade no solo. A Figura 3.7 mostra a resposta do comportamento fisiológico entre os cultivos de sorgo e milho. Ambas as culturas foram plantadas na

mesma data e receberam as mesmas quantidades de chuva e os mesmos tratos culturais. O sorgo não só apresenta uma demanda hídrica menor como, também, é mais tolerante aos efeitos de estresse de umidade do solo e tem ciclo fenológico de menor duração, quando comparado com o milho.



Foto: F. Pinheiro

Figura 3.7 Comportamento do sorgo e milho plantados na mesma data

Em verdade, o tipo de cultivo a ser escolhido para plantar depende do requerimento de água, da oportunidade da oferta hídrica coincidir com os períodos críticos, da exigência de umidade pela planta e da habilidade do cultivo em suportar estresse hídrico sem comprometer intensivamente o rendimento. O requerimento total de água de um cultivo, por sua vez, depende da duração de seu ciclo fenológico.

Entretanto, a nível de propriedade, é escassa a informação sobre o regime pluviométrico em andamento; em contrapartida, uma outra estratégia a ser implementada objetivando a redução do risco de perda por falta de umidade no solo, é plantar variedades de ciclos diferentes, da mesma cultura. A Figura 3.8 ilustra o plantio de feijão com ciclos precoce e médio.



Foto: F. Pinheiro

Figura 3.8 Importância do cultivo de variedades com ciclos fenológicos diferenciados

3.5 PERFIL DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Para a agricultura de sequeiro a chuva que cai na propriedade agrícola é, em geral, a única fonte de água disponível para manutenção da família e para o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Por sua vez, esta chuva é variável em quantidade, intensidade, no espaço e no tempo. Portanto, tirar proveito dela quando da sua ocorrência, é questão estratégica para a convivência com o semiárido.

Quando da aplicação das técnicas de aproveitamento da água da chuva, é imprescindível que sejam ressaltadas algumas premissas que devem nortear o processo de planejamento para a convivência com o semiárido:

1. magnitude volumétrica: quando se fala que a média anual de chuva de uma localidade é de 400 a 500 mm, parece que este número não significa muita coisa. Não se pode esquecer de que, para cada milímetro de chuva que cai, há um potencial de captação de até 1 litro de água para cada metro quadrado de superfície.

2. evitar o desperdício: a chuva, por se tratar de um insumo escasso nas regiões áridas e semiáridas, é preciso que seja aproveitada com eficiência, isto é, a chuva captada deverá ser conduzida com eficiência para onde ela será aproveitada, quer seja para o perfil do solo, no caso de ser utilizada para a produção agrícola, quer seja para tanques de armazenamento (cisternas), no caso de uso para consumo humano ou animal.

3. priorizar cultivos de baixo consumo: para as zonas de baixa precipitação a melhor maneira de aproveitar as chuvas e empregá-las em cultivos resistentes à seca, quer seja devido à sua tolerância genética ao estresse hídrico, quer seja pelo seu curto ciclo fenológico.

Com essas premissas em mente, o próximo passo é definir a hierarquia para o atendimento das necessidades na propriedade, que deverá ser: consumo humano, consumo animal e produção vegetal.

3.5.1 Consumo humano – cisterna

É uma tecnologia milenar que tem, como objetivo, captar e armazenar água de chuva para o consumo humano. No caso do semiárido brasileiro, durante o período chuvoso a água que abastece a família é retirada de pequenos barreiros que, em geral, são compartilhados com os animais existentes nas propriedades. Esses animais têm acesso diretamente à fonte, o que contribui para sua contaminação. Comumente, sempre que o período de estiagem se prolonga, mais distantes ficam essas fontes, fazendo com que haja um contingente maior de mão-de-obra na tarefa de prover água para o consumo da família. Esta tarefa é desenvolvida, quase sempre, pela mulher.

Para viabilizar o uso de cisternas no meio rural do semiárido brasileiro, diversas pesquisas foram realizadas no final da década de 70, pela Embrapa Semiárido, visando identificar processos de implementação e materiais alternativos para a construção do

reservatório e de áreas de captação da chuva. Nesses estudos foram identificados procedimentos para a captação da chuva no próprio solo, complementando a área de captação quando os telhados das residências não eram suficientes para produzir os volumes necessários destinados à manutenção da família. A Figura 3.9 mostra o modelo mais utilizado atualmente na construção de cisternas. Este tipo é conhecido como cisternas de placa. As ONG's têm feito um trabalho com muita eficiência e eficácia para a sua disseminação.



Figura 3.9 Cisterna tipo placa construída no semiárido brasileiro

A utilização da cisterna de placas como estratégia para garantir água potável na zona rural de escassa precipitação pluviométrica, tem crescido nos últimos 15 anos. A meta do governo federal, de um milhão de cisternas no semiárido brasileiro, ainda está longe de ser alcançada. Em geral, tem-se sugerido que a cisterna tenha capacidade de armazenamento de 16 m³, o que é suficiente para atender a uma família de 5 pessoas com o uso de 14 L de água por dia durante o período de 240 dias, que correspondem ao período de estiagem.

Todavia, é conveniente lembrar que a construção de apenas um recipiente tem dificultado o manejo da água armazenada, principalmente quando se trata de lavagem do tanque da cisterna. Em Petrolina, PE, um estudo de caso (Figura 3.10) (não publicado) demonstrou ser mais eficiente a construção de dois tanques de cisterna, cada um com capacidade de 8 mil L.

Um estudo de caso (Brito et al., 2005), também demonstrou ser economicamente viável a construção de cisternas para a garantia de água na dessedentação de caprinos e ovinos. A Figura 3.11 apresenta detalhes da construção do sistema de cisterna para provimento de água aos animais, em campo de pastagem.

Este assunto é de extrema relevância para regiões áridas e semiáridas. Em geral e se considerando o sistema extensivo em que é praticada a pecuária do semiárido



Foto: Luiza Brito

Figura 3.10 Conjunto de cisternas com volume menor de armazenamento



Figura 3.11 Cisterna construída com o objetivo de suprir de água os animais

brasileiro, os animais percorrem grandes distâncias, à procura de água, o que ocasiona um grande gasto de energia por parte do animal. É necessário levar em consideração que no período seco que, em geral, abrange de 8 a 9 meses, os alimentos também reduzem seus quantitativos de umidade, provocando no animal maior demanda por água. Portanto, para os pequenos ruminantes o planejamento da construção de cisterna para dessedentação dos animais deve ser levado em consideração. A Tabela 3.2 apresenta a demanda de água por categoria animal.

Atualmente, estudos estão sendo conduzidos na Embrapa Semiárido com o objetivo de avaliar a viabilidade da construção de cisternas como fonte de água para pequenos pomares e hortas familiares.

Tabela 3.2 Necessidade de água para o consumo de diferentes espécies de animais

Categoria	Demanda de água L dia⁻¹
Bovino	50,0
Equino	40,0
Caprino/ovino	5,0
Aves	0,2

3.5.2 Barreiro para uso em irrigação de salvação

Os barreiros têm sido usados para armazenar água de chuva proveniente do escoamento superficial há muitos séculos, no semiárido brasileiro; apesar de rasos, cobrem uma grande área de terra e apresentam elevadas perdas por evaporação e percolação.

Desde o final da década de 70 a Embrapa Semiárido vem desenvolvendo ações de pesquisa que conferem, às propriedades rurais, uma infraestrutura hídrica capaz de permitir a convivência do homem com as adversidades do ambiente semiárido. Entre essas tecnologias o uso da irrigação de salvação tem reduzido os riscos de perda dos cultivos alimentares em anos cuja precipitação pluviométrica é muito irregular.

A irrigação de salvação é definida como a lâmina de água aplicada à cultura nos períodos de estiagem que, geralmente, ocorrem durante o período de chuvas, de forma a reduzir o efeito do estresse hídrico provocado pela falta de umidade na zona do sistema radicular do cultivo. No semiárido brasileiro é comum, após as primeiras chuvas, a ocorrência de períodos de 20 a 30 dias sem novas chuvas, comprometendo seriamente o desenvolvimento e o rendimento dos cultivos, a depender da fase do ciclo fenológico, quando isto ocorre. A Figura 3.12 apresenta uma vista do sistema implantado em Petrolina, PE.

Esta tecnologia possibilita a captação da água que escoar a uma velocidade controlada na superfície do solo, durante as chuvas de maior intensidade, conduzindo-a para um reservatório estrategicamente estabelecido e sua posterior utilização nos cultivos implantados à jusante do barreiro.



Foto: Nilton Brito

Figura 3.12 Barreiro para irrigação de salvação contendo áreas de captação e de plantio

O objetivo básico do barreiro para irrigação de salvação é fazer com que, mesmo nos anos críticos, o agricultor familiar tenha condições de assegurar pelo menos a estabilização de culturas alimentares visando ao suprimento da família; todavia, em anos de chuvas regulares o sistema pode permitir a obtenção de um segundo cultivo.

A seleção criteriosa das áreas e a construção adequada do barreiro são pré-requisitos básicos para a funcionalidade do sistema. Uma das limitações deste sistema é a inadequação das áreas nas pequenas propriedades. Em geral, em áreas de baixa precipitação o sistema exige uma área de captação em torno de 2 hectares para cada hectare cultivado. Por exemplo, conforme visto na Tabela 3.1, na maioria dos casos o déficit hídrico sofrido pelos cultivos apresentados foi inferior a 100 mm. Considerando um déficit de 100 mm em uma localidade com média de 500 mm anuais, o cálculo para a área de captação de uma área de plantio de 1 hectare, é o seguinte:

$$V = \frac{D \times A_p}{P}$$

sendo:

V - volume de água de chuva a ser captado, m³

D - déficit hídrico sofrido pela cultura, em m (0,1 m)

A_p - área de plantio, em metros quadrados (10.000 m²)

P - coeficiente de perdas provocadas pela evaporação e infiltração (0.5)

Substituído,

$$V = \frac{0,10\text{m} \times 10.000\text{m}^2}{0,5} = 2.000\text{m}^3$$

Por sua vez:

$$AC = \frac{V}{P_m \times c}$$

em que:

AC - área de captação para barreiro em metros quadrados

P_m - precipitação média anual, em metros = 0,5 m

C - coeficiente de escoamento superficial = 0,2

Substituindo,

$$AC = \frac{2.000\text{m}^3}{0,5\text{m} \times 0,2} = 20.000\text{m}^2 = 2,0\text{ha}$$

É importante lembrar que o coeficiente de escoamento superficial é muito variável e depende das características apresentadas pela área, tais como topografia, textura e cobertura. Algumas dessas características podem ser alteradas com a construção de sulcos de drenagem e modificação da superfície do solo com vegetação apropriada ou impermeabilização da mesma.

Uma das razões da baixa eficiência de aproveitamento da água dos açudes nas regiões semiáridas é causada pelas perdas excessivas, pela evaporação direta das superfícies líquidas expostas. Essas perdas são mais acentuadas no período compreendido entre os meses de novembro e fevereiro, quando a incidência da radiação solar é mais intensa. Para se ter uma idéia da magnitude deste potencial de perda, nos meses de junho/julho, a evaporação do tanque classe “A” em Petrolina, é da ordem de 4 a 5 mm dia⁻¹. Nos meses de dezembro/janeiro este potencial varia de 12 a 14 mm dia⁻¹, significando uma demanda de água pela atmosfera da ordem de 12 a 14 L dia⁻¹, por metro quadrado de superfície líquida exposta. É bastante água que se perde. O efeito dessas perdas é mais significativo para os municípios nos quais as chuvas se iniciam nesses meses. Portanto, reduzir as perdas de água por evaporação é uma estratégia importante para incrementar, por mais tempo, o suprimento de água nos pequenos reservatórios.

Em princípio, parece fácil reduzir essas perdas, pois como a evaporação é um processo que ocorre em superfícies líquidas expostas aos fatores que a governam, principalmente a exposição direta a radiação solar, a simples cobertura do espelho de água parece ser a solução do problema, porém, a economicidade desta alternativa não tem demonstrado viabilidade.

Barros et al. (1981) e Porto et al. (1986), testaram alguns materiais com o objetivo de reduzir as perdas. Foram testados materiais, tais como: parafina, cera de carnaúba, compostos de vermiculita, placas de isopor, planta aquática (*Pistia stratiotes* L.) e esferas de argila. A Figura 3.13 apresenta alguns desses tratamentos em campo. Reduções superiores a 60% nas perdas por evaporação foram conseguidas. O tratamento mais eficiente foi a cobertura do espelho d’água, com folhas de isopor.



Figura 3.13 Tanque de evaporação classe “A” contendo alguns dos tratamentos testados para redução da evaporação

É relevante frisar que esses resultados foram conseguidos em parcelas constituídas de tanques classe “A”; no entanto, quando se partiu para trabalhar nos próprios barreiros, os resultados conseguidos sobre o controle das perdas por evaporação foram bem inferiores, cujo motivo é a dificuldade de se manter as folhas de isopor na superfície líquida. Em função das correntes de vento a tendência desse material é ir para as periferias do reservatório, expondo grandes áreas da superfície líquida reduzindo, portanto, sua eficiência.

Outra alternativa avaliada foi a de reduzir o espelho d’água através do conceito de Reservatórios em Compartimentos. Este conceito foi desenvolvido por Cluff (1977) e consiste em dividir o volume total de água a ser armazenado em vários compartimentos menores, desde que o volume dos compartimentos seja suficiente para compor o volume total desejado de água. Com o decorrer do tempo e à medida em que os volumes dos compartimentos forem sendo reduzidos, reabastecê-los com a retirada de água de um deles e assim sucessivamente, até o restante da água ocupar apenas um compartimento. A Figura 3.14 apresenta os dados com as perdas com a evaporação e o remanescente de água no reservatório para a divisão em vários compartimentos.

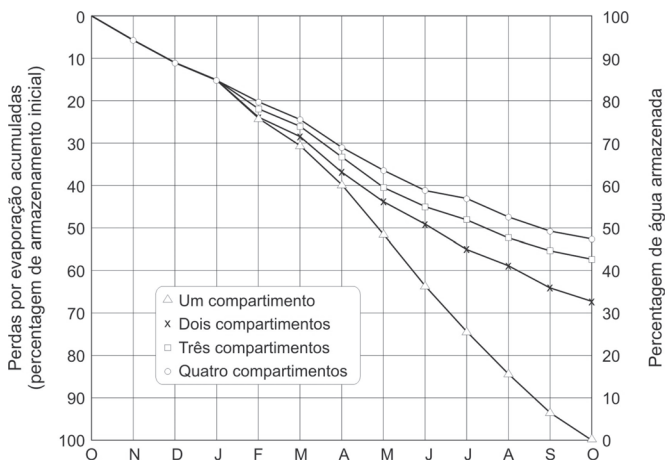


Figura 3.14 Porcentagem de água evaporada e acumulada, considerando-se o conceito de reservatório em compartimentos

3.5.3 Captação “in situ”

Este sistema segue a mesma lógica do barreiro para irrigação de salvação, com a vantagem de não requerer grandes áreas para captação; ele consiste em modificar a superfície natural do terreno, de modo a formar um ou mais planos inclinados que induzam à formação do escoamento superficial e o conduza diretamente para a área na qual se encontra o sistema radicular da planta. Em outras palavras, a captação de água de chuva “in situ” consiste na formação sucessiva de sulcos e camalhões ou na

formação de pequenas bacias ou faixas escavadas ao redor da planta, os últimos mais utilizados para plantio de árvores ou arbustos.

Em uma classificação geral, a captação “*in situ*” pode ser agrupada em função do ciclo do cultivo: anual e perene. As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam, respectivamente, um sistema de captação “*in situ*” para cultivos anuais e outro para cultivos perenes.



Figura 3.15 Sistema de captação de água de chuva “*in situ*” para cultivos anuais



Figura 3.16 Sistema de captação de água de chuva “*in situ*” para cultivos perenes

Na implantação de um sistema de captação “*in situ*” a definição do método vai depender de fatores que vão desde o tamanho da área a ser cultivada, do tipo de cultivo, da topografia, das condições pluviométricas, da disponibilidade de equipamento, da mão-de-obra disponível e, principalmente, da capacidade de armazenamento de água do perfil de solo. De nada adiantará provocar a produção de um excedente de escoamento superficial se o perfil do solo não tiver condições de

infiltrá-lo e mantê-lo no interior do solo. Portanto, o objetivo da captação “*in situ*” consiste em produzir e armazenar, no solo, a maior parte da chuva que cai, proporcionando às plantas um período mais longo de umidade disponível em seu sistema radicular.

No semiárido brasileiro a prática da agricultura tradicional proporcionou condições para um desgaste contínuo do solo. Este sistema provocou redução do nível de matéria orgânica do solo, desestabilização de agregados e, sobretudo, degradação da estrutura do solo, com reflexo na redução da taxa de infiltração de água. O resultado dessas alterações se manifesta em processos de erosão, com perdas de solo, reduzindo a profundidade do seu perfil e, em contrapartida, reduzindo a capacidade de armazenamento de umidade.

Portanto, um dos pontos significativos a ser observado quando do planejamento da catação “*in situ*”, é avaliar o potencial da lâmina de água disponível que o perfil de solo poderá armazenar. Esta lâmina poderá ser calculada com a seguinte fórmula:

$$LAD = \frac{Ad \times Da \times Pe}{100}$$

donde:

LAD - lâmina de água disponível, em cm m⁻¹

Ad - Água disponível, em %

Da - densidade aparente, em g cm⁻³

Pe - profundidade efetiva do sistema radicular, em m

Por sua vez, a água disponível que o solo é capaz de armazenar depende da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha (PM). A capacidade de campo se refere à quantidade de água que um solo pode reter depois do movimento gravitacional cessar. Do ponto de vista agrônômico, o conteúdo de umidade do solo à capacidade de campo representa o limite máximo de disponibilidade de água para as plantas; essa constante de umidade é definida a uma tensão de 0,33 Bars.

O ponto de murcha permanente diz respeito ao conteúdo de umidade do solo no qual as plantas murcham permanentemente, ou seja, as plantas não têm condições de recuperação; para a planta, tal conteúdo de umidade representa o limite mínimo de umidade disponível e é definido a uma tensão de 15 Bars.

A água disponível é definida por:

$$Ad = CC - PM$$

A densidade aparente se refere ao peso de um volume de solo com sua estrutura natural. A relação entre o peso do solo com sua estrutura natural e o volume que este ocupa, se expressa pela fórmula:

$$Da = \frac{Ps}{Vt}$$

sendo:

Ps - peso solo seco

Vt - volume total (solo seco + espaço vazio)

A profundidade efetiva (Pe), diz respeito à porção do perfil do solo livre de qualquer estratificação que impeça o desenvolvimento normal do sistema radicular do cultivo.

Na instalação de cultivos utilizando-se técnicas de captação de água de chuva “in situ”, a definição do método vai depender de vários fatores, como já mencionados; no entanto, os processos de construção em cultivos anuais ou perenes são diferentes porém é oportuno ressaltar que a captação “in situ” é mais eficiente que outros sistemas de captação de água de chuva para fins de produção agrícola, pelos seguintes aspectos:

- as perdas de água são minimizadas em função das curtas distâncias percorridas pelo fluxo de água no solo;

- produz escorrimento superficial, mesmo com chuvas finas de baixa intensidade; para sistemas mais complexos isto não seria possível;

- requer baixo investimento, por não exigir a construção de canais, condutos, terraços ou mesmo nivelamento de terra;

- pode ser construído em condições variáveis de topografia do terreno.

3.5.4 Barragem subterrânea

Barragens subterrâneas são reservatórios geralmente construídos no leito de rios e riachos, para armazenamento de água no interior do solo, visando à exploração agrícola ou do fornecimento de água para o consumo humano ou animal. O armazenamento de água se dá através do fluxo superficial e subterrâneo em um aquífero pré-existente ou criado com a construção de parede, também conhecida como septo impermeável. Esta parede pode ser construída com argila compactada, alvenaria, concreto ou lona plástica, à mercê das condições locais do produtor e da disponibilidade de materiais.

Os primeiros trabalhos visando ao uso desta técnica para o aproveitamento da água subterrânea, de que se tem notícia, foram realizados em Santo Antonio, na Califórnia, por volta de 1895 (Tigre, 1949). No Nordeste brasileiro a construção de barragens subterrâneas, principalmente no polígono das secas, data do século passado, tendo ênfase a partir de 1935, com um projeto da Inspeção de Obras Contra as Secas, para a construção de barragens subterrâneas; no entanto, esta tecnologia passou a ser mais conhecida nesta região a partir de 1954, quando se instalou a Missão de Hidrogeologia para o Nordeste, da UNESCO, que passou a divulgar a barragem subterrânea com uma tecnologia apropriada para as condições do semiárido brasileiro (IPT, 1981).

A partir dos anos 60, com a influência do programa da UNESCO a barragem subterrânea passou a ter mais atenção por parte dos pesquisadores e das instituições envolvidas com a seca na região. Em 1965, a construção de uma barragem subterrânea no leito do Rio Trici, no Ceará, pelo então DNOCS, com o objetivo de suprir o abastecimento de água para a população do município de Tauá, CE, teve muita influência nos estudos e pesquisas posteriores sobre esta tecnologia (IPT, 1981).

Silva et al. (1992), realizaram levantamentos sobre barragens subterrâneas na região do Seridó, RN, e encontraram barragens a nível de produtor, construídas na década de 20, usando-se materiais da própria região (pedra + cal, barro batido, alvenaria). Nessas barragens eram exploradas principalmente culturas forrageiras além de arroz, batata doce, feijão e milho, no sistema de exploração semelhante ao de agricultura de vazante.

No início da década de 80 a Embrapa Semiárido iniciou pesquisas com barragens subterrâneas, visando avaliar o desempenho de algumas culturas e introduzir outros materiais, tais como lonas plásticas e PVC, na construção do septo impermeável pois até então se utilizavam pedras rejuntadas, argamassa de cimento e areia, núcleos de argila compactada ou tijolo com argamassa de cimento e cal.

Uma barragem subterrânea é composta de: área de captação, também considerada área de plantio, parede da barragem, que barra o fluxo superficial para que ocorra a infiltração no perfil do solo, e septo impermeável, que propicia a formação ou elevação do nível do lençol freático, provocando a descontinuidade do fluxo na direção horizontal. A Figura 3.17 mostra uma vista de uma barragem subterrânea com seus componentes.

3.5.4.1 Critérios para seleção da área

Quando se planeja a construção de uma barragem subterrânea é necessário ter em mente que o próprio perfil de solo é um grande reservatório produzido pela natureza



Foto: Carlos A. Silva

Figura 3.17 Vista de uma barragem subterrânea apresentando detalhe da área de plantio

e que, à medida em que este reservatório reduz sua capacidade em determinado local tendo como causa a erosão hídrica, outro perfil, em outro local, será ampliado em função da deposição dos sedimentos detríticos carreados por este mesmo processo erosivo. Esses perfis assim desenvolvidos, são denominados aluviais.

A composição dos depósitos aluviais é muito irregular, indo de seixos e areia grossa até siltes e argilas, a depender da textura do material existente nas áreas com altitudes mais elevadas. Da mesma forma se comporta a espessura do perfil de solo formado, indo de alguns centímetros a alguns metros. Para se ter bom aproveitamento da barragem subterrânea, é necessário que se busquem espessuras de perfis com pelo menos 1,0 m de profundidade.

A qualidade da água é outro critério a ser levado em consideração. É conveniente que tenha baixa salinidade, pois a concepção da barragem subterrânea pode levar a uma provável salinização mas, que para isto seja possível, tomam-se precauções eficientes. A avaliação da qualidade da água pode ser feita com condutivímetros portáteis, a partir de cacimbas existentes; caso não existam cacimbas na área, a informação de moradores do local é valiosa, o aspecto do terreno e a vegetação também podem ser indicativos da existência de problemas de salinidade no terreno.

Outro critério que também deve ser observado, é a declividade do eixo da linha de drenagem ou do riacho para onde o fluxo superficial irá fluir. A declividade deverá ser a menor possível para que a água armazenada possa se estender por uma distância maior.

Finalmente, é importante que, ao final das avaliações para a locação da barragem subterrânea, seja feita uma estimativa do seu potencial para armazenamento de água. O principal dado para esta avaliação é o conhecimento da extensão, da largura e da espessura do aluvião do local selecionado.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região semiárida brasileira é constituída por um aglomerado de unidades de produção com diferentes características, no que diz respeito a solo, relevo, clima, vegetação, potencial hídrico e sistemas de produção e fundiário. Mesmo tendo essa região uma das maiores médias anuais de precipitação pluviométrica dentre as regiões semiárida do mundo, as áreas de sequeiro vivem em permanente estado de emergência, independente do desempenho das chuvas. Na verdade, nas caatingas cada vez menos os solos e a vegetação têm condições de suportar o esforço físico e biológico resultante da ação do homem, em busca da sobrevivência.

A deterioração das condições ambientais na região que, em alguns casos, já inclui processo de desertificação, tem como parte de sua origem a falta do conhecimento, por parte da população, sobre as potencialidades e limitações que possui o semiárido brasileiro. Não obstante, esta região tem muito a oferecer, desde que seus recursos naturais sejam utilizados racionalmente.

A criação desta consciência deve ser trabalhada, transmitida e convivida, aliada a uma política de desenvolvimento rural sustentável que conduza a população a uma

reestruturação das suas atividades e demais atribuições, em função do potencial e limitação que o ecossistema oferece. Ingredientes para isto já se tem, pois é significativa a quantidade de informações geradas pelos institutos de pesquisa, universidades, órgão de fomento e organizações não governamentais sobre as potencialidades do trópico semiárido brasileiro e as tecnologias apropriadas para uma convivência harmoniosa das comunidades com o meio, compreendendo o variado ambiente semiárido, identificando os diversos elementos que interferem na sua sustentabilidade, de modo a estabelecer soluções fundamentadas na regularidade do fornecimento da água e obtenção de produtividade crescente por gota de água disponível. Portanto, como afirma Rebouças (2002), “é muito mais importante saber usar a gota de água disponível do que ostentar sua escassez”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco do Nordeste do Brasil. Proposta de dimensionamento do semiárido brasileiro. Fortaleza, 2005. 107p.
- Barros, L. C. G.; Porto, E. R.; Souza, O. Efeitos da cobertura de açudes na evaporação da água armazenada. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 4., 1981, Fortaleza. Anais... Fortaleza: DNOS, 1981. p. 344-350.
- Brito, L. T. de L.; Porto, E. R.; Silva, D. F. da; Holanda Júnior, E. V. de; Cavalcanti, N. de B. Água de chuva para consumo animal: Estudo de caso com caprinos. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5., 2005, Teresina... Anais... Teresina: ABCMAC; Governo do Estado do Piauí: Embrapa Semiárido: IRPAA, ASA, 2005. 1 CD-ROM
- Cluff, C. B. The Compartment reservoir, a method of efficient water storage. Fort Collins. Colorado U.S.A., 1977. 149p. Doctoral Thesis
- Duque, G. O Nordeste e as lavouras xerófilas. Fortaleza. Banco do Nordeste, 2004. 329p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1999. 412p.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Redimensionamento da região semi-árida do Nordeste do Brasil. Fortaleza, 1993. 112p.
- Garagorry, F. L.; Porto, E. R. Agroclimatic modeling as research tool in Brazil. In: Cusack, D.F. (ed.). Agroclimatic information for development (reviewing the green revolution). Boulder, Colorado: Westview Press, 1983. p. 229-237.
- Hargreaves, G. H.; Christiansen, J. E. Production as a function of moisture availability. Logan: Utah State University, 1973. 18p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste brasileiro: Bacias dos Rios Piranhas –Açu (RN) e Jaguaribe (CE). São Paulo, 56 p. il. IPT. Relatório, 14887, 1987.

- Porto, E. R.; Amorim Neto, M. da S.; Silva, D. F. da. Utilização de materiais flutuantes no controle da evaporação no Trópico Semiárido (TSA). Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.21, n.1, p.1-7, 1986.
- Porto, E. R.; Garogorry, F. L.; Moita, A. W.; Silva, A. de S. Risco climático: Estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio. I. Culturado feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1983. 129p. Documentos, 23
- Rebouças, A. da C. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. Revista Águas Subterrâneas. [S.I.], n.16, p.21-29, 2002.
- Rebouças, A. C.; Marinho, M. E. Hidrologia das secas: Nordeste do Brasil. Recife: SUDENE, 1972. 126p. SUDENE Hidrologia, 40
- Sá, I. B; Sá, I. I. da S.; Silva, D. F. da. Geotecnologias conciliando preservação ambiental e fortalecimento das atividades produtivas na região do Araripe-PE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. 1 CD-ROM.
- SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Plano de aproveitamento integrado de recursos hídricos do Nordeste do Brasil: Estudos climatológicos. v.2. 130p. Recife, 1980.
- Tigre, B. Barragens subterrâneas e submersas como meio rápido e econômico de armazenamento d'água. Anais do Instituto do Nordeste, n.1, p.13-29. 1949.

Planejamento, gerenciamento e uso racional de águas em perímetros públicos de irrigação

Raimundo N. T. Costa¹, Vandemberk R. de Oliveira²
& Danielle F. de Araújo¹

¹ Universidade Federal do Ceará

² Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, CE

- 4.1 Introdução
 - 4.2 Gestão dos recursos hídricos no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas
 - 4.2.1 Características gerais
 - 4.2.2 Administração, operação e manutenção do Perímetro
 - 4.2.3 Composição e análise da tarifa de água K_2
 - 4.2.4 Planejamento e outorga de uso da água
 - 4.2.5 Indicadores de desempenho
 - 4.3 Uso racional e conservação de água
 - 4.3.1 Eficiência de aplicação e de uso da água no cultivo do arroz
 - 4.3.2 Condução e aplicação de água através de politubo janelado
 - 4.3.3 Irrigação localizada com aproveitamento de água de fonte subterrânea
 - 4.3.4 Reúso de água da irrigação por sulcos em sistemas localizados
 - 4.4 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Planejamento, gerenciamento e uso racional de águas em perímetros públicos de irrigação

4.1 INTRODUÇÃO

O Perímetro Irrigado surgiu com a criação da Lei nº 4.504, de 1964, através da desagregação dos campos de irrigação da forma fundiária para projetos de engenharia tendo, como poderosa ferramenta para desenvolvê-lo, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) surgindo, então, um novo modelo, o Perímetro Irrigado, baseado na propriedade familiar, cujo ponto de apoio foi o pequeno produtor (CODEVASF, 2007).

Somente 15 anos após o surgimento da Lei que criou o Perímetro Irrigado foi sancionada, pelo Presidente da República, em 25 de junho de 1979, a Lei 6.662, mais conhecida como Lei de Irrigação, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. Em seu capítulo III, Art. 8º, § 1º, define Projeto Público como aquele cuja infraestrutura de irrigação de uso comum é projetada, implantada e operada, direta ou indiretamente, sob a responsabilidade do Poder Público. De 1984 a 2007 seguiu-se a regulamentação da Lei de Irrigação, através de vários decretos e portarias.

Conforme a Lei 6.662/79, a infraestrutura de irrigação de uso comum dos Perímetros Irrigados, voltada para o apoio direto à produção, compreende barragens e diques; estruturas e equipamentos de adução, condução e distribuição de água; estradas e linhas internas de transmissão de energia; rede de drenagem principal e prédios de uso da administração. Para os efeitos desta Lei considera-se irrigante a pessoa física ou jurídica que se dedique, em determinado projeto de irrigação, à exploração de lote agrícola do qual seja proprietária, promitente-compradora ou concessionária de uso.

A Portaria nº. 74, de 3 de junho de 1986, estabeleceu que nos Projetos Públicos de Irrigação deveriam ser destinados lotes a profissionais de Ciências Agrárias, no limite máximo de 10% da área total de um Projeto, com o propósito de servir de efeito demonstração e orientação técnica aos pequenos produtores.

Até meados da década de 1980 o DNOCS e a CODEVASF eram os responsáveis exclusivos pela manutenção da infraestrutura de irrigação de uso comum nos perímetros irrigados, cujos recursos financeiros eram oriundos da arrecadação da tarifa de água,

sendo esta subsidiada pelo Governo Federal. Em meados da década de 1980, na busca de uma celeridade ao processo de emancipação dos Perímetros Irrigados, a gestão dos Perímetros foi delegada às Cooperativas de Produtores, principal Organização que atuava nos Perímetros; pouco tempo depois, entretanto, verificou-se que as Cooperativas não estavam preparadas para absorver esta missão de gestão da irrigação do Perímetro.

A partir de 1988 a Administração, Operação e Manutenção da infraestrutura de uso comum dos Perímetros, passaram para a responsabilidade dos Distritos de Irrigação. O Distrito de Irrigação constitui uma organização não governamental (ONG), ou seja, uma associação civil de direito privado sem fins lucrativos.

O cálculo da tarifa de água é procedido com base em duas parcelas:

K_1 – baseada na recuperação dos investimentos realizados pela União, na construção do Perímetro. Esta parcela é resultado da divisão entre o valor do investimento total (sem juros) pela área irrigada no período de vida útil do investimento na infraestrutura de uso comum ($R\$ \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). A arrecadação é destinada ao Ministério da Integração Nacional.

A legislação em vigor, Lei 6.662/79, fala em ressarcimento dos investimentos, porém, incorretamente, na medida em que o poder público se mantém como proprietário da infraestrutura de uso coletivo. Na realidade, a tarifa de água cobre apenas a depreciação e a manutenção do projeto e não pode contribuir para a amortização dos investimentos públicos, como manda a referida Lei (BANCO DO NORDESTE, 2001).

K_2 - baseia-se nos custos operacionais relativos à infraestrutura de uso comum e ao volume de água utilizado no Perímetro. O cálculo da infraestrutura é feito somando-se as despesas totais de administração, operação e manutenção da infraestrutura de irrigação e drenagem de uso comum do sistema, dividido pela quantidade de água a ser utilizada.

A parcela K_2 subdivide-se em:

$K_{2,1}$ – corresponde aos custos fixos, ou seja, independente do volume de água distribuído, repartidos por hectare, relativo aos custos com pessoal, veículo, operação e manutenção da infraestrutura e despesas administrativas.

$K_{2,2}$ – função do volume de água fornecido, é uma despesa variável, baseando-se no volume a ser bombeado na rede coletiva de distribuição. É calculado em relação ao volume de água fornecido.

Nos Perímetros Irrigados Públicos Federais o planejamento e a gestão de água em nível de parcela irrigada são de responsabilidade dos empresários e técnicos em ciências agrárias, em lotes dessas categorias; já os agricultores familiares têm a garantia constitucional de orientação da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), porém a descontinuidade da prestação desses serviços tem sido uma regra e não uma exceção.

Neste tocante, tem sido relevante a parceria de instituições de ensino e de pesquisa, em especial com Associações de agricultores familiares dos perímetros irrigados, como forma de preencher, em parte, a ausência da ATER. Um exemplo exitoso desta

parceria vem ocorrendo há cinco anos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, onde um Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo, vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, vem desenvolvendo estudos sobre racionalização e conservação do uso de água.

4.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO PERÍMETRO IRRIGADO TABULEIROS DE RUSSAS

4.2.1 Características gerais

Segundo Nys et al. (2005), os Perímetros Irrigados são sistemas complexos que associam recurso de água, equipamentos hidráulicos, aspectos fundiários e atores. Esses últimos podem ser desdobrados em três tipos: os agricultores que se beneficiam do serviço da água, a gerência do perímetro e os operadores externos (prestadores de serviço, elos finais das cadeias de produção e poderes públicos).

A sustentabilidade dos perímetros irrigados depende da capacidade que seus gerentes têm de manter os equipamentos, de equilibrar as contas desses perímetros com a arrecadação de uma tarifa hidráulica, de solucionar os conflitos internos e de preservar os recursos de água e de solo. Há escolhas difíceis de fazer, sobretudo durante a fase atual de transferência de gestão para associações de usuários da água.

O Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas está localizado na região denominada Baixo Jaguaribe, a 170 km de Fortaleza, abrangendo áreas dos municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova, no Estado do Ceará, com acesso pela BR 116.

O clima da região é seco e apresenta precipitação média anual de 710 mm, com temperatura variando de 22 a 28 °C. O relevo é razoavelmente suave porém com forte declividade longitudinal e os solos são profundos, bem drenados, de textura média e muito permeável.

O Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas tem como finalidade a irrigação de uma área total de 14.365 ha, dividida em duas etapas de implantação, em que a primeira etapa contempla 10.765 ha e a segunda 3.600 ha.

Serão apresentadas, a seguir, algumas características do projeto em sua primeira etapa, cujo loteamento está previsto da seguinte forma: 495 pequenos irrigantes em que cada um disporá de uma superfície média de 8,0 ha, para uma área total de 4.038,0 ha; 65 técnicos agrícolas em que cada um disporá de uma superfície média de 16,0 ha, para uma área total de 1.051,0 ha; 20 agrônomos, cada um contará com uma superfície de 24,0 ha, para uma área total de 490,0 ha; 79 empresas sendo que cada uma disporá de uma superfície superior a 30,0 ha, para uma área total de 4.862,0 ha.

O sistema de irrigação foi projetado para atendimento à demanda livre. A operação em nível parcelar não necessitará ser programada, devendo o usuário receber sua dotação de água (vazão e volume) quando assim desejar.

O sistema de distribuição de água para os 10.765,62 ha do Perímetro consiste do Canal Principal C₂, da rede de canais secundários e da rede de adutoras de baixa

pressão e se constitui de: 82.040 m de canais; 40 comportas elétricas; 66.330 m de adutoras de baixa pressão; uma estação de bombeamento secundária (alimentação do RS) e um reservatório de compensação, RS.

No dimensionamento dos canais, além da seção necessária à condução das vazões previstas em cada trecho foi pressentida, também, a manutenção de um nível de água entre duas cotas, uma mínima para manter a carga hidráulica necessária nas adutoras de distribuição e uma máxima para permitir uma reserva de compensação controlada através de comportas de acionamento eletromecânico.

Para atender à demanda dos irrigantes são utilizadas duas estações de bombeamento, ou seja: Estação de Bombeamento Principal (EBP), que capta a água no fim do canal de aproximação e a recalca até o início do canal adutor através de duas adutoras principais de 1850 mm de diâmetro e de 698m de comprimento. A EBP comporta seis conjuntos de bombeamento de tipo centrífugo com eixo vertical, composto por motor elétrico Gevisa de 1.500 kW, alimentado na tensão de 13.800 V e bomba Sulzer, com vazão de $2,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para uma altura manométrica de 46,50 m.

Em setembro de 2007 o Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas assinou contrato de fornecimento de água bruta com a Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, COGERH eliminando, desta forma, qualquer risco de colapso no fornecimento de água aos irrigantes, além da garantia de uma qualidade melhor do insumo.

A Estação de Bombeamento Secundária (EBS) está situada no km 12,5 do canal C.2. O objetivo da estação é permitir o abastecimento da zona leste do perímetro (zona hidráulica B e C) onde o terreno é um pouco mais alto (4 ou 5 m) que a área oeste. Este setor é abastecido pelo canal C.2. Trecho II e seus derivados (C2.6, C2.8, C2.8.1, C2.8.3, C2.8.3.1, C2.10, C2.13, C2.15, C2.19 e C2.21) e corresponde a cerca de 67% da área total do perímetro, aproximadamente 7.040 ha.

Apresenta-se, na Figura 4.1, uma vista do canal de aproximação para a captação de água e tubulações de recalque vendo-se, ao fundo, chaminés de equilíbrio.

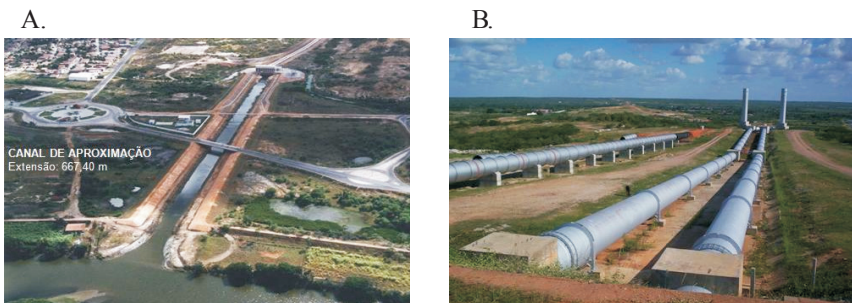


Figura 4.1 Canal de aproximação para captação de água no Rio Banabuiú (A) e adutoras de Recalque (B)

4.2.2 Administração, operação e manutenção do Perímetro

A administração, a operação e a manutenção são realizadas pela Associação dos Irrigantes assentados na área de abrangência do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas. É uma associação civil, de direito privado, sem fins lucrativos, com personalidade jurídica, patrimônio e administração própria. Esta associação é denominada Distrito de Irrigação do Projeto Tabuleiros de Russas (DSTAR).

O Dstar é responsável pela entrega de água não pressurizada nos poços de captação das estações de bombeamento individuais dos lotes dos usuários do Perímetro. A infraestrutura hidráulica à montante, inclusive a válvula hidráulica com hidrômetro, é considerada de uso comum do Perímetro e, portanto, sob a responsabilidade do Distrito de Irrigação, o qual deve administrá-la, operá-la e mantê-la.

Os recursos para cobertura dos custos de administração da água, operação e manutenção da infraestrutura de irrigação de uso comum, provêm da tarifa de água para irrigação, denominada K_2 , paga pelos usuários do perímetro.

4.2.3 Composição e análise da tarifa de água K_2

Verifica-se a ocorrência de custos fixos e variáveis, os quais orientam para uma composição binária da tarifa, com uma parte fixa e outra variável.

Chama-se parte fixa a parte da tarifa cobrada independentemente da quantidade de água utilizada pelo irrigante. A parte fixa pode ser calcula com base na área irrigável do lote do irrigante ou com base na vazão disponibilizada no seu lote.

A parte variável da tarifa de água é função do volume de água efetivamente utilizado, medido no hidrômetro do lote.

Do ponto de vista do Distrito de Irrigação como órgão gestor da infraestrutura, a situação mais conveniente consistiria numa tarifa com uma parte fixa, que seria função da área irrigável assentada e calculada dividindo-se os custos fixos pela área total assentada, e uma parte variável que seria função do volume de água utilizada pelo irrigante, calculada dividindo-se os custos variáveis pelo volume total de água distribuída, considerando-se que os custos variáveis correspondem ao custo do consumo de energia elétrica e água.

Do ponto de vista dos irrigantes, porém, a tarifa teria apenas uma parte variável, de forma a evitar pagamentos quando a área não estivesse sendo cultivada. Verifica-se que os pontos de vista do Distrito de Irrigação e dos irrigantes não são totalmente compatíveis.

Além desses deve-se considerar, ainda, o interesse público. Portanto, do ponto de vista da sociedade a tarifa aplicada deve incentivar o uso racional da água pelo produtor, através de uma parte variável elevada, incentivar o uso mais intensivo possível da terra e, também, da infraestrutura de irrigação de uso comum, através de uma parte fixa elevada.

4.2.4 Planejamento e outorga de uso da água

Quanto ao uso da água a outorga é concedida ao Distrito de Irrigação pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH) com validade de três

anos. O Distrito de Irrigação também recebe uma autorização de desmatamento e uso de fogo pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE).

Além disso, cada irrigante recebe uma autorização individual válida por um ano, para solicitar financiamento junto ao Banco; o irrigante precisa apresentar a outorga de água dada ao Distrito e as autorizações de desmatamento, dadas a ambos.

Para o gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis visando à operação do Perímetro Irrigado é realizado o levantamento mensal do volume de água utilizado pelos irrigantes. Concomitantemente, são disponibilizados, pela COGERH, os volumes mensais de água fornecidos ao Perímetro permitindo, assim, avaliar mensalmente a eficiência de distribuição hídrica.

No ano de 2007 o volume de água total utilizado por seus usuários foi de 8.001.847,14m³; em 2008, com 11.673.541,29 m³, o volume de água utilizado cresceu 45,9%, comparativamente ao ano de 2007. Quando se compara o ano de 2009 com o ano de 2008, conclui-se que o crescimento desta demanda foi de 15,9%, com um volume total de água equivalente a 13.531.019,29 m³ (Figura 4.2).

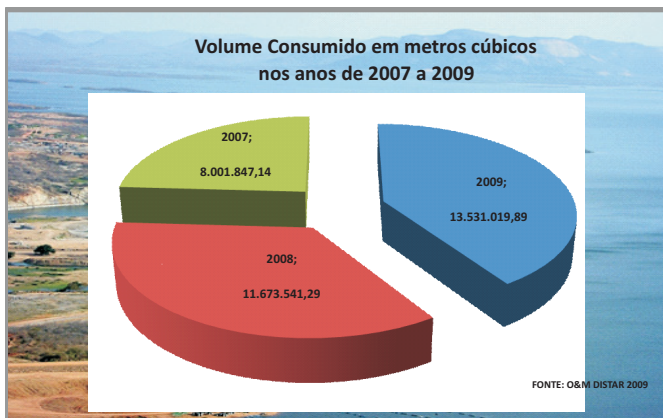


Figura 4.2 Demanda de água no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas

No planejamento estratégico de Operação e Manutenção de um Perímetro de Irrigação, a previsão da demanda de água é de fundamental importância para a determinação dos custos de água e energia elétrica. Para isto é indispensável o trabalho em parceria entre o Distrito de Irrigação e a Equipe de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), a qual efetua o planejamento de exploração e ocupação das áreas irrigadas. De posse do planejamento de exploração agrícola a Gerência Operacional do Perímetro Irrigado determina as necessidades hídricas anuais, como forma de suprir a demanda de água dos irrigantes.

O planejamento estratégico do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas previa, para o ano de 2009, uma demanda de água de 22.660.000 m³; no entanto, em decorrência

da não exploração de uma área significativa e prevista a ser explorada, verificou-se uma redução na utilização de água de 9.128.980,71 m³.

4.2.5 Indicadores de desempenho

O Distar vem utilizando, desde 2008, alguns indicadores, como forma de avaliar o desempenho dos serviços de Operação e Manutenção, focando as atividades primordiais dos sistemas de irrigação, ou seja, o fornecimento de água ao irrigante e buscando avaliar se os recursos colocados à disposição dos administradores do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas estão sendo bem utilizados.

O uso frequente de indicadores de desempenho e o acompanhamento das atividades de distribuição de água nos perímetros irrigados, são de fundamental importância para uma boa administração em Perímetros Irrigados com demanda livre.

A União necessita de ferramentas que permitam avaliar se, de fato, os investimentos alocados nos perímetros irrigados estão desempenhando seu papel socioeconômico e ambiental para os quais foram concebidos carecendo, por conseguinte, de indicadores que permitam analisar o desempenho desses perímetros irrigados, na perspectiva da autogestão.

Segundo Johnson (1997), durante mais de 40 anos tem-se comprovado a incapacidade dos governos para cobrar, dos usuários dos perímetros de irrigação, as despesas efetuadas com as atividades de operação e manutenção (O & M), sem mencionar o reembolso dos custos de investimento como, também, a escassez de recursos governamentais para execução dessas atividades.

Os custos com energia elétrica correspondentes às demandas contratadas e ao consumo, além de custo com água (COGERH) representam, na composição dos custos operacionais, aproximadamente 23% de seus custos totais sinalizando, portanto, um impacto significativo nesta composição.

O Distar tem um contrato de demanda de energia elétrica com a Companhia de Energia Elétrica do Ceará (COELCE) e, considerando que sua atividade fim é a irrigação, enquadra-se dentro do programa de redução de tarifas chamada Rural Irrigante, Grupo A. Este programa permite uma redução no custo da energia elétrica em aproximadamente 77% durante 8,5 h d⁻¹ (21h 30min às 6:00 h); desta forma, as operações que envolvem a distribuição de água através de bombeamento da EBS são efetuadas, prioritariamente, dentro dos horários de baixa tarifa de energia elétrica.

4.2.5.1 Custo médio de energia elétrica

Para o controle efetivo dos custos de energia elétrica é utilizado o preço médio, índice que permite avaliar o custo médio da energia elétrica ao longo do ano. O preço médio (PM) é calculado pela relação entre a fatura líquida e o consumo total, em KWh.

Os resultados para o índice do preço médio relativo ao ano de 2009, demonstraram tendência similar à do ano de 2008, ou seja, o preço médio por kWh sendo maior no início do ano e menor no final do ano, período em que a frequência de uso das

unidades de bombeamento da EBS é maior. Verificou-se, ainda, redução nos valores dos índices de preço médio em todos os meses do ano de 2009, à exceção do mês de dezembro, comparativamente com os valores do ano de 2008 (Figura 4.3).

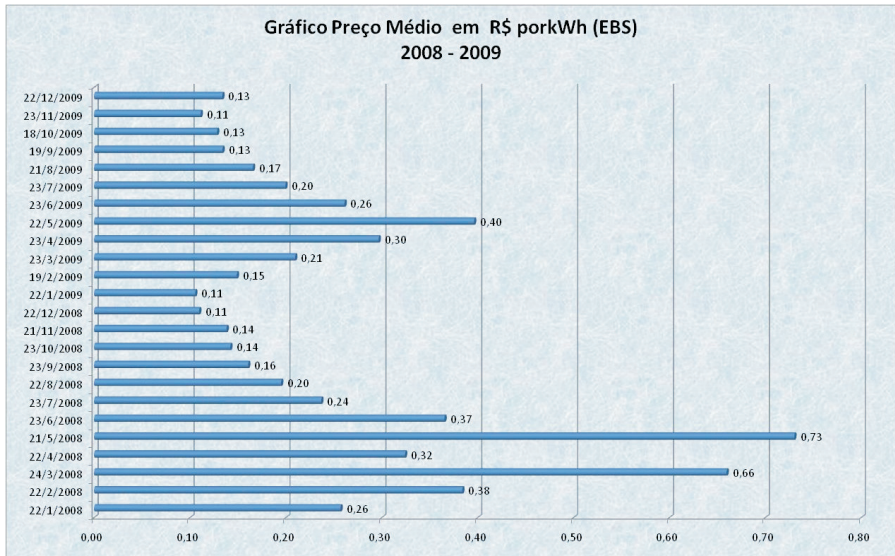


Figura 4.3 Preço médio mensal do custo de energia elétrica

4.2.5.2 Tarifas de água: $K_{2\text{fixo}}$ e $K_{2\text{variável}}$

A continuidade do processo de fornecimento de água em um sistema de irrigação está diretamente relacionada com a capacidade de seus administradores em fixar tarifas compatíveis com os custos operacionais.

A dotação de vazão unitária varia segundo a categoria de irrigante, sendo de $1,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para os lotes de pequenos produtores e técnicos em ciências agrárias e de $1,30 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para os lotes empresariais. Com isto, os lotes de empresas dispõem de um serviço de água de qualidade superior comparativamente com os lotes de pequenos produtores e técnicos em ciências agrárias, tendo em vista uma flexibilidade maior na escolha dos equipamentos de irrigação parcelar, quanto maior comodidade na organização das regas, face aos menores tempos de irrigação.

Contudo, o dimensionamento dos equipamentos de distribuição e bombeamento e, portanto, os custos de manutenção e reposição, aumentam em função da vazão disponibilizada. Desta forma, a parte fixa e variável é função da dotação de vazão nominal disponibilizada para o lote.

A cobrança da parte fixa desta dá margem a que a tarifa $K_{2\text{fixo}}$ aumente 7% para as empresas e propriedades adjacentes e reduza 5% para os pequenos produtores e técnicos em ciências agrárias. A diferença é amplamente justificada, tanto pela qualidade

superior do serviço recebido quanto pelos custos de manutenção e reposição da infraestrutura, gerados em função da maior vazão disponibilizada.

As tarifas de água K_2 fixo e variável, apresentam os seguintes valores (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Valores das tarifas de água K_2 fixo e K_2 variável

Setor	K_2 Fixo (R\$ ha irrigável ⁻¹)	K_2 Variável (R\$ 1000 m ⁻³)
Pequenos produtores e técnicos	11,00	8,80
Empresarial	13,20	11,44

4.2.5.3 Autossuficiência financeira do Distrito de Irrigação

O indicador de autossuficiência financeira permite visualizar a adequação da tarifa d'água praticada no Perímetro Irrigado. A autossuficiência financeira do Distrito é calculada através da relação entre o valor da receita anual gerada pela tarifa da água e o valor das despesas necessárias para administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum.

Conforme Costa et al. (2008), este indicador dá um indicativo da capacidade do perímetro irrigado em gerar os recursos necessários à sua própria manutenção. À medida em que este indicador se aproxima de 1,0, o valor do total anual de K_2 arrecadado se aproxima do custo de operação e manutenção e evidencia, ainda, que o irrigante não tem dificuldade em arcar com o ônus da operação e manutenção do perímetro.

A receita gerada através da arrecadação da tarifa de água K_2 no ano de 2009, foi de R\$ 525.397,04 e o orçamento operacional anual foi de R\$ 2.159.824,79, isto é, o indicador de autossuficiência financeira foi de 24% demonstrando, assim, que para as condições atuais o Perímetro Irrigado não apresenta condições de se autogerir.

Com esse modelo de gestão em vigor atualmente, lograram-se importantes avanços na busca da emancipação, embora alguns problemas ainda persistam, notadamente a precariedade da manutenção da infraestrutura de irrigação coletiva. Como essa infraestrutura pertence à União nos termos da lei, o Estado se vê obrigado a continuar aplicando recursos públicos em sua conservação, além de outras despesas relacionadas à assistência técnica agrícola, ao meio ambiente e pendências fundiárias (Dourado et al., 2006).

A diretriz atual do Governo é de que se conclua o processo de transferência da gestão de forma a desonerar completamente o Estado de qualquer responsabilidade financeira na administração dos Perímetros. O cumprimento dessa diretriz vem esbarrando em problemas de diversas naturezas: legal, instabilidade econômica da atividade agrícola, sedimentação do paternalismo original e vida útil avançada dos sistemas de irrigação. Ressalte-se que, nos termos da lei, a entidade privada citada deverá, preferencialmente, ser uma organização constituída pelos próprios produtores do perímetro.

A Figura 4.4 tem por finalidade ilustrar os conceitos propostos por Dourado et al. (2006). O processo de transferência da gestão é contínuo e indefinido no tempo, sendo concluído de forma plena apenas quando for possível a transferência da propriedade da infraestrutura para os produtores, atualmente inviável por impedimento legal.

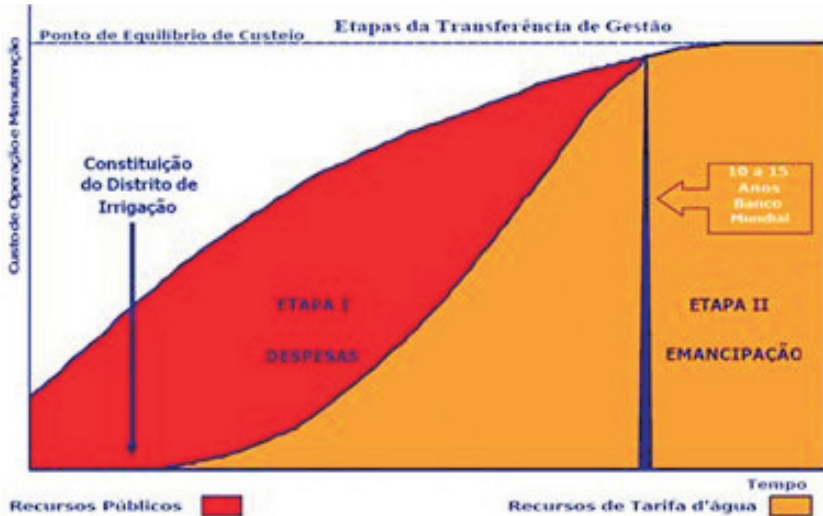


Figura 4.4 Curvas do custo de operação e manutenção e a arrecadação da tarifa de água

O estágio de emancipação é alcançado quando a curva de evolução das despesas de administração, operação e de manutenção, encontra a curva de evolução da receita da tarifa de água paga pelos produtores (fim da Etapa I e início da Etapa II). O período médio de consolidação de um perímetro de irrigação deve ser de 10 a 15 anos.

Durante a Etapa I, quando as despesas operacionais do Perímetro são compartilhadas entre o poder público e os produtores, o instrumento de delegação da transferência da gestão pode ser o convênio, que é o instrumento adequado para efetivação da transferência de recursos de um ente público para outro ente público ou privado; no caso, o ente privado é a organização de produtores, constituída sob a forma de uma associação civil de direito privado sem fins lucrativos.

Esta organização é denominada Distrito de Irrigação e constituída, normalmente, até o primeiro ano do início do assentamento dos produtores, de forma semelhante à constituição de um condomínio através de convênio a ser celebrado com o Distrito de Irrigação.

Com relação ao instrumento a ser assinado entre o órgão público e a organização de produtores do perímetro para sequência do processo de transferência na Etapa II, em que as despesas operacionais são integralmente custeadas pelos produtores,

sugere-se o Termo de Delegação, instrumento que deverá substituir o convênio uma vez que, em princípio, não haverá mais transferência de recursos financeiros para a organização de produtores, razão maior dos convênios.

Previamente ao início da Etapa II e de acordo com o §1º do artigo 9º do Decreto 89.496/84, que estabelece que “Os projetos públicos de irrigação, de interesse social predominante, parcial ou totalmente implantado, poderão ser declarados emancipados por ato do Ministro da Integração Nacional, observados os preceitos legais pertinentes.”, há a necessidade de se providenciar o ato declaratório de emancipação a ser expedido pelo Ministro de Estado da Integração Nacional.

Em resumo, do ponto de vista formal os procedimentos a serem adotados são:

- a) etapa I – celebração de convênio com o Distrito de Irrigação.
- b) etapa II – celebração de *Termo de Delegação* com o Distrito de Irrigação.

Segundo a CODEVASF (2007), transferência de gestão significa passar aos Perímetros Públicos de Irrigação, em condições adequadas, a autogestão pelos usuários. Desta forma, é papel da instituição responsável pela atividade exercer e promover o funcionamento e o desenvolvimento do projeto de irrigação. Esta função compreende todas as atividades relacionadas à ocupação das terras, operação e manutenção da infraestrutura da irrigação de uso comum, apoio à produção e comercialização, assim como a recuperação da infraestrutura de irrigação e dos solos.

4.2.5.4 Impacto da tarifa de água K_2 na produção

É de fundamental importância para o Distrito e seus associados, a determinação do impacto da tarifa de água K_2 relacionada ao valor bruto da produção. A determinação deste indicador é efetuada através da relação entre o valor anual arrecadado da tarifa de água e o valor bruto da produção.

No ano de 2008 o valor arrecadado da tarifa d'água foi de R\$377.638,51 e o valor bruto da produção foi de R\$34.586.161,00, dados que demonstram que o indicador de impacto da tarifa de água K_2 na produção, foi de 1,1%, em 2009 este valor foi de 1,4%.

4.2.5.5 Rentabilidade da área

O indicador de rentabilidade da área informa quanto por unidade de área irrigada o empreendimento está injetando de recursos financeiros na economia regional, pela relação entre o valor bruto da produção e a área irrigada, isto é, nos anos de 2008 e 2009 as áreas irrigadas no Perímetro Tabuleiros de Russas foram de 2.529,80 e de 2.607,05 ha, respectivamente. O valor da rentabilidade da área no ano de 2009 foi 2% superior (R\$13.979,79 ha⁻¹) que no ano de 2008 (R\$13.671,50 ha⁻¹), valores compatíveis com os estimados para a agricultura irrigada que são, em média, de R\$11.500,00 ha⁻¹.

4.2.5.6 Rentabilidade da água

Em um mundo onde a preocupação com a escassez de água cresce a cada dia, os conflitos de interesse no uso da água são inevitáveis. Nesse contexto, a medição da riqueza gerada por unidade de água aplicada na irrigação torna-se um instrumento imprescindível na medida em que permite a comparação da água utilizada em setores

econômicos distintos. O indicador de rentabilidade da água é determinado pela relação entre o valor bruto da produção e o volume total de água em 1000 m³ fornecido aos irrigantes.

Este indicador é também conhecido como produtividade da água. De acordo com Playán & Mateos (2006), a produtividade da água pode ser expressa pela relação entre a produção agrícola por unidade de volume de água, podendo este ser expresso em kg m⁻³ ou, alternativamente, transformado em unidades monetária (R\$ m⁻³).

No ano de 2008 o indicador de rentabilidade foi da ordem de R\$ 2.962,78 por 1000 m³ de água aplicada, porém se observou, em 2009, uma redução da ordem de 9% na rentabilidade da água, considerando-se que este indicador foi da ordem de R\$ 2.693,52 por 1000 m³ de água aplicada. Há de se considerar que no ano de 2009 o volume de água utilizado no Perímetro foi 15,9% superior ao volume de água utilizado no ano de 2008.

O acompanhamento das atividades da distribuição de água para os usuários deve ser uma preocupação constante da Gerência dos Perímetros Irrigados, pois os desperdícios ao longo da distribuição podem alcançar valores da ordem 20%.

4.3 USO RACIONAL E CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

A racionalização do uso da água na irrigação passa por todas as etapas do processo, desde a captação até sua aplicação nas culturas, incluindo a escolha adequada do método e do sistema de irrigação, a redução das perdas de água na condução e na aplicação, permitindo otimizar o rendimento físico por unidade de área e de água utilizada.

Nos Perímetros Públicos Federais paga-se uma tarifa de água denominada K_2 , que se compõe dos custos operacionais relativos à infraestrutura de uso comum e da quantidade de água efetivamente utilizada. No entanto, nos Perímetros Irrigados por superfície o valor da tarifa de água é calculado, atualmente, apenas em função da área irrigada e não da quantidade de água efetivamente utilizada pelo agricultor. Tal prática não incentiva o agricultor a economizar água. Cabe destacar que a prática deste modelo se deve ao sucateamento das estruturas de medição de água nesses perímetros.

Segundo Howell (2001), a água captada para irrigação dentro de uma bacia está sujeita, basicamente, a três tipos de perda: a) perdas por evaporação em canais; b) perdas por infiltração durante a condução da água em canais e por percolação abaixo da zona radicular da cultura durante e após a irrigação; c) perdas relacionadas com a água de drenagem, quando esta se torna poluída ou salinizada.

No desenvolvimento desse tópico serão apresentados resultados de estudos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo – GPEAS Semiárido (www.gpeas.ufc.br) nos Perímetros Irrigados Morada Nova e Curu Pentecoste, localizados no Estado do Ceará e irrigados por superfície.

Nos estudos se instalaram as seguintes unidades de experimentação: 1. Eficiência de aplicação e de uso da água no cultivo do arroz; 2. Condução e aplicação de água através de politubo janelado; 3. Irrigação localizada com aproveitamento de água de fonte subterrânea; 4. Reúso de água da irrigação por sulcos em sistemas localizados.

Uma unidade de experimentação tem, como objetivo, permitir aos irrigantes o conhecimento de outras técnicas para que possam avaliar seus resultados econômicos, sociais e ambientais, refletindo sobre as vantagens de seus resultados quando comparados com as tecnologias utilizadas anteriormente. Na difusão dessas tecnologias foram utilizadas técnicas e metodologias participativas na perspectiva de sua apropriação pelos agricultores familiares.

4.3.1 Eficiência de aplicação e de uso da água no cultivo do arroz

O Perímetro Irrigado Morada Nova, cuja área irrigável é de 3.737 ha, possui em torno de 28% dessa área com solos aptos para o cultivo de arroz, ou seja, aproximadamente 1.050 ha; no entanto, em alguns anos a área cultivada chega a 2.500 ha.

A Associação dos Usuários de Água do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Morada Nova (AUDIPIMN) utiliza, como critério para fins de cobrança de água, a área em cultivo, tendo em vista a dificuldade operacional de cobrança pela água efetivamente utilizada pelo agricultor.

Estudou-se a eficiência de aplicação e de uso da água no cultivo do arroz, cultivar Epagri 109, no Perímetro Irrigado Morada Nova. Estabeleceram-se unidades de experimentação em solos com texturas areia franca, franca e argilo siltosa. Utilizaram-se calhas Parshall e sifões de plástico como instrumentos para medição e aplicação de água aos tabuleiros.

As unidades texturais franca e areia franca apresentaram os maiores valores de lâminas de água aplicada, certamente em virtude das altas taxas de percolação (Tabela 4.2).

Mesmo os solos argilosos podem apresentar perdas relevantes por infiltração, tendo em vista que, quando submetidos a longos períodos sem água, esses solos podem apresentar rachaduras, as quais são responsáveis por altas taxas de infiltração no início da irrigação.

Na Tabela 4.3 se apresentam os valores de eficiência de uso da água (EUA) nas quatro unidades texturais de solo cultivadas com arroz. Os resultados demonstraram uma amplitude nos valores entre 0,5 e 0,18 kg m⁻³, significando que, para a textura argilo-siltosa I, produziu-se 0,5 kg de arroz em casca para cada m³ de água aplicada; já para a textura franca, produziu-se apenas 0,18 kg para cada 1,0 m³ de água aplicada. Os valores refletem, ainda, a magnitude de perdas por percolação.

A sistemática diferenciada de condução da cultura pelos produtores limita, de alguma forma, uma análise mais criteriosa dos resultados obtidos pela variável resposta eficiência de uso da água. Não obstante, conforme expectativa a priori, nas unidades

Tabela 4.2 Lâminas de água aplicadas (mm) nas unidades texturais de solo

Irrigação	Arg. siltosa I	Arg. siltosa II	Franca	Areia franca
1 ^a	120,2	129,0	249,0	256,6
2 ^a	169,8	80,1	208,9	210,2
3 ^a	249,7	88,56	139,3	180,8
4 ^a	197,1	89,7	155,2	210,2
5 ^a	127,5	124,6	81,3	226,7
6 ^a	103,6	133,8	266,1	238,8
7 ^a	80,8	139,0	87,6	189,4
8 ^a	113,7	100,3	116,5	263,8
9 ^a	078,4	98,1	63,9	82,9
10 ^a	068,8	75,8	150,0	205,2
11 ^a		67,4	67,9	264,8
12 ^a		157,3	117,6	261,2
13 ^a		74,5	95,7	
14 ^a		83,5	122,2	
15 ^a			44,3	
16 ^a			97,1	
17 ^a			26,9	
18 ^a			125,8	
19 ^a			47,3	
Total	1.309,6	1.441,7	2.262,6	2.590,6

Tabela 4.3 Eficiência do uso da água nas quatro unidades texturais de solo

Textura	Lâmina (mm)	Prod. (kg ha ⁻¹)	E _{ua} (kg m ⁻³)
Argilo-siltosa I	1.309,6	6.600	0,504
Argilo-siltosa II	1.441,7	5.240	0,363
Franca	2.262,6	4.031	0,178
Areia-franca	2.590,6	5.796	0,224

texturais de solo mais pesados, associaram-se aos maiores valores de eficiência de uso da água.

O comportamento ao longo do ciclo da cultura das variáveis necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada (L_{ap}) e eficiência de aplicação (E_a), referentes às unidades texturais argilo-siltosa I e areia-franca respectivamente, é ilustrado nas Figuras 4.5 e 4.6. Observa-se que na textura argilo siltosa a média da eficiência de aplicação se situa em torno de 77,2% e na unidade textural areia franca o valor não supera 38,0%.

No ciclo da cultura do arroz um valor de referência baseado em uma lâmina de 1.200 mm e as informações contidas neste estudo, poderiam ser utilizados como referência pela Audipimn, para fins da tarifa de água K_2 .

Com base em uma lâmina total de 1.200 mm no ciclo da cultura verificou-se, nas unidades texturais com solos mais pesados, um excesso nos valores de lâminas de água aplicadas entre 50 e 61,1%; já nas unidades de solos mais leves, referidos valores se situaram entre 159,2 e 196,7%.

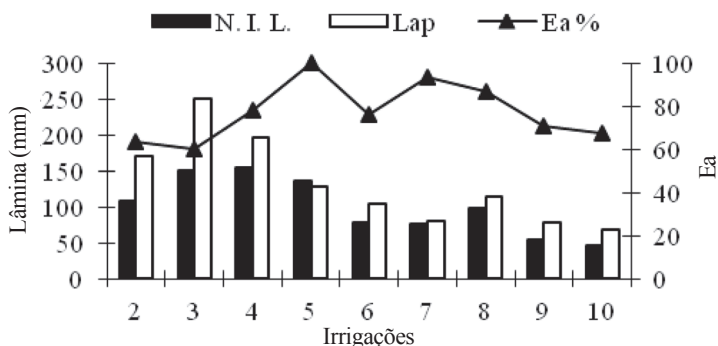


Figura 4.5 Necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada (Lap) e eficiência de aplicação (Ea) na unidade textural argilo siltosa I

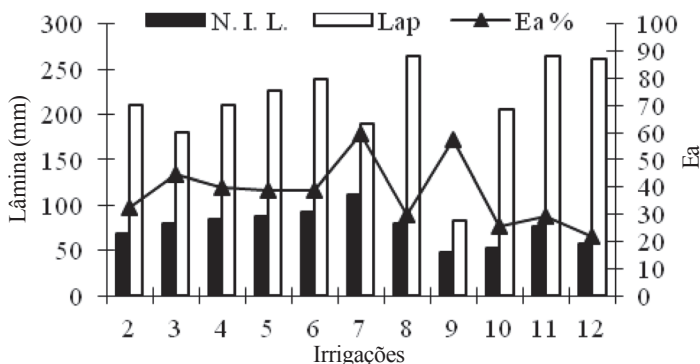


Figura 4.6 Necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada (Lap) e eficiência de aplicação (Ea) na unidade textural argilo franca

4.3.2 Condução e aplicação de água através de politubo janelado

Santos (2008) verificou, em canal de irrigação secundário não revestido que conduz água até os lotes dos agricultores, perda de água por condução de 34,8%. No estudo utilizaram-se calhas Parshall previamente calibradas, as quais permitiram estimar hidrógrafas de vazão de água na entrada e na saída de um trecho do canal (Figuras 4.7 e 4.8).

Para minorar esta problemática, os pesquisadores do GPEAS recomendaram um sistema de condução, distribuição e aplicação de água denominado politubo janelado (Figura 4.9). O sistema de politubo janelado é constituído por uma mangueira de polietileno flexível, onde são adaptadas as janelas de vazão regulável. Referido sistema, além de eliminar as perdas na condução de água nos canais reduz consideravelmente a mão-de-obra do agricultor irrigante e ainda permite uma flexibilidade maior para o uso de vazão reduzida na fase de reposição. Verificou-se uniformidade de distribuição de água nas janelas, de 86,1%; é possível incrementar este valor com um ajuste melhor na abertura das janelas.



Figura 4.7 Calhas Parshall para obtenção das hidrógrafas de vazão



Figura 4.8 Canal secundário não revestido



Figura 4.9 Politubo janelado para condução e aplicação de água

Do ponto de vista da relação custo/benefício, os seguintes aspectos devem ser considerados: 1. O custo fixo por unidade de área da aquisição de sifões em relação ao politubo janelado, é em torno de 1:3; 2. O custo variável relacionado à mão de obra para operação da irrigação com o politubo janelado, é em torno de 1:3, se comparado com o sistema com sifões; 3. O uso do politubo janelado permite incrementar a área irrigada em 30%, em razão da economia de água; 4. A irrigação com o politubo janelado permite que o produtor realize a irrigação de todo o seu lote agrícola, sem a necessidade de trabalho noturno.

Santos (2008) verificou, com base no indicador de rentabilidade relação custo/benefício, a viabilidade da tecnologia do politubo janelado para as condições atuais do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

4.3.3 Irrigação localizada com aproveitamento de água de fonte subterrânea

Em unidade de experimentação com água de poço tubular raso realizou-se uma análise comparativa da produtividade da água (PA) de irrigação na cultura da abóbora em sistemas de irrigação por sulco e por gotejamento em solo de textura franco arenosa (Figura 4.10). A água proveniente de um poço tubular raso (Figura 4.11) apresentou condutividade elétrica (CE) de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ e a água do canal uma CE de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$.



Figura 4.10 Unidade de experimentação com a cultura da abóbora



Figura 4.11 Poço tubular raso construído no neossolo

Os indicadores PA expressam os benefícios derivados do consumo de água pelas culturas e podem ser usados para avaliar o impacto das estratégias de exploração agrícola em condições de escassez de água. Eles fornecem uma visão adequada de onde e quando a água poderia ser economizada. Tais indicadores também são úteis para inferir sobre o potencial aumento da produtividade das culturas, que pode resultar do aumento da disponibilidade de água; informações quantitativas sobre os indicadores PA são necessárias para planejar um manejo eficiente da irrigação sob condições de escassez de água.

Os dados contidos na Tabela 4.4 permitem verificar que durante o ciclo da cultura o volume de água aplicado através da irrigação por gotejamento, foi de $664,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, cuja produtividade foi de $22.746 \text{ kg ha}^{-1}$; já na irrigação por sulcos foi aplicado um volume de água bem superior ao sistema localizado ($7020 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), obtendo-se uma produtividade de apenas $10.160 \text{ kg ha}^{-1}$.

Tabela 4.4 Produtividade da água de irrigação (kg m^{-3}) para a cultura da abóbora

Sistema de irrigação	Produtividade (kg ha^{-1})	Volume de água ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Produtividade da água (kg m^{-3})
Sulcos	10.160	7.020,0	1,44
Gotejamento	22.746	664,4	34,23

Na irrigação por gotejamento obteve-se uma PA da ordem de $34,23 \text{ kg m}^{-3}$, ao passo que na área irrigada por sulco uma PA de $1,44 \text{ kg m}^{-3}$, evidenciando uma diferença significativa entre os dois sistemas. Esses valores traduzem a importância da adoção criteriosa do sistema e manejo de irrigação.

A elevada produtividade da água obtida no sistema por gotejamento se deve, essencialmente, à aplicação pontual da água, associada à elevada eficiência de condução e aplicação de água, características inerentes ao sistema, como observado por Souza et al. (2005) e Gomes (1999).

As rendas brutas obtidas para cada sistema de irrigação foram de R\$ 11,98 e R\$ 0,50 para cada m^3 de água aplicada, nos sistemas de irrigação por gotejamento e por sulco, respectivamente. Esses dados demonstram que o sistema de irrigação localizada se mostrou bem mais eficiente proporcionando uma economia significativa de água, além de um incremento substancial na produtividade e na rentabilidade da cultura.

Para Soares et al. (2000), a baixa eficiência de aplicação de água em sistema de irrigação por superfície pode estar ligada às falhas no dimensionamento, em função da combinação inadequada das variáveis textura de solo, comprimento de área, declividade da superfície do solo, vazão aplicada e tempo de irrigação ou, ainda, ao manejo inadequado do sistema.

Na verdade, estudos conduzidos por Burt & O'Neill (2007) demonstram resultados similares de produtividade da água em sistemas de irrigação por sulco e por gotejamento. O estudo examinou a água aplicada e os rendimentos de tomate industrial em 187 campos irrigados por sulcos e 164 campos irrigados por gotejamento, com

áreas típicas de 50 ha. O estudo foi conduzido pelo Centro de Pesquisa e Treinamento em Irrigação (ITRC), Califórnia – EUA, em escala comercial e em um ambiente moderno, com aplicação otimizada de vazão, flexibilidade de entrega de água e disponibilidade de suporte técnico.

Os valores da relação K_2/VBP (Tabela 4.5) obtidos para 1,0 ha nas condições reais de cobrança da tarifa de água realizada no Perímetro (K_2), foram de 1,27% para irrigação por sulcos e 0,57% para irrigação por gotejamento. Quando considerada a cobrança pelo volume de água efetivamente utilizado ($K_2=K_{21}+K_{22}$), essa diferença entre a relação K_2/VBP para os dois sistemas de irrigação aumenta, passando a ser de 1,94% e 0,59% para o sistema por sulcos e gotejamento, respectivamente.

Tabela 4.5 Valor bruto de produção (VBP), tarifa de água (K_2) e relação K_2/VBP

Sistema de irrigação	VBP (R\$ ha ⁻¹)	Condição real de cobrança		Condição de cobrança por volume aplicado	
		K_2 ha ⁻¹ (R\$ ha ⁻¹)	K_2/VBP (%)	K_2 m ⁻³ (R\$ ha ⁻¹)	K_2/VBP (%)
Sulcos	3.556	45,00	1,27	68,87	1,94
Gotejo	7.961	45,00	0,57	47,26	0,59

As rendas brutas obtidas para cada sistema de irrigação foram de R\$ 11,98 e R\$ 0,50 para cada m³ de água aplicada nos sistemas de irrigação por gotejamento e por sulcos, respectivamente. Esses dados demonstram que o sistema de irrigação localizada mostrou-se bem mais eficiente, proporcionando uma economia significativa de água além de um substancial incremento na produtividade e na rentabilidade da cultura.

Essas informações são de extrema relevância para o Distrito de Irrigação, organização responsável pela administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum. Culturas que apresentam menor relação K_2/VBP proporcionam melhores condições para o produtor efetuar o pagamento da tarifa de água, reduzindo os índices de inadimplência e contribuindo, assim, para a sustentabilidade hídrica do Perímetro.

Santos (2008) obteve, em estudo realizado no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, valores de 5,6% para a cultura da bananeira e 1,3% para a cultura do coqueiro, ambos em solos de textura franca e em sistemas de irrigação por sulcos, demonstrando que a cultura da abóbora se tem mostrado técnica e economicamente viável como alternativa a algumas culturas predominantes, conforme demonstram os valores da relação K_2/VBP .

O sistema de irrigação por gotejamento mostrou-se como excelente alternativa em substituição ao sistema de irrigação por sulcos, pois obteve uma relação K_2/VBP menor e elevada produtividade; no entanto, a tarifa de água K_2 em conformidade com a sistemática atual de cobrança pelo Distrito, baseada unicamente na área irrigada e não no volume de água efetivamente utilizado pelo irrigante, incentiva o cultivo irrigado por superfície, utilizando esse recurso natural de forma perdulária.

4.3.4 Reúso de água da irrigação por sulcos em sistemas localizados

Ainda com a cultura da abóbora instalou-se unidade de experimentação com reúso de água da irrigação por sulcos em sistema de irrigação localizada. A água para reúso apresentou condutividade elétrica (CE) de $0,48 \text{ dS m}^{-1}$; portanto, sem nenhuma limitação de uso para irrigação e era bombeada de um dreno coletor superficial, que recebia o excedente de água da irrigação por sulcos (Figura 4.12).



Figura 4.12 Dreno coletor que recebe excedente de água da irrigação por sulcos

Nas Tabelas 4.6 e 4.7 se apresentam os valores médios de produtividade da água (PA) relacionados à cultura da abóbora, em função de níveis de água e de nitrogênio, expressos em kg m^{-3} e $\text{R\$ m}^{-3}$, respectivamente.

Tabela 4.6 Produtividade da água (kg m^{-3}) em função de níveis de água e de nitrogênio

	Volume (m^3)	Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})				Médias
		N_0 (0,0)	N_1 (60,0)	N_2 (120,0)	N_3 (180,0)	
W_0	938,2	7,9	10,6	17,2	18,7	13,6
W_1	1.407,4	4,4	9,5	11,0	12,5	9,4
W_2	2.346,4	5,8	7,1	6,7	6,8	6,6
W_3	2.817,0	3,4	5,7	5,8	6,3	5,3
	Médias	5,4	8,2	10,2	11,1	

Tabela 4.7 Produtividade da água ($\text{R\$ m}^{-3}$) em função de níveis de água e de nitrogênio

	Volume (m^3)	Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})				Médias
		N_0 (0,0)	N_1 (60,0)	N_2 (120,0)	N_3 (180,0)	
W_0	938,2	6,4	8,8	14,3	15,6	11,3
W_1	1.407,4	3,7	7,9	9,2	10,4	7,8
W_2	2.346,4	4,8	6,0	5,6	5,6	5,5
W_3	2.817,0	2,8	4,7	4,8	5,3	4,4
	Médias	4,4	6,8	8,5	9,2	

Observa-se um incremento nos valores médios de produtividade da água com o aumento das doses de nitrogênio, até 180 kg ha^{-1} , podendo ocorrer um decréscimo com valores acima deste, fato também observado por Monteiro (2004) e Salgado (2008). Lopes (1989) afirma que a eficiência do uso da água aumenta com a prática da adubação, desde que a produtividade também aumente.

A produtividade da água de uma cultura se refere à produtividade total obtida por unidade de água utilizada. A máxima produtividade da água observada em kg m^{-3} e $\text{R\$ m}^{-3}$, foi de 18,7 e 15,6, respectivamente, compreendendo o menor nível de água e o maior nível de adubação nitrogenada. Branco et al. (2009) obtiveram, avaliando a eficiência do uso da água em dois sistemas de irrigação na cultura da abóbora, uma eficiência de $34,23 \text{ kg m}^{-3}$ para o sistema de irrigação por gotejamento.

Esses valores obtidos traduzem a importância da adoção criteriosa do sistema e manejo de irrigação, pois os mesmos mostraram perda na eficiência ao se aumentar o volume de água aplicado, como se observa na Figura 4.13; entretanto, ao se avaliar a eficiência em relação aos níveis de adubação nitrogenada, observa-se um incremento na eficiência do uso da água na medida em que se elevam os níveis, como se constata na Figura 4.14.

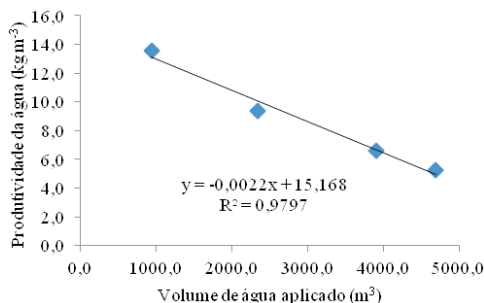


Figura 4.13 Produtividade média da água em função do volume de água aplicado

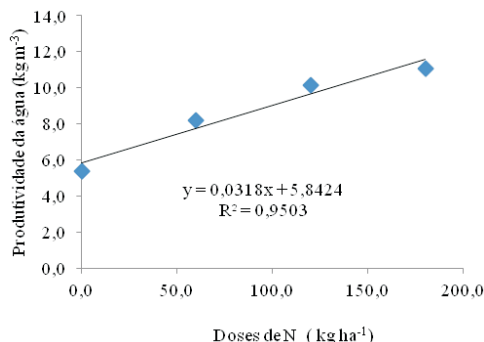


Figura 4.14 Curva da produtividade média da água em função dos níveis de nitrogênio aplicado (kg m^{-3})

Os valores de eficiência de uso do nitrogênio para os tratamentos N_0 , N_1 , N_2 , N_3 são 0, 72,4, 56,52 e 74,15 kg ha⁻¹, respectivamente. Observa-se que os valores são crescentes até o tratamento N_1 , ocorrendo um decréscimo no tratamento N_2 que consiste no dobro da adubação recomendada; entretanto, ao se aumentar, em duas vezes e meia, o nível de adubação recomendado, como é o caso do tratamento N_3 , a eficiência do adubo aumenta mais uma vez voltando ao coeficiente próximo ao do tratamento N_1 , como se pode observar na Figura 4.15.

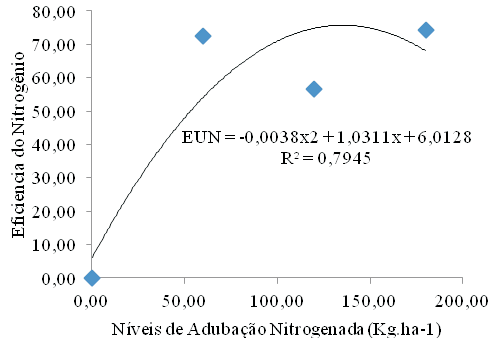


Figura 4.15 Eficiência do uso de nitrogênio em função de níveis de nitrogênio

Esses resultados indicam grande instabilidade da cultura em resposta aos acréscimos de adubação nitrogenada; entretanto, é possível afirmar que a adubação nitrogenada é bastante limitante ao desenvolvimento da cultura.

Os valores da relação K_2 /VBP obtidos para 1,0 ha nas condições reais de cobrança realizada no Perímetro ($K_2=K_{22}$) são apresentados na Tabela 4.8, com valores extremos de 0,67 e 1,93%, correspondendo aos tratamentos W_4N_3 e W_2N_0 , respectivamente.

Moreira et al. (2009), avaliando a relação K_2 /VBP em condições reais de cobrança na cultura da abóbora utilizando sistema de irrigação por gotejamento, obtiveram um K_2 /VBP de 0,57%.

Entre as culturas mais difundidas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Santos, 2008, obteve em solo de textura franca e irrigação por sulcos, valores da relação K_2 /

Tabela 4.8 Percentual do VBP destinado ao pagamento da tarifa de água em condições reais de cobrança

Volume (m ³)	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Médias	
	N_0 (0,0)	N_1 (60,0)	N_2 (120,0)	N_3 (180,0)		
W_0	938,2	1,66	1,21	0,74	0,68	1,08
W_1	1.407,4	1,93	0,90	0,78	0,68	1,07
W_2	2.346,4	0,89	0,72	0,76	0,76	0,78
W_3	2.817,0	1,26	0,75	0,74	0,67	0,86
Médias		1,43	0,89	0,75	0,70	

VBP de 5,6% para a cultura da bananeira e de 1,3% para a cultura do coqueiro, demonstrando que a cultura da abóbora se tem mostrado técnica e economicamente viável como alternativa a algumas culturas que predominam no Perímetro Irrigado, conforme demonstram os valores da relação K_2/VBP .

Quando considerada a cobrança pelo volume de água efetivamente utilizado ($K_2=K_{21}+K_{22}$), esta diferença entre a relação K_2/VBP aumentou de 0,67% e 1,93% para 0,7% e 2,0%, respectivamente (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 Percentual do VBP destinado ao pagamento da tarifa de água, considerando-se a cobrança pelo volume de água utilizado

	K_{21}	$K_2 = K_{21} + K_{22}$	Doses de Nitrogênio (kg ha^{-1})				Médias
			$N_0 (0,0)$	$N_1 (60,0)$	$N_2 (120,0)$	$N_3 (180,0)$	
W_0	3,2	63,2	1,80	1,30	0,80	0,70	1,13
W_1	4,8	64,8	2,00	0,90	0,80	0,70	1,13
W_2	8,0	68,0	0,90	0,80	0,80	0,80	0,82
W_3	9,6	69,6	1,30	0,80	0,80	0,70	0,90
Médias			1,51	0,94	0,79	0,74	

Essas informações são de extrema relevância para o Distrito de Irrigação, responsável pela administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum com recursos financeiros oriundos da arrecadação mensal, proveniente da tarifa de água K_2 . Tratamentos que apresentam menor relação K_2/VBP , proporcionam melhores condições para o produtor efetuar o pagamento da água e, portanto, reduzir os índices de inadimplência junto ao distrito contribuindo, desta forma, para a sustentabilidade hídrica do perímetro.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do planejamento e da gestão de águas em um Perímetro Irrigado requer que as equipes técnicas do Distrito de Irrigação e de Assistência Técnica e Extensão Rural – ATER trabalhem de forma integrada, seja na coleta de dados de campo com vistas à elaboração do plano de cultivo, quanto no gerenciamento da água em sua distribuição e aplicação. A descontinuidade da prestação dos serviços de ATER, porém, tem comprometido o planejamento e a gestão de água.

O aproveitamento de fontes de águas oriundas de poços tubulares rasos e do reuso de água da irrigação por superfície em sistemas de irrigação localizados, é alternativa para a racionalização e conservação de água em Perímetros Irrigados por métodos superficiais mas a descapitalização do agricultor, o pagamento da tarifa de água K_2 por unidade de área irrigada, a tradição do método de irrigação e cultivos associados, têm limitado de alguma forma a apropriação dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco do Nordeste. Modelo geral para otimização e promoção do agronegócio da irrigação do Nordeste/ Francisco Mavignier França – Fortaleza: Banco do Nordeste, 2001. 320p.
- Branco, L. M. C. et al. Eficiência de uso da água na cultura da abóbora em sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento, 2009.8p.
- Burt, C.M., O'Neill, B.P. Drip and furrow on processing tomato-field performance. In: Annual Irrigation Association. Technical Conference, 28. San Diego, CA, Dec. 9, 2007.
- CODEVASF, 2007. Programas e ações. Disponível em: http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes. Acesso em: 10/03/2007.
- Costa, R. N. T. ; Souza, J.R.F. de ; Araujo, D. F. . Indicadores de desempenho em perímetros públicos irrigados na perspectiva da autogestão. In: Paz, V. P. da Silva; Hoces, E. H.; Gheyi, H. R. (org.). Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semi-áridas. 1 ed. Salvador: Editora da Universidade do Recôncavo da Bahia, 2009, cap.10, p. 249-271.
- Dourado, A.; Freire Junior, E.; Machado, F.O.C.; et.al. Perímetros públicos de irrigação: Proposta para o modelo de transferência de gestão. MBA/FUNDACE. Brasília: 2006.72p.
- Gomes, H.P. Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. Campina Grande: UFPB, 1999. 412p.
- Howell, T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, v.94, p.281-289, 2001.
- Johnson, S.H. Irrigation management transfer in Mexico: A strategy to achieve irrigation district sustainability. Colombo: International Irrigation Management Institute. 1997. IIMI Research Report No. 16
- Lopes, A. S. Manual de fertilidade do solo. Traduzido e adaptado do original: Soil fertility manual. Potash Phosphate Institute. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.
- Monteiro, R. O. C. Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no vale do Curu, CE. Fortaleza: UFC. 2004. 76p. Dissertação Mestrado
- Moreira, O. C.; Santos, M. D.; Araújo, D. F. Relação tarifa de água K2 e valor bruto da produção no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste – CE. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 38, Juazeiro, BA e Petrolina, PE, 2009. 4p.
- Nys, E. de; Ducrot, R.; Le Gal, P.Y.; Barros, E. R.; Mouco, C. A. P.; Kuper, A. C. Um procedimento de consultoria para melhorar a gestão dos perímetros irrigados coletivos do nordeste brasileiro. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 2, p. 365-380, maio/ago. 2005
- Playán, E.; Mateos, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, v.80, p.110-116, 2006.

- Salgado, E. V. Análise técnico-econômica da cunha em função de lâminas de água e adubação fosfatada no vale do Curu, Ceará. Fortaleza: UFC, 2008. Dissertação Mestrado
- Santos, M. D. S. Guia de irrigação como alternativa para sustentabilidade no perímetro irrigado Curu. Fortaleza: UFC, 2005. 86p. Monografia
- Soares, A.A.; Oliveira, R.A.; Ramos, M.M.; Rasch, A.; D'ávila, J.H.T. Dimensionamento de irrigação por sulcos com redução de vazão - nova metodologia. Engenharia Agrícola, v.20, p.119-129, 2000.
- Souza, I.H.; Andrade, E.M.; Silva, E.L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software "Bubler". Engenharia Agrícola, v.25, p.264-271, 2005.

Conservação e uso racional de água: Integração aquicultura-agricultura

Elenise G. de Oliveira¹ & Francisco J. de S. Santos²

¹ Universidade Federal do Ceará

² Embrapa Meio-Norte

- 5.1 Introdução
- 5.2 Panorama da aquicultura no mundo
- 5.3 Panorama da aquicultura no Brasil
- 5.4 Desafios da aquicultura
- 5.5 Quantitativo de água para aquicultura
- 5.6 Qualidade de água para aquicultura
- 5.7 Estratégias para racionalização e conservação de água na aquicultura
 - 5.7.1 Integração aquicultura - agricultura
 - 5.7.2 Aquicultura com água de rejeito de dessalinizadores
 - 5.7.3 Aeração mecânica
 - 5.7.4 Biorremediação
 - 5.7.5 Boas práticas de manejo (BPM)
- 5.8 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas

ISBN 978-85-64265-01-1



INSA

Instituto Nacional do Semiárido

Campina Grande - PB

2011

Conservação e uso racional de água: Integração aquicultura-agricultura

5.1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é a atividade agrícola ou da agropecuária que trata da criação de organismos com habitat predominantemente aquático (peixes, crustáceos, anfíbios, moluscos, répteis, quelônios, plantas, etc.). Como tal, o homem participa do processo de criação em operações que propiciam o aumento da produção, dentre as quais podem ser citadas: reprodução, alimentação, controle da qualidade da água e proteção contra a ação de organismos ou situações que coloquem em risco a vida dos organismos cultivados (Rana, 1997). Já a pesca pode ser considerada a extração de organismos aquáticos do meio onde eles vivem (rios, lagos, oceanos, mares, etc), para fins como alimentação, recreação, ornamentação e para fabricação de insumos para as indústrias de ração animal.

O grau de interferência do homem no processo de produção aquícola pode ser menor ou maior, dependendo do regime de exploração adotado (Tabela 5.1) e o produto gerado pode ter o mesmo destino que os produtos provenientes da pesca.

A piscicultura continental, aquela praticada em água doce ou em interiores, é a atividade da aquicultura com maior alcance social contribuindo, de forma decisiva, para a segurança alimentar das populações carentes, e para atender à demanda alimentar de classes com padrão econômico mais elevado. A popularização do consumo de peixes nas diferentes classes sociais está intrinsecamente ligada à relativa facilidade de produção, como também ao seu elevado valor nutricional. O peixe fornece proteína de fácil digestão, vitaminas e sais minerais, além de se constituir em excelente fonte de ácidos graxos poli-insaturados, entre os quais estão os da família Omega 3 que, como bem lembram Huss (1994) e Vallejo & González-Posada (2007), ajudam a controlar o colesterol e a prevenir enfermidades cardiovasculares.

Este novo conceito de alimento funcional aliado à diminuição dos estoques pesqueiros, em virtude da sobrepesca e, ao mesmo tempo, a necessidade de aumentar a oferta de alimento para garantir a segurança alimentar da população, foram alguns dos fatores que contribuíram para o desenvolvimento da aquicultura. Assim, a partir da década de oitenta do século passado, a aquicultura deixou de ser uma atividade de

Tabela 5.1 As diferentes formas de classificar a aquicultura

Tipos (de acordo com:)	Subtipos ou níveis
Estocagem, manejo e níveis de intensidade econômica	Intensivo; semi-intensivo; extensivo
Salinidade da água	Doce; salobra; salgada ou marinha
Características do fluxo de água	Corrente (lótico); parada com fluxo forçado; parada (lêntico)
Tratamento dos dejetos e recirculação	Aberto sem recirculação; semi-fechado com recirculação parcial; fechado com recirculação completa
Localização no ambiente	Interno; natural externo; artificial externo
Alimentação	Completa; suplementar; natural
Estratégia de alimentação	Continua; programada; natural
Biodiversidade	Monocultivo; policultivo; consorciado
Tolerância à temperatura	Euritérmico; estenotérmico (de água fria e de água quente)
Tolerância à salinidade	Eurialino; estenoalino (marinho, salobra)
Hábito alimentar	Carnívoro, omnívoro; herbívoro; oportunista
Origem da semente	Larvicultura; captura de reprodutores selvagens; natural
Nível de integração	Simples; integrado
Unidade de cultivo	Raceways; tanques; viveiros; tanques-rede/gaiolas ou jaulas (fixas ou flutuantes); cercados; lanternas
Mercado	Alimentação humana (local ou externa); esporte ou lazer (pesque-pague); ornamentação
Socioeconomia	Industrial; rural

Fonte: Costa-Pierce (1996), apud Arana (2004)

subsistência e assumiu um caráter mais amplo, passando a apresentar uma dimensão social, econômica e ambiental. Neste sentido, a aquicultura passou a ser um excelente meio de subsistência para as populações pobres inseridas nas zonas rurais; interferiu diretamente na renda, mediante a venda de produtos e serviços gerados; o comércio internacional de pescado se intensificou, gerando divisas e contribuindo para equilibrar a balança comercial de países em desenvolvimento; finalmente, um aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais passou a ser buscado.

Se por um lado a aquicultura cresceu e deverá continuar crescendo nas próximas décadas, por outro lado vem o questionamento: de onde virá a água para a aquicultura e, de forma especial, para a piscicultura continental? Esta última depende de água doce, em cujos múltiplos usos está o consumo humano.

As questões levam a refletir sobre o fato de que a água sendo, um recurso natural renovável mas com reservas limitadas (Tiago & Giancesella, 2003), vem sofrendo aumento continuado nas suas demandas e crescente pressão sobre a sua qualidade; assim, é imperativo que métodos ineficientes de uso da água sejam substituídos por outros que proporcionem redução das demandas por águas novas, e que venham, também, a mitigar os impactos causados com as descargas de águas servidas no meio ambiente, sem nenhum tratamento prévio.

5.2 PANORAMA DA AQUICULTURA NO MUNDO

As estatísticas demonstram que entre 1970 e 2004 a aquicultura apresentou um crescimento anual de 8,9%. Neste mesmo período a captura de pescado cresceu apenas 1,2% e sistemas de produção de carne em cultivos terrestres, 2,8% (FAO, 2004). Assim, a produção de pescado proveniente da aquicultura, excetuando-se as plantas aquáticas que em 1970 era de 1,43 milhões de toneladas - 3,6% da produção de pescado (Tacon, 2003), em 2004 atingiu 45,5 milhões de toneladas (FAO, 2004); em 2007 a produção atingiu um volume superior a 50 milhões de toneladas (Tabela 5.2). Em 2007 a aquicultura continental foi o segmento com maior expressividade, vindo a atingir produção superior a 30 milhões de toneladas, dos quais mais de 27 milhões de toneladas foram de peixes de água doce (FAO, 2009a, b).

Tabela 5.2 Evolução da produção da aquicultura no mundo e por tipo de ambiente, no período de 1998 a 2007

Ano	Continental		Marinha		Total ¹	
	Produção (t)	Participação (%)	Produção (t)	Participação (%)	Produção (t)	Incremento (%)
1998	17.120.338	60,3	11.292.318	39,7	28.412.656	-
1999	18.430.271	60,0	12.300.399	40,0	30.730.670	8,2
2000	19.304.852	59,6	13.110.898	40,4	32.415.750	5,5
2001	20.447.414	59,1	14.163.295	40,9	34.610.709	6,8
2002	21.732.555	59,1	15.049.224	40,9	36.781.779	6,3
2003	23.080.707	59,3	15.828.760	40,7	38.909.467	5,8
2004	25.194.804	60,1	16.694.823	39,9	41.889.627	7,7
2005	26.845.631	60,6	17.436.617	39,4	44.282.248	5,7
2006	28.689.268	60,6	18.632.662	39,4	47.321.930	6,9
2007	30.988.977	61,6	19.340.030	38,4	50.329.007	6,4

Fonte: FAO (2009a), dados trabalhado

¹ Soma aquicultura continental e marinha

Em pouco mais de três décadas o crescimento da produção de pescado da aquicultura foi mais rápido que o da população, vindo o consumo per capita a aumentar de 0,7 kg em 1970 para 7,8 kg em 2006, representando uma taxa de crescimento médio anual de 6,9% e uma participação relativa na produção de pescado consumido da ordem de 47% (FAO, 2009b).

A receita gerada pela aquicultura (Tabela 5.3) também vem acompanhando o crescimento da produção e, no período entre 1998 a 2007, apresentou incremento anual de 8,5%. Neste período a aquicultura continental teve maior participação que a maricultura (FAO, 2009a).

Aquicultura e pesca também têm contribuído com a geração de empregos e, juntas, envolveram diretamente, em 2006, 43,5 milhões de pessoas na produção primária de pescado, em tempo integral ou parcial. Este contingente representou 3,2% dos 1,37 milhões de pessoas economicamente ativas da agricultura mundial; no período de

Tabela 5.3 Evolução da receita gerada pela aquicultura no mundo e por tipo de ambiente, no período de 1998 a 2007

Ano	Continental		Marinha		Total ¹	
	Valor US\$	Participação (%)	Valor US\$	Participação (%)	Valor US\$*000	Incremento (%)
1998	21.648.904	51,4	20.496.261	48,6	42.145.164	-
1999	22.535.578	50,5	22.114.226	49,5	44.649.804	5,9
2000	23.853.271	50,1	23.743.979	49,9	47.597.251	6,6
2001	24.528.773	49,9	24.595.311	50,1	49.124.084	3,2
2002	24.955.762	49,2	25.814.861	50,8	50.770.624	3,4
2003	28.299.408	51,8	26.287.671	48,2	54.587.079	7,5
2004	32.363.433	54,0	27.539.573	46,0	59.903.005	9,7
2005	34.731.320	52,5	31.435.466	47,5	66.166.787	10,5
2006	38.684.264	51,5	36.399.231	48,5	75.083.495	13,5
2007	46.486.284	53,4	40.526.279	46,6	87.012.563	15,9

Fonte: FAO (2009a), dados trabalhado

¹ Soma aquicultura continental e marinha

1990 a 2006, onde o número de aquicultores (Tabela 5.4), passou de 3.832 para 8.663 milhões (FAO, 2009b), o que representa um ganho de 226,7%.

Dentre as regiões do continente, a Ásia e o Pacífico detêm o domínio absoluto da produção de pescado (89% do volume e 77% em valor). Já a China, com 67% do volume e 49% em valor, é o maior produtor do mundo (FAO, 2009b). Por outro lado, nas três últimas décadas a América Latina e o Caribe foram a região que apresentou maior taxa de crescimento aquícola, chegando a uma média de 22% ao ano (FAO, 2008a), e a responder por 3,0% da quantidade e 8,5% do valor da produção de pescado em todo o mundo, no ano de 2006 (FAO, 2009b).

Tabela 5.4 Número de aquicultores por região do continente no período de 1990 a 2006

Região do Continente	Aquicultores por continente (milhões)				
	1990	1995	2000	2005	2006
África	3	13	107	111	108
América do Norte e Central	3	6	75	300	301
América do Sul	66	93	71	69	69
Ásia	3.738	5.986	7.369	8.078	8.107
Europa	20	26	44	71	73
Oceania	1	1	5	4	4
Total mundial	3.832	6.124	7.672	8.632	8.663

Fonte: FAO (2009b), dados trabalhados

No tocante às espécies cultivadas, o grupo das carpas, barbos e outros ciprinídeos, segue sendo o mais produzido em todo o mundo. Em 2007 esse grupo gerou uma produção de 18.944.071 toneladas, fato que pode ser atribuído à hegemonia da produção desses peixes em países asiáticos e do Pacífico. Isoladamente, a ostra

(*Crassostrea gigas*), segue como a espécie mais cultivada, com uma produção de 4.233.829 toneladas; o camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), com 2.274.411 toneladas, como a quinta e a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), com 2.121.009 toneladas, como a nona (FAO, 2009a).

A aquíicultura deverá continuar crescendo nas próximas décadas e dentre as razões apontadas para isto, estão: maior eficiência produtiva da aquíicultura, quando comparada a outras atividades pecuárias; melhoria de produtividade e redução nos preços de organismos cultivados com consequente ampliação do mercado consumidor e a escassez de peixes selvagens. Além disso, a produção de peixes, mediante uma aquíicultura responsável, traz benefícios ambientais, fazendo uma gestão integrada de resíduos em áreas urbanas e rurais (World Bank, 2006).

5.3 PANORAMADA AQUIICULTURA NO BRASIL

A aquíicultura brasileira, com um crescimento médio anual de 16,49% entre 1997 e 2007, também se tem destacado no cenário mundial (IBAMA, 2007b). Em 2007 a produção aquícola alcançou uma produção de 289.648 toneladas e uma receita de 597.975 milhões de dólares (IBAMA, 2007b; FAO, 2009a). Este crescimento fez com que o Brasil, que em 1994 ocupava o 32º lugar em termos de produção aquícola mundial e o 26º em termos de valores (FAO, 2008b) assumisse, em 2007, a 16ª posição em volume e a 22ª em valor. Na América Latina e no Caribe, o Brasil é o 2º país em volume mas o 3º em termos de valor, ficando atrás apenas do Chile e Equador (FAO, 2009a), países esses de dimensões muito inferiores à de vários Estados da federação brasileira.

No Brasil, a aquíicultura segue o mesmo perfil mundial, predominando o cultivo de organismos em águas continentais, notadamente de peixes. Deste modo, no período entre 1997 e 2007 a produção da aquíicultura continental representou entre 63,7% a 88,4% da produção da aquíicultura, como um todo (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 Evolução da produção da aquíicultura continental e marinha no Brasil, no período de 1997 a 2007

	Aquiicultura ^{1,3}		Continental ¹		Marinha ¹		Aquiicultura ³	
	Produção (t)	Incremento (%)	Produção (t)	Participação (%)	Produção (t)	Participação (%)	Valores ² (US\$*000)	Incremento (%)
1997	87.673,50	-	77.493,50	88,4	10.180,00	11,6	137.984	-
1998	103.914,50	18,5	88.565,50	85,2	15.349,00	14,8	163.429	18,4
1999	140.655,50	35,4	114.142,00	81,2	26.513,50	18,8	216.699	32,6
2000	176.530,50	25,5	138.156,00	78,3	38.374,50	21,7	263.615	21,7
2001	209.378,50	18,6	156.532,00	74,8	52.846,50	25,2	324.879	23,2
2002	251.287,00	20,0	180.173,00	71,7	71.114,00	28,3	419.464	29,1
2003	278.128,50	10,7	177.125,50	63,7	101.003,00	36,3	478.100	14,0
2004	269.697,50	-3,0	180.730,50	67,0	88.967,00	33,0	470.169	-1,7
2005	257.780,00	-4,4	179.746,00	69,7	78.034,00	30,3	444.455	-5,5
2006	271.695,50	5,4	191.183,50	70,4	80.512,00	29,6	468.685	5,5
2007	289.049,50	6,4	210.644,50	72,9	78.405,00	27,1	597.975	27,6

Fonte: ¹ IBAMA (2007b; 2008); ² FAO (2009a), dados trabalhado; ³ Soma aquíicultura continental e marinha

A região Nordeste do Brasil, tornou-se, desde 2003, a maior produtora de organismos aquáticos cultivados (Tabela 5.6). Mesmo sendo a maior parte dessa produção, proveniente do cultivo de camarão marinho, a aquicultura continental apresentou grandes avanços mediante a criação de tilápia nilótica, linhagem chitralada, fazendo uso de tanques e/ou viveiros, para produção das formas juvenis, e de tanques-rede, instalados em reservatórios públicos ou privados, para as fases de crescimento e terminação. Segundo estatísticas do IBAMA, a aquicultura continental no Nordeste, que em 2000 era de 8.159,50 toneladas, a menor das cinco regiões do País, em 2007 atingiu 43.985,50 toneladas, representando um aumento de 539,1% e ficando atrás apenas da região Sul, com produção de 64.483,50 toneladas.

Tabela 5.6 Evolução da aquicultura continental e marinha por regiões do Brasil, no período de 2000 a 2007

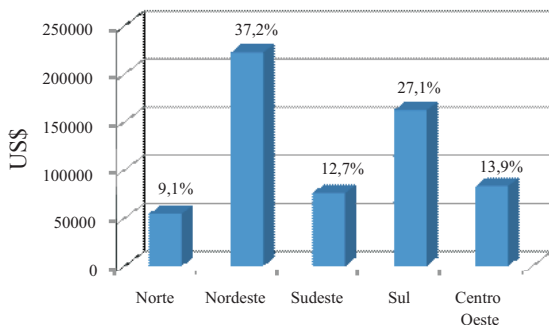
Região	Produção da aquicultura							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	Continental (t)							
Norte	8.196,0	13.682,0	15.719,0	14.085,0	17.531,5	19.706,5	22.100,0	26.143,0
Nordeste	8.159,5	12.326,5	26.137,5	32.459,0	39.153,5	35.294,5	36.049,0	43.985,5
Sudeste	33.479,5	34.723,0	36.532,0	35.723,5	30.723,0	32.050,5	36.279,0	35.823,5
Sul	73.243,0	74.141,5	75.916,5	67.802,5	61.252,0	59.204,5	62.823,5	64.483,5
Centro Oeste	15.078,0	21.659,0	25.868,0	27.055,5	32.070,5	33.490,5	33.932,0	40.209,0
	Marinha (t)							
Norte	00.140,0	150,0	78,0	324,0	242,0	278,0	250,0	200,0
Nordeste	24.402,0	37.608,5	58.043,5	85.858,5	70.695,5	59.034,5	63.750,5	63.500,5
Sudeste	564,5	912,0	714,5	884,5	984,0	1.023,5	638,5	838,0
Sul	13.268,0	14.176,0	12.278,0	13.936,0	17.045,5	17.698,0	15.873,0	13866,5
Centro Oeste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: IBAMA (2000; 2003; 2004a; 2004b; 2005; 2007a; 2007b; 2008), dados trabalhado

Em termos de receita, em 2007 a aquicultura gerou 597.975 milhões de dólares, cabendo o montante de 435.773 milhões de dólares à aquicultura continental e 162.201 milhões à aquicultura marinha (Figura 5.1). A região Nordeste teve maior participação na receita (37,2%), seguida das regiões Sul (27,1%), Centro Oeste (13,9%), Sudeste (12,7%) e, por último, pela região Norte (9,1%). Na participação por tipo de ambiente, no ano de 2007 apenas na região Nordeste a aquicultura marinha gerou maior receita que a continental (Figura 5.2).

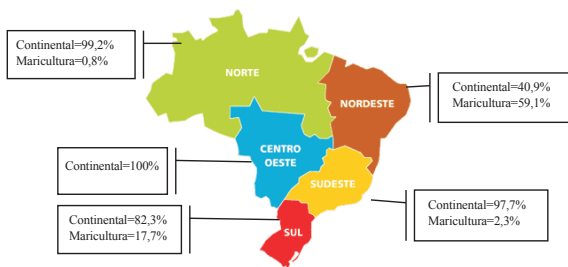
A aquicultura marinha brasileira está alicerçada na exploração de camarão, *Litopenaeus vannamei*, ostra, *Crassostrea rhizophorae* e *C. gigas*, mexilhão, *Perna perna*, coquile/vieira, *Nodipecten nodosus*. A região Nordeste detém 97,7% da produção de camarão; já a produção de moluscos fica concentrada nas regiões Sul e Sudeste. A região Centro Oeste, por não apresentar litoral, não desenvolve a maricultura.

Na aquicultura continental os peixes são produzidos em todas as regiões e Estados brasileiros, equivalendo a 99,6% da produção continental. Os 0,4% restantes são



Fonte: Adaptado de IBAMA (2007b)

Figura 5.1 Receita gerada pela aquicultura nas diferentes regiões brasileiras no ano de 2007

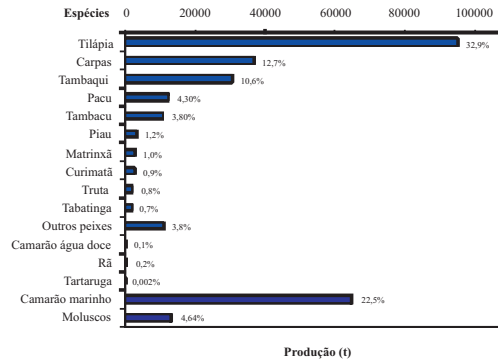


Fonte: Adaptado de IBAMA (2007b)

Figura 5.2 Participação das regiões brasileiras na receita gerada pela aquicultura marítima e continental, no ano de 2007

relativos à produção de rã, *Rana catesbeiana*, camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* e tartaruga, *Podocnemis expansa*. Na piscicultura continental 88,1% da produção fica concentrados na tilápia, *Oreochromis niloticus*, carpa comum, *Cyprinus carpio*, carpa capim, *Ctenopharyngodon idella*, carpa-prateada, *Hipophthalmichthys molitrix*, carpa cabeça-grande, *Arystichthys nobilis*, tambaqui, *Colossoma macropomum*, pacu, *Piaractus mesopotamicus* e tambacu, híbrido *Colossoma macropomum* X *Piaractus mesopotamicus* (Figura 5.3).

No Brasil, a aquicultura deverá continuar se expandido nas próximas décadas, fato que será favorecido pelo aumento da demanda por pescado, seja devido ao aumento da população, que deverá passar dos atuais 192.304.802 habitantes (IBGE, 2010), para mais de 216 milhões de habitantes em 2030 (IBGE, 2008), ou por outras razões, dentre as quais podem ser citadas: a melhoria do acesso da população ao pescado, a preferência por alimentos mais saudáveis, entre os quais estão as carnes brancas e magras de pescado; criação de uma estrutura fundiária para os recursos hídricos, na qual foi estabelecido o limite de 1% da superfície de ambientes aquáticos para desenvolvimento da aquicultura, os chamados parques aquícolas; criação de



Fonte: Adaptado de IBAMA (2007b)

Figura 5.3 Espécies mais cultivadas pela aquicultura continental e marinha no Brasil e percentual de participação na produção

cursos profissionalizantes em áreas de conhecimentos afins da aquicultura e pesca e incentivo à atividade que se deverá intensificar com a criação do Ministério da Pesca e Aquicultura.

O potencial dos recursos naturais para que a aquicultura brasileira possa continuar crescendo pode ser traduzida, conforme aponta o Plano Nacional de Desenvolvimento Sustentável para a Aquicultura e Pesca - 2008/2011 - PNDSAP, pelos 10 milhões de hectares de lâmina d'água em reservatórios de usinas hidroelétricas, açudes públicos e propriedades particulares no interior do Brasil; 8,5 mil km de costa marítima, com uma Zona Econômica Exclusiva de 4 milhões de km²; clima favorável para o crescimento dos organismos cultivados e inúmeras espécies nativas com potencial para o cultivo, entre peixes, moluscos, crustáceos, algas, répteis e anfíbios.

5.4 DESAFIOS DA AQUICULTURA

Em todo o mundo a aquicultura enfrenta grandes desafios; até a década de 80, um dos grandes desafios da aquicultura era sair da condição de subsistência e atingir o status de agronegócio. As estatísticas dão conta de que a aquicultura atingiu, realmente, esta meta e assumiu importante papel econômico para a segurança alimentar dos povos. Por outro lado, a atividade tem sido alvo de críticas severas, sobre tudo em referência ao aspecto econômico, acusado de sobrepujar os aspectos ambientais e sociais, pondo em risco a saúde do planeta e gerando sérios conflitos para a população. Críticas à parte, é possível dizer que a aquicultura, tal como a agricultura irrigada, é fundamental à segurança alimentar dos povos e, para que se venha manter no mesmo padrão de desenvolvimento, ela terá que estar alicerçada no princípio da sustentabilidade, através do qual os aspectos econômicos, ambientais e sociais deverão caminhar lado a lado e não em direções opostas; as catástrofes sociais, ambientais e econômicas registradas nos tempos recentes, dão prova disto.

Desta forma, a questão não deverá ser barrar o desenvolvimento da aquicultura mas, sim, contemplar os três pilares sobre os quais o desenvolvimento sustentável da aquicultura deverá estar alicerçado, e evitar estagnação ou retrocesso na produção, para o que desafios devem ser superados; entre esses desafios são citados, mas sem apontar uma ordem de prioridade, a redução dos impactos negativos da atividade do ponto de vista ambiental e social, o desenvolvimento de tecnologias que permitam aumentar a produção e a produtividade, sem a necessária ampliação das áreas cultivadas e das demandas de água, a implantação de programas de melhoramento genético para espécies potenciais, a implantação de programas de biossegurança, a melhoria nas condições de infraestrutura, transporte, processamento e comercialização, a capacitação de mão-de-obra, a consolidação de políticas públicas para o setor, devendo esta incluir o estabelecimento de canais de diálogo entre os segmentos, direta ou indiretamente envolvidos com a aquicultura, os investimentos em pesquisas básicas e aplicadas e a implantação de programas eficientes de difusão de tecnologia.

Chamando a atenção sobre os três últimos aspectos, pode-se começar dizendo que em muitas partes do mundo as comunidades se opõem ativamente ao desenvolvimento da aquicultura, pois este desenvolvimento é visto como ameaça social e ao sistema ecológico local. Quanto a este assunto, a United States Agency for International Development (USAID, s.d.) alerta que não importa quão avançada tecnologicamente esteja a aquicultura. Se operações das atividades aquícolas não tiverem raízes locais, a atividade continuará a receber forte oposição da comunidade e para que isto não ocorra, ou seja amenizado, é fundamental que o planejamento para o desenvolvimento da aquicultura venha abranger, no local, o desenvolvimento comunitário e ambiental, acomodar indústrias de apoio (insumos), promover a utilização de resíduos da agricultura e a valorização de projetos ambientais; só então, a aquicultura terá muito mais impactos positivos na geração de emprego e no ambiente, e acabará por dissolver a oposição das comunidades, que passarão, a partir daí, a ver os recém-chegados como um dos seus.

Sobre pesquisa e difusão de tecnologia, duas áreas que têm estreita relação, é oportuno lembrar que elas devem estar em consonância com as necessidades do segmento aquícola e que haja mais investimento. Além disso, é oportuno ressaltar que decisões que levem em consideração parcerias estabelecidas entre instituições e o setor produtivo e com base em conhecimentos técnico-científicos e experiências vivencionadas no campo, são menos conflitantes e mais fáceis de serem implementadas.

Tratando da difusão de tecnologia em particular, pode-se dizer que a aquicultura brasileira já poderia ter superado o atraso tecnológico se governos, academia e instituições de pesquisa e fomento, priorizassem ações de transferência dos conhecimentos para quem de fato necessita, ao invés de priorizarem a produção de pilhas de documentos que, muitas vezes, só contribuem para o deleite pessoal ou para que países estrangeiros se apropriem das informações geradas com recursos do povo brasileiro.

No tocante aos impactos negativos da atividade sobre o ambiente, certamente a promoção de um uso mais eficiente da água, o tratamento e/ou destinação adequada dos efluentes da aquicultura, farão parte do centro das discussões.

5.5 QUANTITATIVO DE ÁGUA PARA AQUICULTURA

Todas as funções vitais dos organismos aquáticos são dependentes da água (respiração, excreção, osmorregulação, alimentação, reprodução, etc.), de forma que a água é o insumo básico para a aquicultura e não há como concebê-la sem um suprimento quanti-qualitativo de água adequado.

Do ponto de vista quantitativo, diz-se que a água requerida pela aquicultura é o somatório da água necessária para abastecer as unidades de cultivo (viveiros, tanques, etc.) no início do processo de produção, repor as perdas por evaporação e infiltração que ocorrem no decorrer do ciclo e para renovação das águas, visando diluir e/ou eliminar resíduos gerados pelo cultivo e, por conseguinte, manter a qualidade da água. As perdas que ocorrem por evaporação dependem de fatores climáticos, como temperatura, insolação, umidade do ar e ventos; já as perdas de água que ocorrem por infiltração dependem do tipo e tempo de construção das instalações, tipo de solo e da proximidade entre o piso das instalações e o lençol freático. A renovação de água, por sua vez, tem forte relação com densidade de estocagem, espécie cultivada, sistema de produção adotado e tipo de instalação.

Com base na taxa de evaporação e na infiltração, é possível estimar o volume de água necessário à reposição das perdas na aquicultura. Em viveiros construídos em regiões com uma taxa de evaporação diária média de 9,57 mm, como as registradas em áreas do Nordeste brasileiro (Aguiar et al., 2004), e solos de textura argilosa, velocidade de infiltração básica (VIB) de 0,1 mm h⁻¹ (Daker, 1984), que corresponde uma taxa de infiltração diária de 2,4 mm dia⁻¹, as necessidades diárias de água para repor essas perdas seriam de 119,7 m³ ha⁻¹ (95,7 m³ para repor as perdas por evaporação e 24 m³ para as perdas por infiltração); isto equivaleria a uma vazão de água de 1,38 L s⁻¹ ha⁻¹ dia⁻¹. Deste modo, em um ano de cultivo além da água necessária para abastecer o viveiro no início do cultivo e promover renovação, para cada hectare seriam necessários 43.690,5 m³ de água para repor as perdas por evaporação e infiltração. Em áreas com solos de textura média, VIB 3,12 mm dia⁻¹ (Daker, 1984), a evaporação, permanecendo a mesma, o consumo de água para repor as perdas aumentariam para 3.215,7 m³ ha⁻¹ dia⁻¹ (95,7 m³ para repor as perdas por evaporação e 3.120 m³ para as perdas por infiltração).

No contexto da espécie, e de forma geral, pode-se dizer que, para a criação de peixes que toleram águas com baixa taxa de renovação, a previsão de demanda de água chega a valores entre 8 e 10 L s⁻¹ ha⁻¹ de espelho d'água de tanques ou viveiros com profundidade média de 1,5 m; enquanto para peixes mais exigentes em qualidade de água, como a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), uma vazão de 100 L s⁻¹, conforme afirmam Tabata & Portz (2004), é suficiente para atender à demanda de apenas 360 m² de espelho d'água de tanques com profundidade média de 1,0 m. Na criação de rãs, conforme

Lima & Agostinho (1988), uma vazão de 8 a 10 L s⁻¹ atende às demandas de uma anfranja com área de 940 m² e capacidade para 2 t de carne por safra com duração de três a cinco meses; já a Associação Brasileira de Patologistas de Organismos Aquáticos (ABRAPOA, 2006), transcrevendo sugestões do Instituto de Pesca, recomenda vazão de 0,5 L s⁻¹ para ranários com área de 500 m².

Para camarão marinho, além do volume exigido para o abastecimento das unidades de produção, as demandas de água para as trocas diárias podem ser de 0 a 5% do volume armazenando nos viveiros, quando o sistema adotado é o extensivo, 5 a 20% quando o regime é o semi-intensivo e 25 a 100% quando é o intensivo (Tacon, 2002).

Comparando o uso de água nos diferentes sistemas de cultivo é possível dizer que nos moldes tradicionais de uso a produção de pescado tem relação direta com o volume de água que circula no ambiente de criação; assim, a produção é maior em sistemas com alto fluxo de água do que em sistemas de águas paradas ou com baixa taxa de renovação (Tabela 5.7), cuja pelo fato de eliminar mais rapidamente as substâncias nocivas permitindo, desta forma, manter a água em condições compatíveis com as necessidades dos organismos cultivados.

Em geral, os modelos intensivos de produção são dotados de alto fluxo de água e, embora sejam ditos proporcionar maior produtividade por unidade de área e menores custos de produção (Kubitza, 2000; Silva et al., 2003), são mais voltados para a aquicultura em escala industrial, em locais onde há grande disponibilidade de água e com espécies de valor comercial considerável. É oportuno lembrar que todo e qualquer sistema de produção tem sua capacidade de suporte e se ela é ultrapassada, pode ocorrer estagnação ou mesmo declínio da produção, além de acarretar degradabilidade do meio ambiente como um todo.

Tabela 5.7 Produção de pescado em função do sistema de produção

Espécie	Sistema de produção (País)	Produção (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Produtividade da água (m ³ t ⁻¹)
Carpa comum	Intensivo em tanques de derivação (Japão)	1.443	740.000
Tilápia nilótica	Intensivo em tanques com aeração mecânica (Tailândia)	17,4	21.000
Carpa comum, carpa prateada e tilápia nilótica	Extensivo em tanques (Israel)	3	12.000
Bagre (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Intensivo em tanques (EUA)	3	6.500
Carpa comum, carpa prateada e tilápia nilótica	Semi intensivo em tanques (Israel)	9	5.000
Carpa comum e tilápia nilótica	Intensivo em tanques (Israel)	20	2.250
Tilápia nilótica	Fluxo mínimo de água e alimentação com detritos (Tailândia)	6,8	1.500 a 2.000
Bagre africano (<i>Clarias batrachus</i>)	Intensivo em tanques (Tailândia)	100 - 200	50 - 220

Fonte: Adaptado de Tiago (2002)

Uma pergunta que muitos fazem, mas que poucos respondem, é: qual a produtividade da água nos sistemas aquaculturais? Esta questão é fundamental quando se vislumbra um manejo racional da água, mas muito complexo. Certamente uma grande variabilidade de repostas poderá ser estabelecida em função da espécie cultivada, sistema de exploração adotado, tipo de instalação e fatores climáticos, conforme as Tabelas 5.7 e 5.8.

Em referência à produtividade da água na aquicultura, estudos relatados por Gomiero et al., (1997), dão conta de que em sistema semi-intensivo de produção conduzido na China, onde são utilizados viveiros com profundidade média entre 1,5

Tabela 5.8 Produção de culturas aquícolas e agrícolas por unidade de água consumida

Produto	Produtividade da água		Fonte
	kg m ⁻³ água	US\$ m ⁻³ água	
Pescado da aquicultura			
Peixes em geral	0,05-1,0 ²	0,07-1,35	Connor et al. (2009)
Peixes em geral	0,13 – 0,17	-	Gomiero et al. (1997)
Truta e enguia	0,005	-	Gomiero et al. (1997)
Camarão	0,09 – 0,02	0,1-1,1	Phillips et al. (1991)
Salmonídeos	0,004	0,006-0,018	Phillips et al. (1991)
Bagre de canal	0,155	0,25	Phillips et al. (1991)
Tilápia	0,017 - 0,06	0,048 - 0,18	Santos (2009)
Frutas			
Abacate	1,79	0,54	Embrapa Meio Norte*
Abacaxi	7,49	1,50	Embrapa Meio Norte *
Acerola	3,25	0,97	Embrapa Meio Norte *
Banana	3,40	1,06	Embrapa Meio Norte *
Caju	8,17	2,91	Embrapa Meio Norte *
Goiaba	4,34	2,71	Embrapa Meio Norte *
Graviola	2,17	2,06	Embrapa Meio Norte *
Limão	4,34	2,93	Embrapa Meio Norte *
Manga	5,00	3,00	Embrapa Meio Norte *
Maracujá	2,01	1,51	Embrapa Meio Norte *
Melão	6,25	1,38	Embrapa Meio Norte *
Mamão	2,98	1,43	Embrapa Meio Norte *
Tangerina	4,34	1,30	Embrapa Meio Norte *
Uva	8,13	6,10	Embrapa Meio Norte *
Grãos			
Arroz	0,57	0,01	Embrapa Meio Norte *
Feijão	0,60	0,20	Embrapa Meio Norte *
Milho	0,71	0,04	Embrapa Meio Norte *
Soja	0,75	0,05	Embrapa Meio Norte *
Outros			
Algodão	0,67	0,40	Embrapa Meio Norte *
Cana de açúcar	6,41	0,13	Embrapa Meio Norte *
Carne	0,03-0,1	0,09-0,3	Connor et al. (2009)

* Santos (dados ainda não publicados)

a 2,0 m, densidade de estocagem entre 0,12 - 0,17 kg de peixe m⁻², pode-se esperar uma produtividade média de 2.400 kg ha⁻¹ de peixes, mediante o consumo de 6 a 8 m³ de água kg⁻¹ de peixe produzido; já em sistema intensivo de produção de truta ou enguia, na Itália, é utilizada uma média de 5 L s⁻¹ t⁻¹ de peixes estocados. Como o tempo médio de estocagem para essas espécies é de 15 meses, os autores relatam que o consumo de água chega a cerca de 200.000 m³ L t⁻¹ ou 200 m³ L kg⁻¹ de peixe produzido.

Em sistema extensivo sem fornecimento de alimento exógeno, a superintensivo, segundo relato de Connor et al. (2009), 1,0 m³ de água pode produzir entre 0,05 a 1,0 kg de peixe. Esta produtividade é maior que a registrada para carne porém menor que a registrada para várias culturas agrícolas produzidas no Brasil. Conforme documentado por Phillips et al. (1991), no cultivo de camarão essa produtividade pode chegar a valores entre 0,09 a 0,02 kg m⁻³ de água, sendo maior que a relatada para salmonídeos (0,004 kg m⁻³), mas menor que as registradas no cultivo de bagre (0,155 kg m⁻³); para tilápia produzida em tanques de pequeno volume, com taxas de renovação de água entre 200 a 800% do volume dia⁻¹ e densidade de 28 ou 56 peixes m⁻³, a produtividade pode chegar a 0,06 kg m⁻³ (Santos, 2009).

5.6 QUALIDADE DE ÁGUA PARA AQUICULTURA

A qualidade da água na aquicultura é dada por um conjunto de variáveis físicas e químicas e por variáveis biológicas (bactérias, fungos, parasitas, vírus, fitoplâncton, fauna e flora) e tecnológicas (densidade de estocagem, biomassa, carga, taxa de renovação de água e alimentação) conforme Arana (2004); essas variáveis interagem entre si e influenciam, de forma positiva ou negativa, a dinâmica do ambiente aquático e o metabolismo dos organismos cultivados.

Dentre todas as variáveis físicas e químicas, o oxigênio dissolvido e a amônia (NH₃), são as que causam maior preocupação aos aquicultores. O oxigênio é influenciado por fatores extrínsecos ao cultivo, tais como temperatura, salinidade e pressão atmosférica, apresentando relação inversa com os dois primeiros fatores e direta com o último; também sofre influência de fatores intrínsecos ao cultivo, recaindo sobre algumas variáveis biológicas, mas principalmente sobre as tecnológicas que, por sua vez, também são decisivas para as concentrações de amônia na água, assim como de outras variáveis físico-químicas.

Estando as concentrações de amônia e oxigênio dissolvidas na água, dentro do recomendado à aquicultura, as demais variáveis estarão, em geral, em equilíbrio; por outro lado, concentrações fora dos limites tolerados provocam estresse, prejuízo ao desempenho e, não raro, mortalidade.

Nas fazendas de cultivo de organismos aquáticos e de forma especial naquelas que apresentam baixo nível tecnológico, a renovação de água é a forma mais usualmente empregada no controle do oxigênio dissolvido, amônia e alguns outros compostos presentes na água. Esta prática, embora bastante recorrente, tem-se

mostrado ineficiente, pois, além de incorrer em elevado consumo de água, transloca substâncias do ambiente de cultivo para o meio externo anulando, muitas vezes, os efeitos de práticas como calagem e fertilização e promovendo muitos outros efeitos indesejáveis. Em relação a este assunto, Boyd & Queiroz (2004), alertam que as trocas diárias de água não melhoram a qualidade da água, impedem a assimilação de carbono, nitrogênio e fósforo, além do que transferem, via efluente, matéria orgânica e sólidos em suspensão, circunstâncias em que, continuam os autores, a descarga do efluente em cursos d'água naturais, pode causar poluição, prejudicando diretamente as comunidades aquáticas e a qualidade das águas destinadas a outros benefícios.

Para garantir bom desempenho dos organismos aquáticos cultivados, é imprescindível que as variáveis estejam em equilíbrio; para isto, primeiro há que se tomar cuidado com a água que abastece as unidades de cultivo e, uma vez tendo iniciado o ciclo de produção, há que se tomar medidas que permitam mantê-la dentro dos padrões recomendados para cada espécie e também com as descargas dos efluentes gerados. Em se tratando de viveiros aquícolas, as práticas de calagem, secagem, desinfecção, aração do solo, remoção de sedimentos do fundo, fertilização, aplicação de algicidas, zeolita e biorremediação, são algumas medidas que contribuem efetivamente para a manutenção da qualidade da água. Sobre essas práticas e as especificidades das variáveis físicas, químicas, biológicas e tecnológicas, é possível obter uma gama de informações (Boyd, 1990; Kubitza, 2003; Boyd & Queiroz, 2004; Arana, 2004).

Padrões de qualidade para as águas doces, salobras e salinas da Classe 1, que são aquelas presentes em corpos d'água onde há pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo, foram estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 (Tabela 5.9).

5.7 ESTRATÉGIAS PARA RACIONALIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NA AQUICULTURA

O uso da água refere-se à água objeto de uma utilização benéfica para os seres humanos, sendo este dividido em quatro categorias principais: uso doméstico, industrial, agrícola e de produção de energia. A maior parte da literatura considera, do ponto de vista das demandas de água, os três usos - doméstico, industrial e agrícola. Desses três usos, o agrícola é o maior de todos chegando, conforme dados da FAO (2007), a 87,6% no Oriente, 84,1% na África, 81,3% na Ásia e Pacífico e 70,7% na América Latina e Caribe. Apenas na América do Norte e Europa o consumo de água pela agricultura (38,7 e 32,4, respectivamente) é suplantado pela indústria, que demanda volumes da ordem de 48,0% e 52,4%, respectivamente.

Dois aspectos devem ser observados nos usos acima citados: um é a grande demanda global de água doce, que chega a cerca de 4.000 km³ ano⁻¹, além de outros 6.400 km³ de água de chuva demandado anualmente somente pela agricultura (Connor et al., 2009). O outro é a escassez de água que, na atualidade, já afeta cerca de 40%

Diante de cenário tão desalentador, a Agência das Nações Unidas para as Águas (UN-Water, 2007), alerta para o fato de que, para as necessidades continuarem sendo supridas nas regiões afetadas pela escassez de água, os esforços deverão incidir sobre o uso eficiente de todas as fontes de água (águas subterrâneas, superficiais e de chuvas) e devem ser adotadas estratégias que maximizem o retorno econômico e social da alocação deste recurso.

No Brasil, o conceito de uso eficiente da água foi instituído com o advento da Lei 9.433, de 1997, que estabeleceu o princípio dos usos múltiplos como uma das bases da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), passando os diferentes setores usuários de água a ter igualdade no direito de acesso a este bem; a única exceção é que, em situações de escassez, a prioridade de uso da água é o abastecimento público e a dessedentação de animais, ficando os demais usos (geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial, turismo e lazer, etc.), sem ordem de prioridade definida. A lei passou a reconhecer a água como bem econômico e estabeleceu o regime de outorga que assegura o controle quanti-qualitativo dos usos da água. A cobrança passou a ser utilizada como instrumento para integrar a gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para investir na preservação e recuperação dos recursos hídricos nas diferentes bacias hidrográficas.

A aquicultura como usuária dos recursos hídricos, está salvaguardada pelos direitos e deveres estabelecidos pela Lei 9.433 e, como tal, deve adotar medidas que promovam o uso mais eficiente da água. A adoção de sistemas integrados de produção que favoreçam o aproveitamento de águas servidas ou que não venham competir com o uso humano, industrial e agrícola, o uso de aeração, a biorremediação e a adoção de boas práticas de manejo, são algumas das estratégias concebidas para a racionalização de água na aquicultura.

5.7.1 Integração aquicultura - agricultura

A integração agricultura-aquicultura é uma estratégia de utilização sustentável dos recursos hídricos, pois atende aos preceitos de atividades que promovem o uso múltiplo das águas contribuindo, assim, para uma eficiência hídrica e produtiva maior. Nesta integração o benefício se dá em diferentes níveis. A aquicultura se beneficia da infraestrutura das áreas agrícolas; os efluentes gerados pela aquicultura, com uma carga considerável de resíduos, são aproveitados pela agricultura; o ambiente ganha com a menor retirada de água, menor descarga de resíduos na natureza e também com redução das retiradas de minerais que viriam a ser utilizados para promover a fertilização das culturas agrícolas e os custos de produção podem diminuir simultaneamente, para as duas atividades.

A importância do sistema integrado de produção aquicultura-agricultura é tamanha, que a FAO (2007), incentiva este tipo de integração, ressaltando que no setor agrícola o uso eficiente das águas é a chave para melhorar a segurança alimentar e a redução

da pobreza, especialmente nas zonas rurais, que são o lar de três quartos das pessoas famintas do mundo. Reforçando esta premissa, Kumar (2002), diz que a agricultura integrada tem melhorado significativamente a produção agrícola e a sustentabilidade em muitas partes do mundo. Isto ocorre porque o processo integrado proporciona a recuperação e o reúso de recursos como nutrientes e água e a redução da poluição ambiental. Para Chaves & Silva (2006), é fundamental integrar a piscicultura com a agricultura irrigada, uma vez que é possível conduzir duas atividades utilizando-se a mesma água, resultando em maior diversidade de produtos e aproveitamento de recursos subexplorados.

Israel e muitos países asiáticos podem ser citados como modelo em desenvolvimento de sistemas integrados agricultura-aquicultura. Em Israel, um país com ambiente em grande parte semiárido ou desértico, o modelo de integração está alicerçado na necessidade de obtenção de máxima vantagem econômica, a partir dos limitados recursos hídricos disponíveis, tanto de águas doces superficiais quanto das águas subterrâneas salobras. A experiência asiática é baseada, em grande parte, na necessidade de se utilizar todos os meios disponíveis dos recursos hídricos, solo e nutrientes, tanto para fins comerciais, quanto para subsistência. Ambos os modelos ditam a necessidade do uso múltiplo da água e da integração da aquicultura com uma ou mais atividades agropecuárias (Gooley, 2000).

Comprovada a importância da integração, a questão passa a ser: como promover essa integração? Pode-se dizer que a integração pode ser feita de diferentes formas. Na Ásia, pode ser citado o exemplo da integração peixe-arroz-patos e, em Israel, a criação de diferentes espécies de peixes integrada à produção de diversas culturas agrícolas (Gooley, 2000). Na Austrália, as opções para a disposição final e/ou reutilização de águas residuárias da aquicultura, no âmbito de um sistema de agricultura integrada, são largamente ditadas pelas limitações normais da agricultura irrigada. Mais especificamente, o efluente de água doce rico em nutrientes pode ser facilmente utilizado para a irrigação de uma série de culturas tradicionais, entre as quais estão: pastagens, cereais (arroz e trigo), industriais (algodão), horticultura (citros, hortaliças e uvas), bem como culturas hidropônicas (alface, tomate, morango, flores e ervas) e várias agrofloretais (Gooley & Gavine, 2002). Na opinião de Chaves & Silva (2006), várias culturas podem ser integradas à piscicultura, mas as olerícolas parecem ser mais apropriadas principalmente por serem bastante consumidas e seu cultivo ser feito, em geral, por pequeno e médio produtor rural.

A concepção de sistemas integrados agricultura-aquicultura, acomoda uma gama de modelos e sistemas aplicativos. Em termos gerais, conforme ressaltado por Gooley & Gavine (2002), os modelos incorporaram a utilização integrada dos recursos naturais, incluindo terra, água e nutrientes, além infraestrutura de capital, incluindo lagoas, canais, tubulações e bombas, etc. Alguns desses modelos serão apresentados a seguir.

5.7.1.1 Aquicultura em canais de irrigação

Haylor & Bhutta (1997), enumeram os benefícios da utilização dos canais de irrigação para exploração aquícola; são eles: maior diversidade da renda; melhor utilização das terras agrícolas separadas para a construção dos canais; aumento da oportunidade de trabalho; produção de uma nova cultura alimentar (proteína animal) e aumento de teor de nutrientes em água de irrigação.

Para Oliveira & Santos (2008), no Nordeste do Brasil, apesar do elevado déficit hídrico, existem distritos de irrigação com grande potencial para a produção agrícola, podendo ser evidenciado pela extensa rede de canais de irrigação administrada pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, e pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS (Tabela 5.10) que, juntas, somam 2.872,07 km de extensão. Desta forma, a realização de cultivos piscícolas nos canais de irrigação e o aproveitamento dos efluentes da piscicultura para produção de frutas e legumes, podem ser considerados poderosos instrumentos para explorar, de forma mais eficiente, os recursos hídricos do semiárido nordestino. Ainda segundo os autores, no Brasil as criações de peixe em canais de irrigação já foram realizadas no Projeto de Irrigação Jaíba, em Minas Gerais, no Canal da Redenção, em Coremas, na Paraíba, e mais recentemente no Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), em Parnaíba, PI.

Em canais de irrigação, a aquicultura é fundamentalmente continental e pode ser conduzida diretamente nos canais de distribuição de água (canais de irrigação) ou em

Tabela 5.10 Perímetros irrigado no Brasil, administrados pela CODEVASF e DNOCS

CODEVASF	Canal (km)	DNOCS	Canal (km)	DNOCS	Canal (km)
Bebedouro (PE)	31	Baixada Maranhense (MA)	4,73	Tabuleiro de Russas (CE)	103,15
Ceraima (BA)	10,6	Tabuleiro São Bernardo (MA)	23,45	Vázea do Boi (CE)	24,17
Cotiguiba/Pindoba (SE)	56,9	Caldeirão (PI)	30,14	Baixo Açú (RN)	22,66
Curaça (BA)	165	Fidalgo (PI)	31,31	Cruzetas (RN)	21,65
Estreito (BA)	125	Lagoas do Piauí (PI)	52,51	Itans (RN)	12,60
Formoso A/H (BA)	116	Platô de Guadalupe (PI)	20,09	Pau dos Ferros (RN)	21,88
Piloto Formoso (BA)	11,8	Tabuleiros Litorâneos (PI)	14,89	Sabugi (RN)	8,76
Gorutuba (MG)	127	Araras Norte (CE)	31,70	Eng. Arcoverde (PB)	15,3
Jaíba (MG)	163	Ayres de Souza (CE)	64,65	Sumé (PB)	14,00
Lagoa Grande (MG)	24	Forquilha (CE)	26,89	São Gonçalo (PB)	104,71
Mandacaru (BA)	25	Curu-Paraipaba (CE)	18,07	Boa Vista (PE)	6,50
Maniçoba (BA)	156	Baixo Acaraú V (CE)	49,82	Cachoeira II (PE)	5,62
Mirorós (BA)	31	Curu-Pentecoste (CE)	169,00	Custódia (PE)	19,69
Itiúba (AL)	75,4	Ema (CE)	4,91	Moxotó (PE)	67,40
Propriá (SE)	41,4	Icó-Lima Campos (CE)	133,41	Brumado (BA)	14,60
S.Desidério/Barreiras Sul (BA)	104	Jaguaribe-Apodi (CE)	17,81	Jacurici (BA)	14,00
Sen.Nilo Coelho (PE)	158	Jaguaruana (CE)	8,81	Vaza Barris (BA)	12,00
Tourão (BA)	65				
TOTAL CODEVASF	1.486,1	TOTAL DNOCS		1.385,97	

tanques-redes/gaiolas ali instalados, o que vai depender, basicamente, das dimensões dos canais, da disponibilidade de recursos financeiros e ainda da gestão dos recursos hídricos.

No Egito, conforme citado por Zimmermann & Fitzsimmons (2004), canais de irrigação de grande porte têm significativo percentual de sua extensão utilizado para a tilapicultura. Em algumas áreas desse país existem grandes projetos de produção intensiva de tilápia com o objetivo de verificar o uso de efluentes aquícolas na irrigação de citros e banana.

Redding & Midlen (1990), expõem que as gaiolas e telados são considerados as formas mais adequadas de exploração piscícola em canais de irrigação, e que o principal entrave ao seu desenvolvimento é o fluxo de água; que, de preferência, deve ser constante durante todo o período de cultivo dos peixes.

Em experiências obtidas no Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), em Parnaíba, PI, constatou-se que telas de arame galvanizado revestido de zinco e PVC ou tela plástica de alta resistência para construir seções em um canal de irrigação que apresentava formato de trapézio, com dimensões especificadas na Figura 5.4A e modelos dispostos nas Figuras 5.4B e 5.4C, apresentaram excelente funcionalidade, durabilidade e relação custo-benefício. A experiência sugere que o formato de trapézio comum aos canais de irrigação aqui no Brasil, tal como, também, as dimensões (largura e altura) da rede de canais secundários e terciários, não são tão favoráveis ao uso de tanques-rede ou gaiolas para criar peixes nos canais de irrigação, particularmente se a fase de cultivo for a engorda.



Figura 5.4 Canal de irrigação do DITALPI/DNOCS, com formato trapezoidal (A), seccionado com tela para cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* (B) e pirarucu, *Arapaima gigas* (C) no momento da despesa. Seta indica tela das seções e cabeça de seta comedouro em forma de anel utilizado

A criação de peixes em canais de irrigação apresenta vantagens e riscos; entre as vantagens, podem ser citados: fluxo contínuo de altas quantidades de água; os peixes podem contribuir para limpeza dos canais; pode-se trabalhar com altas densidades de estocagem, quando comparada a cultivos em viveiros; a despesa é facilitada; o investimento inicial para implantar a aquicultura é menor, pois ela pode aproveitar toda a infraestrutura já existente nos distritos de irrigação; adequação aos

modelos de produção de agricultura familiar, com real possibilidade de melhoria da segurança alimentar, além de geração de postos de trabalho e renda nas comunidades rurais.

Como toda atividade, esta também é passível de riscos que aqui podem ser identificados como: possibilidade de contaminação da água por ação antrópica e por químicos utilizados no sistema agrícola, colocando em risco a integridade dos peixes; interrupção da irrigação no período de chuvas e alteração na qualidade da água; redução no nível da água no canal, sem aviso prévio; queda nas concentrações de oxigênio; perdas causadas por predadores e competidores; possibilidade de reprodução de peixes no canal; aumento da quantidade de resíduos na água, gerando a necessidade de mais lavagens dos filtros.

No entanto, os riscos não devem sobrepujar os aspectos positivos mas serem vistos como desafios perfeitamente transponíveis, de forma a potencializar a eficiência da água; nesse sentido é importante destacar dados da literatura, em que alguns se referem a esse tipo de integração. Começando com estudos feitos em canais de irrigação do DITALPI (Figura 5.4B), ficou constatado que machos de tilápia nilótica (*O. niloticus*), linhagem chitralada, quando estocada em densidades de 10, 20 e 30 peixes m^{-3} , alimentadas com rações extrusadas com 35 a 28% de proteína bruta (PB) e nas taxas de 5 a 3% do peso vivo dia^{-1} atingiram, em 116 dias de cultivo, peso médio de 564,35 a 693,73 g e comprimento total de 29,87 a 31,48 cm. O ganho em peso chegou a valores entre 3,93 a 5,52 g dia^{-1} , a produtividade entre 92,49 a 289,67 kg $16,2 m^{-3}$, as perdas (por morte ou fuga) entre 0,0 a 23,23% e a conversão alimentar entre 1,90 a 2,37 (Oliveira et al., 2007a); também foi observada pouca interferência dos peixes sobre a qualidade da água do canal (Lima et al., 2008).

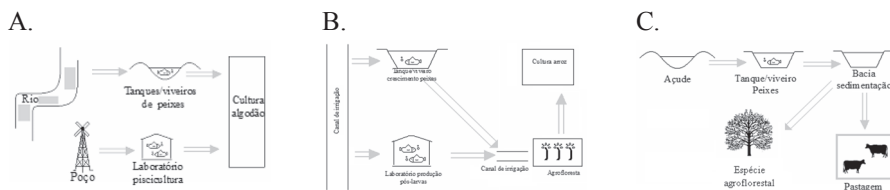
Para o pirarucu (*Arapaima gigas*), um peixe carnívoro e de respiração aérea da bacia Amazônica, quando estocado nos canais (Figura 5.4C) com peso médio inicial entre 142,03 a 231,89g e comprimento total de 28,35 a 33,79 cm, em densidades de 13, 8 e 4 peixes m^{-3} , alimentados com ração extrusada com 40% de PB, *ad libitum* ou 2,5% do peso vivo dia^{-1} , foi registrada após 189 dias de cultivo, sobrevivência de 100%, peso médio individual entre 4.738,97 a 5.420,81g e comprimento entre 83,43 a 86,64 cm. O ganho médio diário de peso por peixe ficou entre 24,83 a 28,07g, a produtividade entre 65,45 e 191,91 kg $3,2 m^{-3}$ e a conversão alimentar entre 1,65 e 2,07 (Oliveira et al., 2007b). A água também se manteve dentro da qualidade compatível com as exigidas pela espécie (Oliveira et al., 2009).

No Egito, Ishak (1982, 1986), relata produção de 40 kg m^{-3} para tilápia criada em canais de irrigação, havendo expectativa de se chegar a até 100 toneladas anuais a cada hectare de gaiolas colocadas em canais de irrigação.

5.7.1.2 Aquicultura em ambientes modulares e agricultura irrigada - escala familiar

A integração da aquicultura com a agricultura irrigada mediante a adoção de ambientes aquáticos modulares (Figura 5.5), os quais podem ser tanques ou viveiros

de tamanhos variados, apresenta as mesmas vantagens estabelecidas para a aquicultura em canais de irrigação, porém com riscos menores. Isto ocorre em razão das relações entre usuários serem menos conflitantes e complexas. Trazendo esta questão à luz do entendimento, basta dizer que a decisão pessoal de um empreendedor integrar a aquicultura com a agricultura irrigada, não interfere no sistema de produção dos demais usuários. Salvaguardadas as especificidades de cada comunidade, será de interesse coletivo apenas o volume de água que o agroaquicultor demandará; assim, recomenda-se que o empreendedor planeje uma produção de pescado compatível com a área agrícola a ser irrigada, de forma que toda a água que passa pelo cultivo aquícola seja aquela que ele demanda para a produção das culturas vegetais.



Fonte: Adaptado de Gooley & Gavine (2003)

Figura 5.5 Diagrama esquemático mostrando modelos de integração da aquicultura em ambientes modulares e com a agricultura, a cultura do algodão (A), espécies agrofloretais e arroz (B) e pastagem e espécies agrofloretais (passando antes por bacia de sedimentação) (C)

No Vietnã, conforme relatado por Luu (2003), a estimativa é que 85 a 90% das famílias da zona rural tenham uma horta e um curral e 30 a 35% detenham um tanque de peixes. Em muitos povoados 50 a 80% das famílias têm um sistema integrado agricultura-aquicultura completo. O autor mostra, ainda, que 30 a 60% dos recursos das famílias provem do sistema integrado e, em muitos casos, até 100%.

Thipathi & Sharma (2003), expõem que na Índia a integração de cultivos de frutas e hortaliças em taludes de tanques de criação de peixes que normalmente ficariam abandonados, apresenta vantagens, entre as quais podem ser citadas: renda extra proveniente da produção de frutas e hortaliças; utilização do lodo dos tanques, rico em nutrientes, como fertilizante para os cultivos, eliminando os custos de adubos orgânicos; uso da água fertilizada do tanque para irrigar as plantas e o uso dos resíduos de frutas e hortaliças como alimento para os peixes. Outro ponto positivo é que as plantas reforçam os taludes, evitando desmoronamento.

Outras formas de integração agricultura-aquicultura podem ser estabelecidas mediante a criação de peixes em reservatórios que armazenam água para irrigação. Segundo van der Mheen (1999), em muitos lugares na Zâmbia e Tanzânia, os agricultores utilizam lagoas abastecidas com água subterrânea para criar peixes e, posteriormente, usar essas águas para irrigação de pequenas áreas. De acordo com o autor, essa integração visa aumentar a produção global por meio da melhoria da

eficiência de uso da água, terra, mão-de-obra ou outros fatores de produção, bem como a diversificação da produção agrícola para venda e consumo doméstico.

Um modelo voltado para as condições de áreas irrigadas na região semiárida do Brasil, foi testado por Santos (2009); no modelo, a água de um reservatório utilizada para a rega convencional, foi ajustada para atender aos preceitos de uso múltiplo; neste modelo, primeiro a água do reservatório era bombeada para abastecer tanques de fibra de vidro (Figura 5.6A), estocados com tilápia do Nilo; em seguida, a água que escoava do fundo dos tanques, ou seja, os efluentes, desaguavam em um reservatório do tipo cisterna, com capacidade para 7.000 L (Figura 5.6B) e, deste, era bombeada para a fertirrigação de feijão vigna, *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Figura 5.6C).



Figura 5.6 Tanques modulares de fibra de vidro com cultivo de tilápia do Nilo (A), cisterna utilizada para captação de efluentes dos tanques (B) e cultura do feijão caupi irrigado com os efluentes (C) compondo, juntos, um sistema integrado aquicultura-agricultura irrigada em escala familiar

O sistema utilizado por Santos foi projetado para manter em funcionamento 24 tanques com volume de água de 3.000 L, coluna d'água com altura de 0,85 m e espelho d'água de 3,53 m², renovação de água de 200; 400; 600 e 800% do volume dia⁻¹, com fluxo contínuo de água mantido por meio de eletrobombas de 1,5 e 5,0 cv e tubulação de PVC (DN 50, 32 e 25). O suprimento de oxigênio foi completado por meio de aeração com soprador elétrico com potência de 3,0 cv e distribuição do ar comprimido por tubulação de PVC perfurada e disposta longitudinalmente no fundo de cada tanque. Com este sistema foi possível produzir 88 kg de peixe em cada tanque (no total 2.112 kg em 24,93 kg m⁻²), com taxa de renovação de água de 400%, em um período de 140 dias. Os efluentes gerados pelo sistema aquícola atenderam a uma demanda de rega de 8,75 ha implantados com feijão vigna, durante dois ciclos de cultivo; cada ciclo (de 60 dias) possibilitou a produção total de 20,7 toneladas de grãos verdes de feijão.

O estudo de Santos (2009), demonstra com clareza quanto de água pode ser economizada dentro de um sistema de compartilhamento simples; então, se a água fosse utilizada independentemente por um dos sistemas, se perderia a oportunidade de produzir mais de 2 t de proteína de origem animal de excelente qualidade, como é a do pescado, ou mais de 20 t de feijão verde, uma leguminosa que faz parte da dieta

básica da população brasileira. Além disso, oportunidades de geração de postos de trabalho, direta ou indiretamente envolvidos com a atividade, deixariam de surgir.

Do ponto de vista econômico, o retorno pode ser vislumbrado mediante o uso de uma mesma água para duas diferentes atividades de produção de alimento e a receita gerada com a venda do peixe e do feijão verde. O peixe, se comercializado a valores entre R\$ 3,0 a 5,0 kg⁻¹ e com um lucro de 22,57% (o lucro obtido para tilápia por Sabbag et al., 2007), poderá gerar uma receita bruta entre R\$ 6.336,00 a R\$ 10.560,00 e uma receita líquida entre R\$ 1.430,04 a R\$ 2.383,39, em um ciclo de 140 dias; neste mesmo período de tempo, poderia ser obtida com a venda do feijão na forma de grãos verdes, uma renda líquida variando de R\$ 28.000,00 a R\$ 36.000,00.

5.7.1.3 Aquicultura em ambientes modulares e agricultura irrigada - escala industrial

As estatísticas aquícolas não abordam diretamente o tipo de instalação em que o pescado é produzido, mas algumas evidências levam a crer que o maior quantitativo de pescado de origem aquícola vem de instalações com base terrestres, quais sejam: viveiros, tanques, e em menor escala, raceways. Só mais recentemente, com a liberação dos corpos d'água de reservatórios hídricos para a exploração aquícola, é que esses modelos, com base terrestre, começaram a diminuir o ritmo de crescimento dando lugar à exploração em tanques-rede.

Os cultivos aquícolas com base terrestre são utilizados para espécies continentais, quanto marinha; esta última, com a produção centrada na criação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, ao vivenciar os momentos áureos nas duas últimas décadas, se expandiu para áreas litorâneas e para interiores, com fazendas de 10 a mais de 2.000 ha de área (ABCC, 2002) e viveiros com dimensões entre 1,0 e 5,0 ha e profundidade entre 0,75 a >1,75 m (Nunes et al., 2005), constituindo-se em um próspero ramo do agronegócio brasileiro.

Em ambos os tipos de ambiente a atividade passou a demandar considerável volume de água doce, seja para abastecimento, para controlar o nível de salinidade ou na reposição das perdas, que são grandes, em virtude do imenso espelho d'água formado e pelos solos bastante permeáveis; ou, ainda, na renovação, visando manter a qualidade da água nos padrões aceitáveis a cada espécie.

Um aspecto bastante comum a essas fazendas de produção de camarão e de peixe em escala considerada industrial, é a adoção de monocultivo e o não aproveitamento dos efluentes para uma atividade produtiva. Essas práticas, conforme lembram Figueiredo et al. (2005), instigam a especulação sobre os aspectos ambientais inerentes às etapas de produção e, conseqüentemente, aos impactos provocados nos ecossistemas naturais. Os problemas de descarga de efluente no meio sem tratamento prévio se acentuam no momento da despesca final, quando ocorrem o revolvimento do fundo e a liberação de maior volume de água (Matos et al., 2000) ou mesmo durante despesca para estipulação da biomassa e outras atividades de manejo (Toledo et al., 2003).

Tomando como base a discussão ambiental além de outros temas que se interrelacionam e têm permeado as discussões no cenário mundial neste início de século, pode-se dizer que o aproveitamento dos grandes volumes de água descartado pela aquicultura e, por conseguinte, dos seus nutrientes amenizaria, em grande parte, os problemas de escassez de água e de suprimento de alimentos.

A riqueza em nutrientes, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados encontrados nos efluentes (Zaniboni-Filho et al., 1997; Smith et al., 1999; Garcia Marin, 2003; Pereira & Mercante, 2005; Hussar et al., 2005; Chaves & Silva, 2006) contribui para a obtenção de experiências exitosas com o aproveitamento de efluentes da aquicultura na irrigação de grandes culturas, como arroz (Lin; Yi, 2003), algodão (Olsen et al., 1993) e trigo (Al-Jaloud et al., 1993).

Conforme Al-Jaloud et al. (1993), uma redução de 50% no uso de nitrogênio na forma de uréia foi registrada para a cultura do trigo, quando irrigada com efluentes da tilapicultura contendo 40 mg L⁻¹ de nitrogênio. Olsen et al. (1993), também observaram, para a cultura do algodão, que o efluente de viveiro com tilápia forneceu 6,8 kg de N t⁻¹ de peixe.

De acordo com Miranda et al. (2007), o efluente da carnicultura de águas interiores utilizadas na irrigação de culturas como arroz e melão, proporcionou produções iguais ou até superiores àquelas obtidas com a água de rio. Os autores chamam a atenção para o fato de que o uso do efluente na irrigação deve ser acompanhado de monitoramento periódico da condutividade elétrica e da porcentagem de sódio trocável do solo, a fim de detectar sua possível salinização e, eventualmente, permitir aplicar as medidas preventivas ou corretivas necessárias.

5.7.1.4 Rizipiscicultura

A cultura do arroz, sobretudo o irrigado sob inundações, representa a base da dieta de metade da população global. Por outro lado, o modelo de produção convencional vem intensificando o uso de insumos industriais na agricultura, trazendo problemas como o aumento da erosão, baixa fertilidade dos solos, biodiversidade reduzida, estreitamento da base genética, poluição das águas e do solo e impactos nos componentes atmosféricos e climáticos (Prochnow, 2002). Em contraponto a este sistema surgem modelos de produção, como o denominado rizipiscicultura.

Na definição de Cotrim et al. (1999), a rizipiscicultura é um sistema de produção caracterizado pelo cultivo consorciado de arroz irrigado e criação de peixes, sem o uso de agrotóxicos, sem uso de adubo mineral solúvel e reduzido uso de máquinas (restam mecanizadas a semeadura e a colheita).

O caráter sustentável da rizipiscicultura é dado em razão de se tratar de um modelo com perfil voltado para a agricultura familiar, que elimina os riscos ambientais associados à aplicação de herbicida em áreas hidrologicamente sensíveis (Sousa, 2009). Este modo de produção tem forte apelo orgânico (Prochnow, 2002), podendo agregar valor tanto para o arroz quanto para os peixes.

Na Ásia, a rizipiscicultura é a atividade mais desenvolvida e com maior potencial para a integração, combinando o arroz irrigado e a aquicultura tecnificada; seu histórico é maior na Indonésia e na China, mas também tem impacto positivo em países como Bangladesh e Vietnã. A curta duração do cultivo e a relativa valorização dos peixes entram como importante recurso de sustentação dos rendimentos globais dos campos de arroz. O investimento suplementar necessário, em termos de mudanças físicas no campo de arroz, e seus usos da água, também são mais favoráveis às modernas técnicas de cultivo. Nesta região do continente a espécie aquícola de maior representatividade nos sistemas integrados é a carpa comum, apesar da tilápia do Nilo ter também demonstrado bom desempenho no Vietnã e em Bangladesh (Little & Muir, 2003).

Conforme Ali (2003), na Malásia peninsular existem aproximadamente 352.000 ha de arroz, dos quais 120.000 (34%) têm profundidade de água (15-16 cm) suficiente para o sistema de cultivo arroz-peixes. Segundo Ahmad (2003), na Malásia os sistemas integrados de cultivo (peixe e arroz) têm sido praticados desde a década de 1930. Ainda de acordo com o autor, apesar das pesquisas demonstrarem que esses sistemas são tecnicamente factíveis e economicamente viáveis, há de se considerar fatores socioeconômicos, como a preferência do consumidor e sua aceitação pelos agricultores sendo, em alguns casos, mais aceitável a integração entre plantas forrageiras e peixes.

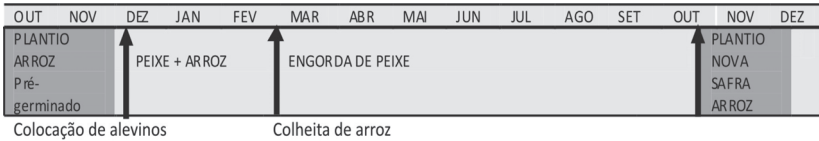
Na Indonésia a tradição do cultivo de peixes em arrozais é antiga e amplamente praticada nas áreas irrigadas de Java Ocidental. Os peixes produzidos nos arrozais são, principalmente, alevinos para repovoamento de sistemas de engorda em tanques-rede, tanques de cimento com água corrente e sistemas em canais de irrigação (De La Cruz, 2003).

No Brasil, a rizipiscicultura tem seus primeiros registros no Nordeste, no programa da CODEVASF e na Região Sul no programa “Próvarzeas” do Governo Federal, que objetivava a sistematização de várzeas e a consequente utilização pela cultura do arroz irrigado. A técnica de peixe + arroz foi testada no início da década de 80, no sul de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul, mas os resultados esbarraram em uma baixa produtividade do peixe, em razão do uso de espécies inadequadas (carpa comum e tilápia rendali e nilótica) e principalmente nas altas remunerações que o cultivo do arroz irrigado convencional propiciava (Cotrim et al., 1999).

Com a valorização de alimentos produzidos de forma sustentável, a rizipiscicultura começou a ser retomada e hoje pode ser encontrada em alguns empreendimentos brasileiros na região Sul e na região Nordeste.

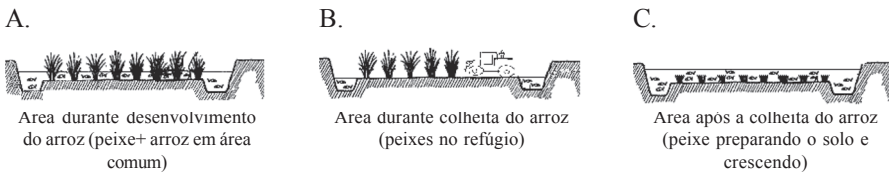
Uma das experiências com esse tipo de atividade é relatada por Cotrim et al. (2002), e se baseia no plantio de arroz pré-germinado e/ou mudas nas áreas preparadas para o cultivo de arroz e peixes. Os peixes são mantidos em regime de policultivo estabelecido com carpas (70% carpa húngara, *C. carpio* variedade húngara; 20% carpa capim, *C. idella*; 10% carpa prateada, *H. molitrix* e carpa cabeça grande, *A. nobilis*). O calendário proposto para a rizipiscicultura respeita o zoneamento

agroclimático da região (Figura 5.7). Desta forma, o arroz é plantado e 20 dias após o plantio os alevinos são estocados, em taxa de estocagem de 3.000 a 4.500 alevinos ha⁻¹. Durante o período de desenvolvimento do arroz os peixes permanecem na área cultivada (Figura 5.8A), mas são transferidos para refúgios por ocasião da colheita (Figura 5.8B). Posteriormente, o nível da água na área onde antes estava o arroz, é elevado, e os peixes retornam para a área, onde se podem beneficiar dos restos de cultura e contribuir com a preparação do solo para o próximo plantio (Figura 5.8C). Os peixes podem permanecer nesse ambiente até o início da nova safra de arroz.



Fonte: Cotrim et al., 2002

Figura 5.7. Calendário da rizipiscicultura estabelecido com base no zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de De La Cruz (2001)

Figura 5.8 Modelo esquemático de condução de um sistema de produção arroz-peixe – rizipiscicultura

A adoção do regime de policultivo para peixes cultivados na rizipiscicultura, como bem ressaltado por Golombieski et al. (2005), tem uma razão de ser e deve levar em consideração tanto o hábito alimentar quanto o comportamento; assim, um policultivo entre carpas é apropriado. A carpa húngara, por ser uma espécie onívora, alimenta-se de sementes, minhocas, insetos, pequenos moluscos, entre outros organismos e tem também o comportamento de revolver o solo à procura de alimentos, executando o próprio preparo; a carpa capim, por ser herbívora, contribui para o controle de macrófitas; a carpa cabeça grande e a carpa prateada, que são espécies filtradoras se alimentam de fitoplâncton e zooplâncton.

Peixes rústicos, que tolerem águas com pouca profundidade, resistam bem ao manejo e os que têm boa taxa de crescimento devem ser preferidos, em contraponto, as espécies mais exigentes em relação a manejo, qualidade da água e alimentação. Neste perfil, além das carpas estão incluídas tilapia do Nilo (Oliveira et al., 1988), jundiá, *Rhamdia quelen* (Marchezan et al., 2005), tambaqui, *Colossoma macropomum* e curimatá, *Prochilodus nigricans* (Sousa, 2009).

Referente ao aporte de nutrientes no sistema rizipiscicultura, Lin e Yi (2003) observaram que 32% das necessidades em nitrogênio e 24% das de fósforo total pela

cultura do arroz, são supridos mediante a reutilização de efluentes do cultivo de bagre híbrido; salienta, também, que a produção de arroz nesse sistema é comparável com a que recebe adubação inorgânica.

Como qualquer atividade, o produtor deve considerar os aspectos produtivos, econômico e os riscos de perda; quanto aos aspectos produtivos, Cotrim et al. (2002) salientam que na rizipiscicultura é possível obter produtividades de arroz similares às de lavouras de arroz no sistema pré-germinado (6.500 kg ha^{-1}) e 1.000 kg de peixe com peso individual de 600 a 800g , no período de 12 meses; além disto, há ganhos econômicos na redução de custos operacionais da lavoura (redução do uso de máquinas, eliminação do uso de agroquímicos e eliminação do uso de adubação mineral solúvel) e ganho nos valores de comercialização, devido à ausência de arroz vermelho, permitindo a venda como sementes, além da possibilidade de venda como “arroz orgânico”, aumentando ainda mais as vantagens econômicas.

Sobre o ciclo de cultivo dos peixes é importante avaliar se a rentabilidade do sistema é melhor quando o ciclo de produção do peixe se dá a partir da fase de alevino e vai atingir o tamanho próprio para o consumo ou somente até que os peixes atinjam a fase juvenil, ou alevinão, como alguns denominam; a este respeito De La Cruz (2001) é da opinião de que o sistema pode encontrar aplicação bem-sucedida onde há demanda suficiente para alevinos.

No tocante aos riscos, é importante salientar que se deve observar todos os cuidados inerentes a um cultivo de peixes, de forma que, como ressaltado por Cotrim et al. (2002), há necessidade do controle de predadores dos peixes; recomenda-se, então, que ao final de cada ciclo (outubro, após a despesca), seja feita a desinfecção do refúgio dos peixes com cal virgem. Durante o cultivo devem ser utilizadas barreiras físicas como filtros ou telas nas entradas e saídas de água e utilizar espantalhos para inibir a ação de predadores alados (garça, martim-pescador, bem-te-vi, biguá, entre outros pássaros). Sollows (2003), alerta para a possibilidade de morte de peixes, se forem empregados pesticidas.

5.7.1.5 Aquaponia

O termo aquaponia é empregado para designar um modelo de integração no qual a água de uma atividade aquícola é compartilhada com uma cultura vegetal, geralmente hortaliças folhosas, produzidas em sistema hidropônico, ou seja, sem uso de solo. A importância desse sistema de recirculação de água tem crescido à medida em que aumentam a escassez de água e as restrições para as descargas de efluentes da aquicultura, sem tratamento prévio.

Além das restrições de uso de água a disponibilidade de terra em algumas áreas também tem resultado em interesse pelos sistemas com reutilização de água e a conservação de energia. Na concepção dos sistemas de recirculação, as operações mais importantes a serem consideradas para a manutenção de um bom ambiente de cultivo de peixes, são: a remoção de sólidos, a remoção/conversão de amônia e a

aeração/oxigenação. Desperdícios sólidos, incluindo-se os alimentos não consumidos e os subprodutos do metabolismo dos peixes, têm que ser removidos o mais rapidamente possível (Twarowska et al., 1997; Halachmi et al., 2005) pois, como indicado por Beck et al. (2008), o cultivo hidropônico utiliza apenas os nutrientes dissolvidos na água residuária.

Na aquaponia a água entra no ambiente de cultivo dos organismos aquáticos, cumpre suas funções no sistema e, ao sair, na forma de efluente, leva consigo sólidos e nutrientes. Os sólidos (sobras de alimento e excrementos dos peixes) são removidos do efluente através dos processos de sedimentação ou filtração (Cortez et al., 2009), sendo os efluentes direcionados para o sistema hidropônico (Lage et al., 2008). As camas hidropônicas atuam como biofiltro, retirando compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo. Após este processo, a água pode retornar ao ambiente de criação dos organismos aquáticos. No processo de reciclagem de nutrientes as bactérias nitrificantes presentes no substrato e nas raízes das plantas são decisivas para garantir o bom funcionamento do sistema (Diver, 2006).

Zimmermann & Fitzsimmons (2004), comentando sobre o aproveitamento de efluentes da tilapicultura, afirmaram que os nutrientes dos efluentes estão prontamente disponíveis às plantas; relatam, também, que em virtude da maioria dos nutrientes estarem ligados a sólidos e a outras formas orgânicas mais complexas, é possível que os nitratos não lixiviem tão rapidamente como os fertilizantes químicos; Este fato talvez seja uma das razões dos melhores resultados para plantas provenientes da aquaponia (com tilápia), quando comparado com os da hidroponia (sem tilápia).

O sistema aquapônico se tem mostrado eficiente para várias plantas, dentre as quais estão alface, agrião, pimenta e morango, graças à capacidade de absorção de sais dissolvidos e ionizados por elas (Beck et al., 2008). No âmbito dos organismos aquáticos, os peixes são os mais empregados e, dentre esses, conforme Diver (2006), se destaca a tilápia. O autor lembra, também, que na América do Norte, além da tilápia, espécies como trutas (*Oncorhynchus* sp), salmão do ártico (*Artic char*) e bass (*Micropterus Salmoides*) são também adaptadas a sistemas de recirculação. Camarão de água doce, *Macrobrachium amazonicum* (Castellani, 2008) e peixes ornamentais (Silva, 2007), são outros exemplos de espécies passíveis de uso na aquaponia.

Espécies de peixes ornamentais e plantas hidrófilas podem ser empregados com sucesso em sistema de recirculação e, certamente, com menores riscos que os produtos destinados ao consumo humano; um exemplo desse sistema vem de um empreendimento comercial em Aquiraz, região metropolitana de Fortaleza, CE. Na fazenda, conforme descreve Silva (2007), cerca de 800 tanques de 300 a 6.000 L e mais de 100 aquários, distribuídos em uma área de 5.000 m², são conduzidos em sistema de recirculação de água. A água que abastece a fazenda vem de poços artesianos e do abastecimento público; a água que sai dos tanques de cultivo das cerca de 80 espécies de ciclídeos africanos, passa por filtro mecânico, filtro biológico e esterilização por radiação ultravioleta. No sistema, plantas hidrófilas ornamentais (elodea, *Egeria densa*; rabo de raposa, *Ceratophyllum demersum*; lírio da paz, *Spathiphyllum wallisi*;

e dracena vermelha, *Cordyline terminalis*), vêm sendo utilizadas como elemento biofiltrante; nesta fazenda a troca parcial de 5% do volume de água de cada tanque é feita apenas a cada 15 dias e a troca total só quando ocorre enfermidade.

Zimmermann & Fitzsimmons (2004), tratando sobre o sistema de recirculação de água e aquaponia, comentam que a grande desvantagem desses sistemas se liga aos elevados custos de produção, dado ao uso de ração. O consumo de eletricidade envolvido nos processos de circulação de água, também é grande; pode-se acrescentar, a isto, a necessidade de manter fluxo constante de água pelas instalações e, não raro também, o uso de aeração; há, ainda, riscos de surgimento de enfermidade se houver descuido na condução da atividade.

No obstante os riscos, são grandes as vantagens para o sistema aquapônico, de forma que, além de utilizar menos água para produzir a mesma quantidade de alimentos produzidos na agricultura convencional, orgânica e hidropônica, ele promove a redução no uso de químicos, graças à disponibilização de nutrientes pelos peixes e também porque o sistema adota frequentemente o uso de estufa, diminuindo as incidências de pragas e doenças e a necessidade de pesticidas; redução dos processo erosivos (Hebert & Hebert, 2008) e menor demanda por terras (Al-Hafedh et al., 2003).

Em geral, na aquaponia, a reposição diária de água é inferior a 10% do volume total (Twarowska et al., 1997; Halachmi et al., 2005), sendo esta direcionada basicamente para repor as perdas causadas por evaporação. A melhoria na eficiência do uso da água neste sistema é visível, indicando que ela pode ser uma alternativa para produzir pescado e vegetais em regiões que convivem com escassez de água e para reduzir os impactos ambientais causados por ambas as atividades.

5.7.2 Aquicultura com água de rejeito de dessalinizadores

A corrida por água tem aumentado a pressão sobre as águas subterrâneas, havendo estimativas de que, nas três últimas décadas, 300 milhões de poços foram perfurados no mundo. A destinação dessa água varia entre países e, nesses, de região para região, constituindo o abastecimento público, de modo geral, a maior demanda individual. A Europa, por exemplo, tem 75% de sua população atendidos com água do subsolo, percentual passível de atingir 90% em países como Suécia, Holanda e Bélgica. Avalia-se ainda que existam, no mundo, 270 milhões de hectares irrigados com água subterrânea, 13 milhões nos Estados Unidos e 31 milhões na Índia (SGB-CPRM, 2000).

A utilização de água desses poços para o enfrentamento da escassez hídrica se depara com uma grande limitação, que é o elevado teor de sais. A este respeito, o Serviço Geológico do Brasil-CPRM, relata que cerca de 50% dos poços perfurados apresentam salinidade elevada podendo, em alguns casos, chegar a até 35 % de salinidade (CPRM, 1997).

O uso de dessalinizadores tem despertado grande interesse como alternativa para tornar potável a água dos poços salinizados. Com a dessalinização é possível obter

50% de água potável sendo, por outro lado, eliminados 50% de água com alto teor de sal, causando graves problemas ambientais. Uma possibilidade de diminuir o impacto negativo da eliminação desses rejeitos é através do seu aproveitamento no cultivo de espécies aquícolas, como o camarão marinho, *Litopenaeus vannamei*, espécie eurihalina, que pode ser cultivada em águas com salinidade variando entre 1 e 40 ‰ (Bray et al., 1994) e tilápia nilótica, espécie de água doce mas que tem grande facilidade osmorregulatória e crescimento maximizado em águas com salinidade entre 10 a 12‰ (Kubitza, 2000), podendo ser criada em águas com salinidade próxima a 20‰ (Boyd, 1997).

Oliveira & Costa (2005), chamam a atenção para o fato de que, a despeito dos benefícios gerados pelo consórcio dessalinizador/aquicultura, a água residuária gerada durante os procedimentos de renovação diária da água dos cultivos aquícolas (reposição das perdas por infiltração e evaporação) e operações de despesca, ainda apresentam o problema da alta concentração de sais, adicionando-se, a este, o problema da carga orgânica (desperdício de ração, fezes e metabólitos tóxicos).

Para minimizar o impacto das descargas de efluentes da aquicultura e de forma especial durante a operação de despesca, uma saída apontada por Brown et al. (1999) é empregar essas águas residuárias no cultivo de plantas tolerantes a salinidade e que possam aproveitar os nutrientes liberados pelos animais. Essas plantas, chamadas halófitas, podem ser utilizadas para a produção de biomassa forrageira e produção de óleo (Miyamoto et al., 1996; Swingle et al., 1996).

Em se tratando de aproveitamento de águas residuárias, Brown et al. (1999) verificaram o potencial do uso de efluentes de tilápia híbrida (*Oreochromis spp.*) cultivada em salinidades de 0,5; 10 ou 35 ‰, na irrigação de plantas halófitas (*Suaeda esteroa*, *Salicornia bigelovii* e *Atriplex barclayana*). No estudo, o sistema solo-planta removeu, respectivamente, 98 e 94% do total de nitrogênio inorgânico contido nos efluentes; para o fósforo reativo solúvel, esses percentuais chegaram a 99 e 97%, respectivamente. Verificaram, ainda, que as plantas *Suaeda* e *Salicornia* apresentaram melhor desempenho em salinidades mais elevadas que a *Atriplex*.

Em um consórcio rejeito de dessalinizador, camarão marinho (*L. vannamei*) e erva sal (*Atriplex nummularia*), Carneiro et al. (2001), conseguiram produzir, respectivamente em 97 e 110 dias de cultivo, 75 e 106 kg de camarão em viveiros de 400m².

Um sistema de produção integrado com rejeito de dessalinizador, voltado para uma escala de produção familiar e envolvendo quatro subsistemas, vem sendo estudado. Os subsistemas são: obtenção de água dessalinizada para consumo humano; produção de tilápia (vermelha e tailandesa); produção de forragem irrigada, tendo como base a erva sal; engorda de caprino e/ou ovino com uso de erva sal. Esses sistemas se complementam em uma cadeia sustentável, de tal forma que um passa a ser parte do outro (Porto et al., 2004a). A experiência vem tendo grande aceitação e o modelo se vem difundindo no interior do Nordeste, por intermédio de unidades demonstrativas da Embrapa Semi-Árido (Rotta et al., 2008).

Acompanhando a cadeia produtiva do sistema peixe com rejeito de dessalinizador-erva sal-caprino, Porto et al. (2004b), observaram que: a tilápia estocada na densidade de 4 peixes m^{-3} , em viveiro de 330 m^3 , abastecido com rejeito de dessalinizador com salinidade de 7,28%, atingiu peso de 518,72 g em 153 dias de cultivo; o rendimento do feno da erva-sal foi de 14.900 kg de matéria seca por hectare e o ganho de peso de ovino/caprino, quando alimentados com 1,5 kg de feno da erva-sal, foi de 138 g dia^{-1} .

Amorim et al. (2006), utilizando rejeito de dessalinizadores no sistema peixe-erva sal-caprino, observaram que efluentes de viveiros de 330 m^2 revestidos de manta plástica, estocados com tilápia rosa (*Oreochromis* sp.), numa densidade de 4 peixes m^{-3} , com taxa de renovação de água de 0,72% $semana^{-1}$, forneceram 0,18 $mg L^{-1}$ de nitrogênio e 0,4 $mg L^{-1}$ de fósforo. Porto et al. (2001), irrigando erva-sal com rejeito de dessalinizador (75 L de rejeito $planta^{-1} semana^{-1}$), durante 48 semanas, obtiveram uma produtividade de 6.537,0 $kg ha^{-1}$ de matéria seca, com teor de 18,40% de proteína bruta nas folhas. Na alimentação de caprinos, conforme constatado por Souto et al. (2004), o feno da erva sal pode entrar com percentuais entre 38,30 a 83,72% de dietas contendo melancia forrageira (*Citrus lanatus* cv. citroides), raspa de mandioca (*Manihot esculentae*) e 5% de uréia. Em dietas contendo palma forrageira e uréia os percentuais de erva sal, de acordo com o estabelecido por Araújo et al. (2008), podem variar entre 35 a 65%.

5.7.3 Aeração mecânica

Segundo Arana (2004), ambientes de cultivo aquático possuem quatro fontes principais de oxigênio: fitoplâncton e plantas aquáticas (fotossíntese), oxigênio atmosférico (difusão), oxigênio da água adicionada (troca de água) e oxigênio a partir da aeração mecânica.

O suprimento de oxigênio dissolvido advindo dos processos naturais varia diuturnamente, em função de fatores intrínsecos e extrínsecos ao ambiente aquático. Na aquicultura essas variações podem fazer com que o ambiente fique supersaturado no horário de fotossíntese intensa ou subsaturado na sua ausência. Condições de subsaturação de oxigênio são registradas com maior frequência que o inverso e, não raro, são acompanhadas de estratificação gasosa e térmica na coluna d'água. Desta forma, próximo ao sedimento as condições se tornam mais extenuantes para os organismos cultivados.

Situações de déficits de oxigênio estão associadas frequentemente a elevadas densidades de estocagem, altas taxas de fornecimento de ração, acúmulo de matéria orgânica e ausência de fotossíntese; para evitar que situações como essas venham perdurar, o aquicultor pode optar por diminuir a população de organismos aquáticos no ambiente de cultivo, diminuir o fornecimento de ração, realizar trocas de água ou promover aeração.

Esta prescrição é corroborada por Ozório et al. (2004), ao dizerem que, quando a biomassa de organismos aquáticos é aumentada em um tanque, os mecanismos naturais

de suprimento de oxigênio (fotossíntese e trocas gasosas com o ar atmosférico) não são suficientes, tornando-se necessária a aeração artificial.

Dentro de um sistema que preconiza uso racional e conservação da água, o ideal é respeitar a capacidade de suporte do ambiente ou adotar a aeração pois, como lembra Avault (1998), para manter o nível de oxigênio elevado, grande quantidade de água pode ser requerida se a aeração mecânica não estiver disponível. Arana (2004), também compartilha este pensamento ao dizer que trocas de água pressupõem a disponibilidade de grandes volumes de água.

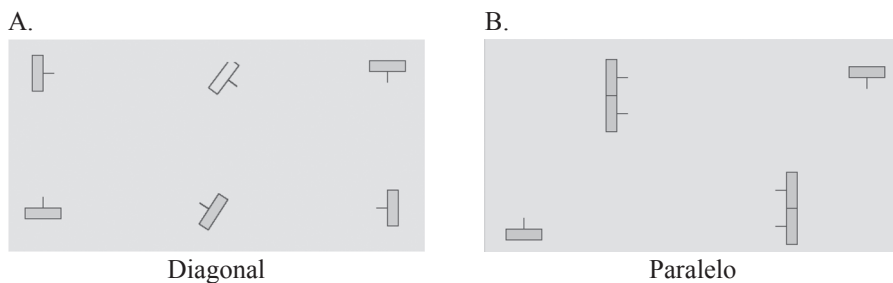
No processo de aeração o objetivo é expor, o máximo possível de água ao ar e, ao mesmo tempo, aumentar a circulação da água. Ao aumentar a área da superfície da água, a difusão de oxigênio da atmosfera para a água é reforçada (Avault, 1998). A aeração pode ser feita por meio da aplicação de oxigênio puro, por meios mecânicos. A primeira prática, por ser onerosa, fica mais restrita a larviculturas sofisticadas, em que são praticadas densidades elevadas (Arana, 2004); já a aeração mecânica pode ser através de dispositivos que expõem a água ao contato do ar atmosférico, e são de uso mais frequente em fazendas aquícolas.

A aeração mecânica pode ser feita por gravidade ou com o uso de equipamentos, denominados aeradores. Na aeração por gravidade a água entra na unidade de cultivo formando uma espécie de cascata e aumentando a interface ar-água; pode ser feita também em associação com outro tipo de aeração e, quando utilizada como recurso único, tem limitações, sendo mais apropriada para viveiros ou tanques de pequenas dimensões e quando o abastecimento de água é feito por gravidade.

Na aeração mecânica, feita por aeradores, são adotadas duas técnicas básicas para incorporar oxigênio à água; em uma, a água é espalhada no ar e, na outra, bolhas de ar são liberadas dentro da água. Assim, conforme especifica Boyd (2001), existem aeradores espalhadores (bombas verticais, bombas aspersoras e aeradores de pás) e borbulhadores (sistemas de ar difuso e bombas aspiradoras-propulsoras de ar). Considerando esta classificação, pode-se dizer que maior eficiência na incorporação de oxigênio na água vai ser obtida para os aeradores que conseguem melhor pulverizar a água acima da superfície e naqueles que injetarem borbulhas de tamanhos menores.

No mercado há uma variedade considerável de aeradores para uso aquícola, devendo o aquícultor optar pelo equipamento que melhor se adequa ao seu sistema. Nesta escolha, deve-se considerar a potência do motor, a Taxa Padrão de Transferência de Oxigênio (SOTR), expressa em kg de O_2 h^{-1} e a Eficiência Padrão do Aerador (SAE), expressa em kg de O_2 $kW-h^{-1}$ ou kg de O_2 $cv-h^{-1}$, informações que podem ser encontradas no manual do fabricante. Ressalta-se, aqui, que aeradores de mesma potência podem proporcionar diferentes SOTR e SAE, devendo a escolha recair sobre os que apresentem as maiores taxas. Em termos de potência, Kubitzka (1999), relata que um somatório de 5 a 10 HP tem sido usado com frequência em áreas de um hectare de viveiro. Nunes et al. (2005), recomendam que para viveiros de camarão marinho, se deve utilizar 1,0 cv ha^{-1} (1,97HP ha^{-1}), para cada 350 kg de camarão que exceder a biomassa de 2.000 kg ha^{-1} .

O posicionamento dos aeradores é outro aspecto a ser considerado, uma vez que contribui para melhorar a eficiência da aeração; assim, Bueno Neto (2003), encontrou que aeradores posicionados em diagonal (Figura 5.9A) contribuíram para um incremento maior de oxigênio e desaturação e circulação da água em viveiros de camarão (*L. vannamei*) que quando posicionados em paralelo (Figura 5.9B). Nunes et al. (2005) recomendam que em viveiros de camarão os aeradores devem ser posicionados afastados cerca de 10 m dos taludes dos viveiros e até 10 m um do outro. Kubtiza (1999), sugere que os aeradores sejam colocados em áreas não muito rasas e onde os níveis de oxigênio forem mais altos, pois nesses locais há maior aglomeração de peixes.



Fonte: Bueno Neto (2003)

Figura 5.9 Esquema mostrando disposições em paralelo (A) e em diagonal (B) de aeradores de 2HP, em viveiros de 250 m x 100 m utilizados no cultivo de camarão marinho

É boa alvitre lembrar que os aeradores são equipamentos cujo funcionamento depende de energia e a escolha da estratégia mais adequada de seu acionamento, pode ser determinante para o desempenho dos organismos cultivados e dos custos de produção. De acordo com Kubtiza (1999), o modo operacional dos aeradores pode seguir uma das seguintes estratégias: aeração de emergência - quando os aeradores são acionados 1 a 2 h antes do O_2 da água do ambiente de cultivo atingir 2 a 3 mg L^{-1} , mantendo-os ligados até 1 a 2 h após o nascer do sol; aeração suplementar - acionamento diário dos aeradores durante o período noturno, independente da projeção dos níveis críticos de oxigênio; aeração contínua - uso ininterrupto dos aeradores, durante todo o cultivo ou nas fases de manutenção de altas biomassas.

Kubitiza (1999), também cita resultados de estudos que comparam estratégias de aeração em viveiros com bague de canal. Assim, em viveiros com aeração de emergência onde foram utilizadas 641 h de aeração, obteve-se uma produção de 7.000 kg ha^{-1} , além da conversão alimentar de 1,6. Nos viveiros com aeração suplementar feita diariamente durante 6 h, foram utilizadas 1.372 h de aeração, a produção obtida foi de 6.700 kg ha^{-1} e conversão alimentar de 1,59. Conforme Boyd (2001), viveiros estocados com 10.000 bagres de canal, alimentados com nível máximo de 53 kg de ração dia^{-1} , produziram 3.660 kg de peixe ha^{-1} .

Zimmermann (1998), relata que em viveiros de camarão de água doce sem aeração, a capacidade de suporte é bastante limitada e a produtividade não deve ser superior a 750 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Quando houver troca de água ou aeração, maior será a capacidade de suporte desse viveiro, o que significa maior produtividade (1.000 a 5.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹). Nunes et al. (2005), recomendam utilizar aeração em viveiros de camarão marinho, em qualquer fase de cultivo, sempre que a biomassa for superior a 2.000 kg ha⁻¹, a temperatura estiver acima de 31 °C e o oxigênio dissolvido atingir concentração inferior a 3,0 mg L⁻¹.

Para encerrar, pode-se dizer que os aeradores, além de elevar os níveis de oxigênio dissolvido na água, contribuem com a oxidação da matéria orgânica, gás sulfídrico (H₂S), ferro e manganês; promovem a desestratificação física e química da água e a precipitação de fósforo e cálcio; previnem os “blooms” de algas; proporcionam o desenvolvimento de microorganismos aeróbicos, como o zooplâncton, alimento de peixes, e controlam os anaeróbicos, causadores de doenças. Com isso, a água se mantém em melhor qualidade sendo possível reduzir as demandas por água nova.

5.7.4 Biorremediação

Biorremediação é definido como o processo pelo qual os resíduos orgânicos são biologicamente degradados em condições controladas para um estado inócuo ou para níveis abaixo dos limites de concentração estabelecidas pelas autoridades regulamentadoras (Vidali, 2001).

A biorremediação, em termo geral sugerido para técnicas que visam melhorar a qualidade da água, fazendo uso de organismos vivos (Gatesoupe, 1999), sejam eles microorganismos como bactérias e fungos ou organismos superiores, como plantas (Vidali, 2001) e animais, como algumas espécies de organismos aquáticos.

A biorremediação envolve processos de mineralização da matéria orgânica em dióxido de carbono, maximizando a produtividade primária; a nitrificação e a desnitrificação que eliminam o excesso de nitrogênio em lagoas e mantêm uma comunidade diversificada e estável na lagoa, em que os patógenos são excluídos do sistema e espécies desejáveis se estabelecem (Anthony & Philip, 2006).

Organismos vivos mas principalmente microorganismos (bactérias e fungos), utilizados como biorremediadores, podem ser indígenas (do próprio local) ou isolados de outros lugares e levados ao local contaminado (Vidali, 2001). Antony & Philip (2006), listam uma série de bactérias gram positivas e gram negativas empregadas como biorremediadores na aquicultura e produtos comerciais destinados a aquicultura (Tabela 5.11).

As bactérias nitrificantes e redutoras de sulfato, *Bacillus* sp e *Pseudomonas*, são os biorremediadores comumente disponíveis no mercado, sendo que a predileção recai sobre os *Bacillus*, seguidos das bactérias *Aeromonas* e *Pseudomonas* (Antony & Philip, 2006). Rao (2008), também enfatiza que as bactérias dos gêneros *Nitrossomonas*, *Nitrobacter*, *Aerobacter* e *Cellulomonas*, além de enzimas são

Tabela 5.11 Biorremediadores utilizados na aquicultura com vistas à melhoria da qualidade da água e do ambiente de cultivo, como um todo

Identificação do biorremediador	Fonte	Usado em	Método de aplicação	Referências*
Bactéria gram-positiva <i>Bacillus</i> sp. 48	Snook comum	Centropomus undecimalis	Adição de água; Redução de salinidade	Kennedy et al. (1998)
<i>Bacillus</i> sp	Produto comercial	Peneideos	Água	Moriarty (1998)
<i>Bacillus</i> sp	Produto comercial	Bagre de canal	Espalhado na água do tanque	Queiroz & Boyd (1998)
Cultura mista, principalmente <i>Bacillus</i> sp	Produto comercial	Brachionus plicatilis	Misturado com água	Hirata et al. (1998)
Bactéria gram-negativa <i>Aeromonas media</i>	Desconhecido	Crassostrea gigas	Misturado com água	Gibson et al. (1998)
<i>Aeromonas</i> CA2	Desconhecido	Crassostrea gigas	Misturado com água	Douillet & Langdon (1994)
<i>Photorhodobacterium</i> sp	Desconhecido	Penaeus chinensis	Misturado com água	Xu-per communication (1997)
<i>Pseudomonas fluorescense</i>	Onchorhynchus mykiss	Onchorhynchus mykiss	Misturado com água	Spanggaard et al. (2001)
<i>Photorhodobacterium</i> sp	Desconhecido	Onchorhynchus mykiss	Misturado com água a 10 ⁵ ou com células a 10 ⁶ mL ⁻¹	Gram et al. (2001)
<i>Pseudomonas</i> sp.	Onchorhynchus mykiss	Onchorhynchus mykiss	Misturado na água	Spanggaard et al. (2001)
<i>Roseobacter</i> sp. BS 107	Desconhecido	Larva de Scallop	Misturado na água	Ruiz-Ponte et al. (1999)

* Apud Antony & Philip (2006)

empregadas como biorremediadores. Algas, macrófitas aquáticas, peixes e moluscos, são apontados, por Oliveira & Costa (2005), para cumprir a função de biorremediação.

Vidali (2001), relata que as técnicas de biorremediação para tratamento de resíduos são notadamente mais econômicas que os métodos tradicionais, como a incineração; ele lembra, porém, que alguns contaminantes, como os clorados orgânicos ou hidrocarbonetos aromáticos, são resistentes ao ataque microbiano quando elevados, o autor argumenta, ainda, que para a biorremediação ser eficaz, os microorganismos biorremediadores devem atacar enzimaticamente os poluentes e convertê-los em produtos inofensivos. Como a biorremediação só consegue ser eficaz quando as condições ambientais permitem o crescimento da atividade microbiana, muitas vezes

sua aplicação envolve a manipulação de parâmetros ambientais que venham permitir o crescimento microbiano e, com isto, uma taxa mais rápida de degradação.

Apesar de vários estudos já terem demonstrado os efeitos positivos da biorremediação à base de microorganismos, há ainda muitos aspectos a serem elucidados, o que leva a afirmar que é prudente que pesquisas continuem sendo realizadas até que a viabilidade do emprego desses preparados seja comprovada.

5.7.5 Boas práticas de manejo (BPM)

As boas práticas de manejo constituem um conjunto de medidas que, como ressaltam Boyd & Queiroz (2004), têm como base convenções nacionais e internacionais, entre as quais se citam: agenda 21, elaborada por ocasião da Eco 92, realizada no Rio de Janeiro; o código de conduta para pesca responsável, estabelecido pela FAO em 1995; os princípios de *Hazard Analysis at Critical Control Points* (HACCP) ou Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), como é conhecido no Brasil e o *International Standard For Environment Management Systems* (ISSO 14001). A expectativa é de que essas medidas, uma vez implementadas, possam contribuir para a redução dos impactos ambientais e sociais causados pela atividade, favorecer o bem-estar animal, a segurança alimentar e até mesmo a rastreabilidade em programas de certificação voluntária para instalações aquícolas, como o adotado pela *Global Aquaculture Alliance*.

Uma relação de boas práticas de manejo disponíveis em literaturas que tratam do tema (FAO, 1995; Rotta & Queiroz, 2003; Arana, 2004; Boyd & Queiroz, 2004; Nunes et al., 2005; Global Aquaculture Alliance, s.d.; UEM, 2006), com um viés voltado para a conservação da água, será apresentada a seguir.

5.7.5.1 BPM para conservação da água

- Parâmetros de qualidade da água (amônia, nitrito, nitrato, alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido, transparência, turbidez, temperatura, alcalinidade total, dureza total, etc.), devem ser averiguados rotineiramente na água de cultivo e naquela da fonte abastecedora e nos efluentes. Se houver problemas, ações corretivas apropriadas devem ser iniciadas;

- O fluxo de água deve ser regulado para atender às exigências de qualidade de água para as espécies cultivadas, e a vazão de água na entrada e na saída dos ambientes de cultivos, deve ser medida e registrada durante o ano, para determinar a quantidade de água usada anualmente;

- Durante o período chuvoso manter os viveiros/tanques com pelo menos 20 cm a menos da sua capacidade de estocagem de água, para possibilitar a captura de água da chuva;

- Evitar drenar os viveiros no momento da despesca mas se os viveiros precisarem ser drenados totalmente, manter 20 a 25% do volume final da água do viveiro, por 2 a 3 dias, para permitir a decantação dos sólidos suspensos; após este período, efetuar a drenagem, lentamente;

- Após esvaziar os viveiros, fechar as válvulas do sistema de drenagem e evitar deixar viveiros parcialmente ou completamente vazios durante o período chuvoso;

- Sistemas de aeração e circulação de água podem ser instalados para aumentar a capacidade de produção, reduzir ou prevenir a mortalidade e a estratificação. Os aeradores devem ficar afastados das paredes e em locais mais profundos, para evitar erosão;
- Aeração de emergência ou suplementar deve ser acionada sempre que os valores de oxigênio caírem abaixo de 3 mg L⁻¹;
- Controlar a erosão e o acesso do gado nas áreas de drenagem adjacentes aos viveiros;
- Evitar transferir e depositar sedimentos acumulados no fundo de viveiros, para fora deles;
- Construção de bacia de sedimentação para reduzir nutrientes de efluentes, deve ser considerada.

5.7.5.2 BPM para a construção dos ambientes de cultivo

- Solicitação de autorização e elaboração de projetos que atendam às exigências estabelecidas pelos setores competentes, deve preceder toda e qualquer construção;
- Os ambientes de cultivo (viveiros, tanques) não devem ser construídos em aterros, áreas inundáveis, pântanos salgados ou em outras áreas ecologicamente sensíveis;
- A construção dos ambientes de cultivo não deve alterar os fluxos naturais de água necessária para manter habitats circundantes;
- O solo ideal deve ser uma mistura de areia, silte e argila que resistam à erosão e infiltração. Forro de plástico ou de argila pode ser usado, para melhorar a impermeabilização.
- O fundo do ambiente de cultivo deve ter inclinação suave e um sistema de drenagem com válvulas hidráulicas adequadas e com proteção nas paredes deve ser instalado de forma a permitir a drenagem completa das unidades de produção;
- Cercas verdes são recomendadas em fazendas nas quais ventos fortes promovam a formação de ondas em viveiros, causando a erosão dos diques;
- Energia elétrica ou de uma outra fonte ambientalmente sustentável, deve estar disponível para operação de aeração e outras que se façam necessárias.

5.7.5.3 BPM para as espécies cultivadas e alimentação

- Os espécimes a serem cultivados devem ser obtidos em locais idôneos, livres de enfermidades;
- Os lotes adquiridos devem ser inspecionados, aclimatados com a água do novo sistema e passar por quarentena antes da introdução nas unidades de produção;
- Os espécimes devem ser transportados mediante restrição alimentar, densidades de lotação, temperatura e oxigênio compatível a cada espécie e idade ou tamanho;
- Em caso do surgimento de enfermidades, os animais enfermos devem ser isolados, peritos devem ser consultados e, quando da incidência de enfermidades virais, recorre-se à obrigatoriedade de comunicação às autoridades sanitárias;

- A alimentação deve ser adquirida de fabricante idôneo, observando-se o prazo de validade e se as recomendações nutricionais estão compatíveis com a espécie criada e a fase de vida;

- A alimentação deve ser armazenada em uma área fresca e à prova de umidade. Alimentos contaminados ou vencidos devem ser descartados em locais apropriados;

- Observar as taxas de alimentação padrão definidas para as espécies e fase de desenvolvimento, fazendo-se ajustes sempre que necessário e com base em biometrias realizadas periodicamente;

- Monitoramento de temperatura e oxigênio dissolvido na água devem preceder o fornecimento de alimento e sobras de ração devem ser retiradas dos ambientes de cultivo e descartadas em locais apropriados;

- Fazer registros diários da quantidade de animais alimentados, hora de alimentação e comportamento dos organismos cultivados e remover manualmente toda a ração não consumida que ficar acumulada nos cantos dos ambientes de cultivo;

5.7.5.4 BPM para uso de terapêuticos e outros produtos químicos

- Armazenar os produtos terapêuticos e químicos de forma adequada, visando a prevenir vazamentos acidentais que possam atingir e impactar o meio ambiente;

- Obter diagnóstico e recomendações para tratamento das doenças antes de aplicar qualquer tipo de agente terapêutico e seguir rigorosamente a prescrição, observando dose, forma de aplicação, procedimentos de segurança, etc.;

- O uso de agrotóxicos deve ser evitado na área da bacia e, se for necessário, utilizá-los, as normas regulamentares e os rótulos dos produtos devem ser seguidos à risca;

- Utilizar fertilizantes apenas quando for necessário promover “blooms” de fitoplâncton, tomando o cuidado de acompanhar a transparência da água;

- Armazenar fertilizantes e terapêuticos em local coberto e seco, evitando que sejam carregados para as correntes de água superficiais localizadas nas proximidades;

- Na aplicação de todo e qualquer químico utilizado no controle da qualidade da água deve-se levar em consideração as variáveis físicas e químicas alteradas mediante a presença do composto utilizado.

5.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Organismos internacionais alertam para a escassez de água, ao mesmo tempo em que estabelecem, como prioritária, a produção de alimentos. Ante tal cenário, torna-se imperativa a adoção de estratégias que maximizem o retorno econômico, social e ambiental da alocação de todas as fontes de água (águas subterrâneas, superficiais e de chuvas). Neste sentido, a aquicultura, que vem apresentando contínuo crescimento e sendo uma das grandes usuárias de água, deve primar por modelos de produção alicerçados no desenvolvimento sustentável. Assim, é imperativo que métodos ineficientes de uso da água sejam substituídos por outros que proporcionem redução das demandas por águas novas, e que também venham a mitigar os impactos causados com as descargas de águas servidas no meio ambiente. A adoção de sistemas

integrados de produção, o uso de aeração, a biorremediação e a adoção de boas práticas de manejo, são algumas das estratégias que podem contribuir, de forma decisiva, para a racionalização e conservação de água nos sistemas aquaculturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCC - Associação Brasileira de Criadores de Camarão. Agronegócio do camarão marinho cultivado. Recife: ABCC, 2002, 14p.
- ABRAPOA - Associação Brasileira de Patologistas de Organismos Aquáticos. Ranicultura. Boletim Eletrônico, n.13, 2006.
- Aguiar, M. de J. N.; Viana, T. V. de A.; Aguiar, J. V. de; Crisóstomo Junior, R. R.; Aquino, F. C. de; Barreto Junior, J. H. C. Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2003. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 19p.
- Ahmad, R. S. H. Práctica de integración forraje-peces en Malásia. In: FAO/ICLARM/IIRR (ed.). Agro-acuicultura integrada: Manual básico. Roma: FAO, 2003. p.33-37.
- Al-Hafedh, Y. S.; Alam, A.; Alam, M. A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering, v.29, n.3-4, p.139-154, 2003.
- Ali, A. Sistema de piscicultura em arrozais con bajos niveles de insumos en Malásia. In: FAO/ICLARM/IIRR (ed.). Agro-acuicultura integrada: Manual básico. Roma: FAO, 2003. p.65-70.
- Al-Jaloud, A.; Hussain, G.; Alsadon, A.; Siddiqui, A. Q.; Al-Najada, A. Use of aquaculture effluent as a supplemental source of nitrogen fertilizer to wheat crop. Arid Soil Research and Rehabilitation, v.7, p.233-241. 1993.
- Antony, S. P; Philip, R. Bioremediation in shrimp culture systems. NAGA, WorldFish Center Quarterly, v.29, n.3-4, p.62-66, 2006.
- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Matos, A. N. B.; Paulino, R. V.; Silva Junior, L. G. A. Reuso de efluentes da dessalinização no semiárido como meio piscícola: Aspectos limnológicos de viveiros de tilápia rosa (*Oreochromis* sp). In: Simpósio Nordestino de Saneamento Ambiental, 1, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES. 2006. p.1-4.
- Arana, L. V. Princípios químicos de qualidade da água na aquicultura: uma revisão para peixes e camarões. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004. 231p.
- Araújo, G. G. L. de; Chagas, E. C. de O.; Alves, M. J.; Porto, E. R.; Tosto, M. S. L.; Silva, A. E. V. N.; Alves, J. N. Consumo de nutrientes em dietas com diferentes proporções do feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) para ovinos. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 45, Lavras. Anais... Lavras: SBZ, 2008. 3p.
- Avault, J. W. Fundamentals of aquaculture: a step-by-step guide to commercial aquaculture. Baton Rouge: Publishing Company, 1998. 889p.
- Beck, P. M.; Valduga, E. R.; Araujo, A. F.; Aikishino, R.; Oliveira, J. L. B. Aproveitamento do efluente de piscicultura de água doce para a produção de plantas em sistema aquapônico. In: AquaCiência 2008, 2008, Maringá. Resumos... Maringá: AQUABIO, 2008. CD Rom.

- Boyd, C. Manejo do solo e da qualidade da água em viveiros para aquicultura. (Tradução: Eduardo Ono). Campinas: ASA (Associação Americana de Soja), 1997. 55p.
- Boyd, C. E. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1990. 482 p.
- Boyd, C. E. Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho. Recife: ABCC, 2001. 157p.
- Boyd, C. E.; Queiroz, J. F. de. Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. In: Cyrino, J. E. P.; Urbinati E. C.; Fracalossi, D. M.; Castagnolli, N. (ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, 2004. p.25-44.
- Bray, W. A.; Lawrence, A. L.; Leung-Trujillo, J. R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV virus and salinity. *Aquaculture*, v.122, p.133-146, 1994.
- Brown, J. J.; Glenn, E. P.; Fitzsimmons, K. M.; Smith, S. E. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, v.175, p.255-268, 1999.
- Bueno Netto, J. D. Avaliação da distribuição vertical e horizontal do oxigênio dissolvido proporcionada por duas disposições de aeradores de pás rotativas em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei*. Florianópolis: UFSC, 2003. 35p. Dissertação Mestrado
- Carneiro, M. do C.; Tomyioshi, C. M.; Lourenço, C. E. L.; Melo Júnior, H. N.; Guedes Filho, R. Resultados preliminares do cultivo de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) em rejeito de dessalinizador: Estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semiárido, 3, 2001, Petrolina. Anais... Petrolina: ABCMAC, 2001 5p.
- Castellani, D. Sistema integrado do berçário secundário do camarão-da-amazônia *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) com cultivo hidropônico de hortaliças. JaboticabaL: CAUNESP/UNESP, 2008. 122p. Tese Doutorado
- Chaves, S. W. P.; Silva, I. J. O. da. Integração da piscicultura com a agricultura irrigada. Thesis, São Paulo, ano 3, v. 6, p.9-17, 2006.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.
- Connor, R.; Faurès, J. M.; Kyulentierna, J.; Morgat, J.; Steduto, P.; Vallée, D.; Hoek, W. v. d. Evolution of water use. In: UN-Water - The United Nations World Water Development (ed.). Water in a changing world. Paris: UNESCO, 2009. cap.7, p.96-126.
- Cortez, G. E. P.; Araújo, J. A. C. de; Bellingieri, P. A.; Dalri, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.413-417, 2009.
- Cotrim, D. S.; Sacknies, R. G. S.; Valente, L. A. L.; Rojahn, P. R.; Oliveira, R. G.; Severo, J. C. P.; Rojahn, L. A.; Leal, D. R.; Lara, V. H. Agricultura sustentável: rizipiscicultura: Manual prático. Porto Alegre: EMATER, 1999. 26p.

- Cotrim, D. S.; Valente, L. A. L.; Rojahn, P. R.; Sacknies, R. G. S.; Oliveira, R. G.; Severo, J. C. P.; Rojahn, L. A.; Leal, D. R.; Lara, V. H. Relato de experiência rizipiscicultura: Um sistema agroecológico de produção. In: Congresso da Cadeia Produtiva do Arroz, Reunião Nacional de Pesquisa do Arroz, 7, 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis: RENAPA, 2002. p.690-693.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Salinização das águas subterrâneas em uma área do cristalino - Tauá, Ceará. São Paulo: ABRH, v.3, p.475-482, 1997.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Programa de água subterrânea para o semi-árido brasileiro: Diretrizes programáticas 2000 a 2003. Brasília: MME/CPRM/DHGT, 2000. 36p.
- Daker, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v.3, 1984. 543p.
- De la Cruz, C. Sawah tambak rice-fish system in Indonesia. In: FAO/IIRR/WorldFish Center. Integrated agriculture-aquaculture, Rome: FAO, 2001. FAO Fisheries Technical Paper, n.407
- De la Cruz, C. Sistemas de piscicultura em arrozales en Indonésia. In: FAO/ICLARM/IIRR. Agro-acuicultura integrada: Manual básico, Roma: FAO, 2003. p.71-73. FAO Documento Técnico Pesca, n.407
- Diver, S. Aquaponics: Integration of hydroponics with aquaculture. Fayetteville: ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, 2006. 28 p.
- Figueiredo, M. C. B.; Araújo, L. F. P.; Gomes, R. B.; Rosa, M. F.; Paulino, W. D.; Morais, L. F. S. Impactos ambientais do lançamento de efluentes da carcinicultura em águas interiores. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.2, p.167-174, 2005.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture 2004. Rome: FAO Fisheries Department, 2004. 155p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water at a glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome: FAO Water Development and Management Unit, 2007. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>. Acesso em 06 mai. 2009.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Glimpse of global aquaculture production from the FAO Fishery and Aquaculture Database. FAO Aquaculture Newsletter, n.40, p.42-43, 2008a.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Fishery and Aquaculture Yearbook 2006. Rome: FAO, 2008b, 81p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO yearbook: Fishery and Aquaculture Statistics 2007. Rome: FAO-FIES, 2009a. 72p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture 2008. Rome: FAO Fisheries Department, 2009b. 218p.
- GAA - Global Aquaculture Alliance. Best Aquaculture Practices Program. s.d. <http://www.gaalliance.org/bap/>
- García Marín, E. Evaluación de métodos de producción comercial de tilapia, en Tamaulipas, México. Tamaulipas, México: Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2003. 85p. Tesis de Maestro

- Gatesoupe, F. J. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, v.180, p.147-165, 1999.
- Golombieski, J. I.; Marchezan, E.; Monti, M. B.; Storck, L.; Camargo, E. R.; Santos, F. M. Qualidade da água no consórcio de peixes com arroz irrigado. *Ciência Rural*, v.35, n.6, p.1236-1268, 2005.
- Gomiero, T.; Giampietro, M.; Bukkens, S. G. F. Paoletti, M. G. Biodiversity use and technical performance of freshwater fish aquaculture in different socioeconomic contexts: China and Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.62, p169-185, 1997.
- Gooley, G. J. R&D Plan for integrated agri-aquaculture systems 1999-2004. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, 2000. 29p. RIRDC Publication No 99/153
- Gooley, G. J.; Gavine, F. M. Integrated agri-aquaculture in Australia: virtual industry or commercial reality? In: Warburton, K.; Pillai-McGarry, U.; Ramage, D. (ed.) *Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. Proceedings...* Queensland: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p.75-85.
- Gooley, G. J.; Gavine, F. M. *Integrated agri-aquaculture systems a resource handbook for Australian industry development: A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Queensland: RIRDC Publication, 2003.183p.*
- Halachmi, I.; Simon, Y.; Guetta, R.; Hallerman, E. M. A novel computer simulation model for design and management of re-circulating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, v. 32, p.443-464, 2005.
- Haylor, G.; Bhutta, M. S. The role of aquaculture in the sustainable development of irrigated farming systems in Punjab, Pakistan. *Aquaculture Research*, v.28, p.691-705, 1997.
- Herbert, S.; Herbert, M. *Aquaponics in Australia: the integration of aquaculture and hydroponics. Mudgee: Aquaponics Pty Ltd, 2008, 141p.*
- Huss, H. H. Assurance of seafood quality. Rome: FAO, 1994. Disponível em: < <http://www.fao.org/DOCREP/003/T1768E/T1768E00.HTM#TOC>>. 03 Jan. 2010.
- Hussar, G. J.; Paradela, A. L.; Jonas, C. J.; Gomes, J. P. R. Tratamento da água de escoamento de tanque de piscicultura através de leitos cultivados de vazão subsuperficial: análise da qualidade física e química. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v.2, n.1, p.46-59, 2005.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Projeção da população do Brasil por sexo e idade 1980-2050. Revisão 2008. Estudos e Pesquisas Informação Demográfica e Socioeconômica*, n.24, 2008. 93p. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2008/projecao.pdf>. 08 Jan. 2010.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativa da população do Brasil: Popclock. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. 8 Jan. 2010.*

- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2000 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2000. 12p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2001 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2003. 97p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2002 - Brasil grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2004a. 97p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2003 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2004b. 98p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2004 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2005. 98p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2005 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2007a. 108p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2007 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2007b. 113p.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2006 Brasil: Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2008. 174p.
- Ishak, M. M. Aquaculture Egypt: Development of fish farming in Egypt, Report No. 1 (phase I), Cairo: Institute of Oceanography and Fisheries and the International Development Research Centers, 1982.
- Ishak, M. M. Development of farming in Egypt (cage and pen culture), Report No.4 (phase II). Cairo: Institute of Oceanography and Fisheries and the International Development Research Centers, 1986. 101p.
- Kubitza, F. Qualidade da água na produção de peixes. 3. ed. rev. Jundiaí: Fernando Kubitza, 1999. 97p.
- Kubitza, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí: Fernando Kubitza, 2000. 285p.
- Kubitza, F. Qualidade da água: no cultivo de peixes e camarões. Jundiaí: Fernando Kubitza, 2003. 229p.
- Kumar, M. S. Integrated farming for sustainable primary industry: water and nutrient recycling through integrated aquaculture. In: Warburton, K.; Pillai-McGarry, U.; Ramage, D. (ed.). Integrated biosystems for sustainable development/ InFoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management. Proceedings... Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. p.54-67.

- Lage, L. P. A.; Araújo, G. S.; Queiroz R. V. de; Farias, W. R. L. Cultivo integrado da tilápia do Nilo e da alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico. In: AquaCiência 2008, 2008, Maringá. Anais... Maringá: AQUABIO, 2008. CD Rom.
- Lima, C. B.; Oliveira, E. G.; Araújo Filho, J. M.; Santos, F. J. S.; Pereira, W. E. Qualidade da água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) Revista Ciência Agronômica, v.39, n.4, p.531-539, 2008.
- Lima, S. L.; Agostinho, C. A. A criação de rãs. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 187p.
- Lin, C. K.; Yi, Y. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. Aquaculture, v.226, p.57-68, 2003.
- Little, D.; Muir, J. Integrated agri-aquaculture systems: The Asian experience. In: Gooley, G. J.; Gavine, F. M. (ed.). Integrated agri-aquaculture systems: a resource handbook. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p.24-36.
- Luu, L. T. El sistema VAC en Viet Nam del Norte. In: FAO/ICLARM/IIRR (eds.). Agro-aquicultura integrada: Manual básico. RomE: FAO. 2003. p.29-32.
- Marchezan, E.; Teló, G. M.; Golombieski, J. I.; Lopes, S. J. Produção integrada de arroz irrigado e peixes. Ciência Rural, v.36, n.2, p. 411- 417. 2005.
- Matos, A. C.; Boll, M. G.; Testolin, G. Qualidade da água de cultivo de peixes e a legislação. In: Simpósio Brasileiro de Aqüicultura, 11, 2000. Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRAq, 2000. CD - ROM.
- Miranda, F. R. de; Tavares, R. de C.; Lima, R. N. de; Crisóstomo, L. A. Uso de efluentes da carcinicultura de águas interiores na irrigação de arroz e melão. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 23p.
- Miyamoto, S.; Glenn, E. P.; Olsen, M. W. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. Journal of Arid Environments, v.32, n.2, p.141-159, 1996.
- Nunes, A. J. P., Gesteira, T. C. V., Oliveira, G. G., Lima, R. C.; Miranda, P. T. C.; Madrid, R. M. Princípios para boas práticas de manejo na engorda de camarão marinho no Estado do Ceará. Fortaleza: LABOMAR/SEMACE, 2005. 123p.
- Oliveira, E. G.; Costa, F. H. F. Uso de águas residuárias na aqüicultura. In: Workshop Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior - Realidades e Perspectivas, 2005, Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFCG/UEPB, 2005. p.219-231.
- Oliveira, E. G.; Lima, C. B.; Santos, F. J. S.; Araújo Filho, J. M.; Costa, M. C. Desempenho de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) linhagem chitralada tailandesa, em canais de irrigação do Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí - Parnaíba/PI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, 15, Manaus. Resumos... Manaus: AEP, 2007a. p.127-128.
- Oliveira, E. G.; Oliveira, V. Q.; Santos, F. J. S.; Aguiar, N. C.; Costa Junior, A. C. Cultivo de pirarucu (*Arapaima gigas*) em canais de irrigação do Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí - Parnaíba/PI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, 15, Manaus. Resumos... Manaus: AEP, 2007b. p.118 -119.
- Oliveira, E. G.; Santos, F. J. de S. Piscicultura em canais de irrigação. In: Seminário Nordeste de Pecuária - Pecnordeste 2008, 12. Fortaleza. Anais... Fortaleza: FAEC, 2008. p.77-85.

- Oliveira, E. G.; Santos, F. J. S.; Oliveira, V. Q. Qualidade da água de canais de irrigação com cultivo de pirarucu (*Arapaima gigas*) em diferentes densidades. In: Seção Inovações Tecnológicas Aquicultura e Pesca do Pecuário Nordeste 2009. Resumos... Fortaleza: FAEC, 2009. Disponível em <http://www.pecnordeste.com.br/aquicultura.php>. acesso em 02/02/2010.
- Oliveira, M. A.; Saraiva, M. C.; Araripe, M. A.; Araripe, M. A. E.; Saunders, L. C. U. Produção de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, tambaqui, *Colossoma macropomum*, e marreco de pequim, *Anas platyrhynchos*, em arroz irrigado em solo salino-sódico da fazenda experimental da UFC, no vale do rio Curu-Ceará, Brasil. *Ciência Agrônômica*, v.19, n.2, p.53-58, 1988.
- Olsen, M. W.; Fitzsimmons, K. M.; Moore, D. W. Surface irrigation of cotton using aquaculture effluent. In: Wang, J. K. (ed.). *Techniques for modern aquaculture*. St. Joseph: American Society of Publication, 1993. p.159-165.
- Ozorio, R. O. de A.; Avnimelech, Y.; Castagnolli, N. Sistemas intensivos fechados de produção de peixes. In: Cyrino, J. E. P.; Urbinati E. C.; Fracalossi, D. M.; Castagnolli, N. (ed.). *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. São Paulo: TecArt, 2004. p.7-24.
- Pereira, L. P. F.; Mercante, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: Uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, v.31, n.1, p.81-88, 2005.
- Phillips, M. J.; Beveridge, M. C. M.; Clark, R. M. Impact of Aquaculture on Water Resources. In: Brune, D. E.; Tomasso, J. R. (ed.). *Aquaculture and water quality*. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 1991. p.568-591.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Paulino, R. V.; Matos, A. N. B. Sistema de produção usando o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, 2004, Cuiabá. *Anais... Cuiabá: ABAS*, 2004b. 8p.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, G. de A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.111-114, 2001.
- Porto, E. R.; Araújo, O. de; Araújo, G. G. L. de; Amorim, M. C. C. de; Paulino, R. V.; Matos, A. N. B. Sistema de produção integrado usando efluentes da dessalinização. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004a. 22p.
- Prochnow, R. Alternativas tecnológicas para produção integrada de arroz orgânico. Santa Catarina: UFSC, 2002. 177p. Dissertação Mestrado
- Rana, K. J. Supplement on aquaculture: Guidelines on the collection of structural aquaculture statistics. Rome: FAO, 1997. 56p.
- Rao, V. Bioremediation: An advanced strategy to restore the health of aquaculture pond ecosystems, 2008. Disponível em: http://en.engormix.com/MA-aquaculture/health/articles/bioremediation-advanced-strategy-restore_1194.htm. Acesso em 10 de Jan. 2009.
- Redding, T. A.; Midlen, A. B. Fish production in irrigation canals: A review, Rome: FAO, 1990. 111p. Fisheries Technical Paper. No 317

- Rotta, M. A.; Campeche, D. F. B.; Porto, E. R.; Paulino, R. V. Criação de tilápia em água salobra no semi-árido brasileiro: Avaliação econômica da unidade demonstrativa de São José do Seridó-RN. In: AquaCiência 2008, 2008, Maringá. Resumos... Maringá: Aquabio, 2008. CD Rom.
- Rotta, M. A.; Queiroz, J. F. Boas práticas de manejo (BPMS) para a produção de peixes em tanques-redes. Corumbá: Embrapa, 2003, 27p.
- Sabbag, O. J.; Rozales, R. dos R.; Tarsitana, M. A. A.; Silveira, A. N. Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira/SP. Custos e @gronegócio on line, Recife, v.3, n.2, p.86-100, 2007.
- Santos, F. J. de S. Cultivo de tilápia e uso de seu efluente na fertirrigação de feijão vigna. Campina Grande: UFCG, 2009. 153p. Tese de Doutorado.
- Smith, V. H.; Tilman, G. D.; Nekola, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, v.100, p.176-196, 1999.
- Silva, I. O. N. Sistema super intensivo de criação de peixes ornamentais. Fortaleza: UFC, 2007. 36p. Trabalho Supervisionado.
- Silva, P. C.; Kronka, S. N.; Tavares, L. H. S.; Silva Júnior, R. P.; Souza, V. L. Avaliação econômica da produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema “raceway”. Acta Scientiarum Animal Sciences, v.25, n.1, p.9-13, 2003.
- Sousa, A. Avaliação ecológica da rizipiscicultura, no município de Arari, Maranhão. Revista Brasileira de Agroecologia, v.4, n.2, p.427-430, 2009.
- Sollows, J. Ventajas e inconvenientes del sistema arroz-peces. In: FAO/ICLARM/IIRR. Agro-aquicultura integrada: Manual básico. Roma: FAO, 2003. p.115-117.
- Souto, J. C. R.; Araújo, G. G. L. de; Moreira, J. N.; Moreira, J. N.; Silva, D. S.; Costa, R. G.; Porto, E. R. Consumo e digestibilidade aparente de nutrientes em dietas para ovinos, com diferentes níveis de feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.). Revista Ciência Agronômica, v.35, n.1, p.116-122, 2004.
- Swingle, R. S.; Glenn, E. P.; Squires, V. R. Growth performance of lambs fed mixed diets containing halophyte ingredients. Animal Feed Science Technology, v.63, p.137-148, 1996.
- Tabata, Y. A.; Portz, L. Truticultura em clima tropical. In: Cyrino, J. E. P.; Urbinati E. C.; Fracalossi, D. M.; Castagnolli, N. (ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, 2004. p.309-341
- Tacon, A. G. J. Shrimp farming and environment: thematic review of feeds and feed management practices in shrimp aquaculture. Washington: World Bank/NACA/WWF/FAO/SPSFE, 2002. 69p.
- Tacon, A. J. Aquaculture production trends analysis. In.: FAO inland water resources and aquaculture service. Review of the state of world aquaculture, p.1-29, 2003. FAO Fisheries Circular, Rome, n.886
- Thipathi, S. D.; Sharma, B. K. Cultivo integrado peces-hortaliza en Índia. In: FAO/ICLARM/IIRR (eds.). Agro-aquicultura integrada: Manual básico. Rome: FAO, 2003. p.38-40.

- Tiago, G. G. *Aquicultura, meio ambiente e legislação*. São Paulo: Annablume, 2002. 162 p.
- Tiago, G. G.; Giancesella, S.M.F. Uso da água pela aqüicultura: Estratégias e ferramentas de implementação de gestão. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.29, n.1, p.1-7, 2003.
- Toledo, J. J.; Castro, J. G. D.; Santos, K. F.; Farias, R. A.; Hacon, S.; Smermann, W. Avaliação do impacto ambiental causado por efluentes de viveiros da estação de piscicultura de Alta Floresta - Mato Grosso. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, v.2, n.1, p.13-31, 2003.
- Twarowska, J. G.; Westerman, P. W.; Losordo, T. M. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural Engineering*, v.16, p.133-147, 1997.
- UN-Water - The United Nations World Water. Coping with water scarcity: A strategic issue and priority for system-wide action. In: UN-Water (ed.). *Thematic initiatives*. Rome: FAO, 2006. 12p. Disponível em www.worldwaterday07.org, Acesso em 08 de maio de 2009.
- UN-Water - The United Nations World Water. Coping with water scarcity: Challenge of the twenty - first centur. In: UN-Water (ed.). *World water day 2007*. Rome: FAO, 2007. 29p. Disponível em www.worldwaterday07.org, acesso em 08 de maio de 2009.
- USAID - United States Agency for International Development. Review of the status, trends and issues in global fisheries and aquaculture, with recommendations for USAID investments. Washington: The World Bank/ARD, 2006, 138p.
- Vallejo, S. V.; González-Posada, J. O. *Acuicultura: La revolución azul*. Madrid: OEA/CSIC/MAPA, 2007. 363p.
- van der Mheen, H. Observations on the integration of aquaculture and small-scale irrigation. *FAO Aquaculture Newsletter*, n.22, p.10-15, 1999.
- Vidali, M. Bioremediation: An overview. *Pure and Applied Chemistry*, v.73, n.7, p.1163-1172, 2001.
- Wedemeyer, G. A. Effects of rearing conditions on the health and physiology quality of fish in intensive culture. In: Iwama, G. K.; Pickering, A. D.; Sumpter, J. P.; Schreck, C. B. (ed.). *Fish stress and health in aquaculture*. Cambridge: University Press, 1997, p. 35-71.
- Wikipedia. Wikipédia, a enciclopédia livre: Pesca. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pesca>. Acesso em: 06 de fev. 2010.
- World Bank - The International Bank for Reconstruction and Development. *Aquaculture: Changing the face of the waters meeting the promise and challenge of sustainable aquaculture*. Washington: ARD/World Bank, 2006. 148p.
- Zaniboni Filho, E. *O desenvolvimento da piscicultura brasileira sem a deterioração da qualidade de água*. *Revista Brasileira de Biologia*, v.57, n.1, p.3-9, 1997.
- Zimmermann, S. Manejo da qualidade de água e do solo dos viveiros. In: Valenti, W. C. (ed.). *Carcinicultura de água doce: Tecnologia para a produção de camarões*. Brasília: IBAMA, 1998. 383p.

Zimmermann, S., Fitzsimmons, K. Tilapicultura intensiva. In: Cyrino, J.E.P.; Urbinati E.C.; Fracalossi, D.M.; Castagnolli, N. (ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, 2004. p.239-266.

Uso racional de água no meio urbano: Aspectos tecnológicos, legais e econômicos

Ricardo Franci Gonçalves¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo

- 6.1 Introdução
 - 6.2 Reengenharia do ciclo urbano da água no semiárido
 - 6.3 Ações preliminares: Aumento da eficiência dos sistemas atuais de abastecimento
 - 6.3.1 Ações na escala meso
 - 6.3.2 Ações na escala micro
 - 6.3.3 Ações não estruturais para conservação de água e energia
 - 6.4 Ações intermediárias: gerenciamento integrado dos sistemas de água potável, esgoto sanitário e de águas pluviais
 - 6.4.1 Manejo de águas pluviais urbanas
 - 6.4.2 Sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial
 - 6.4.3 Reúso de esgoto sanitário
 - 6.5 Considerações sobre o nível de tratamento
 - 6.5.1 Reúso de esgoto sanitário
 - 6.5.2 Reúso de águas cinzas
 - 6.6 Ações de longo prazo: Saneamento ecológico
 - 6.7 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Uso racional de água no meio urbano: Aspectos tecnológicos, legais e econômicos

6.1 INTRODUÇÃO

A despeito da grande disponibilidade bruta de recursos hídricos no País, diversas regiões urbanas se encontram atualmente, sob estresse hídrico no Brasil. A escassez pode ser de origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante de modificações da qualidade da água pela poluição. Há, ainda, a escassez econômica, referente à incapacidade de se pagar os custos de acesso às águas e a escassez política, correspondente às políticas públicas inadequadas que impedem algum segmento populacional de ter acesso à água ou aos ecossistemas aquáticos.

Neste cenário, assumem especial importância as ações, objetivando a ampliação da cobertura dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Em 2006 cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tinham acesso a água potável e 2,6 bilhões careciam de soluções racionais para disposição de excretas no mundo (UNESCO, 2006). Em 2006 o índice de cobertura com abastecimento de água era, no Brasil, de 93,1% e o de esgotamento sanitário de 48,3%, dos quais 32,2% com tratamento (SNIS, 2007). Entre os objetivos do milênio, a Organização das Nações Unidas incluiu, como meta, a redução, até 2015, dos índices de falta de cobertura à metade dos que eram observados em 2000 (UN, 2009). No Brasil, o Plano Plurianual do Governo Federal estabeleceu a meta de universalização dos serviços de saneamento no ano de 2015 (IPEA, 2007).

Por outro lado, a região do semiárido brasileiro conta com 1.135 municípios e abrange uma área de 980.089,26 km², de acordo com a nova delimitação do semiárido, instituída em março de 2005 pelo Ministério da Integração Nacional. Nela estava inserida, em 2005, uma população de 21.718.168 milhões de pessoas, das quais 56% residentes nas áreas urbanas (Ministério da Integração Nacional, 2005).

Embora o atendimento urbano de água potável esteja em franca expansão na região nordeste nos últimos anos, atingindo um índice médio de 88,6%, o índice médio de perdas na distribuição foi estimado em 51,2%, em 2007 (SNIS, 2007). Trata-se de um problema de ordem estrutural a ser enfrentado com urgência tendo em vista

o despropósito de tamanho desperdício do recurso hídrico regional; também é alvo de atenção a baixíssima cobertura do sistema de esgotamento sanitário em toda a região, com um índice médio de atendimento urbano de esgoto, no ano de 2007, avaliado em 24,2%. Admitindo-se que esses números não tenham sofrido variações consideráveis, a distribuição populacional indica que cerca de 12,3 milhões de pessoas vivem nas áreas urbanas do semiárido, exercendo os seguintes impactos sobre o meio ambiente na região:

- consumo de aproximadamente $1.200.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de água potável (índice de cobertura com água potável de 88,6%, consumo percapita médio considerado de $113,2 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, segundo SNIS, 2007);

- produção de esgoto sanitário próxima de $270.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (índice de cobertura com esgotamento sanitário de 24,2% e coeficiente de retorno de 80%, segundo SNIS, 2007);

- lançamento, através dos excretas ou dos esgotos sanitários, no meio ambiente, de:

- 7.400 t dia^{-1} de matéria orgânica, na forma de DQO (demanda química de oxigênio) (produção percapita média de $100 \text{ g hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

- 123 t dia^{-1} de Nitrogênio (produção percapita média de $10 \text{ g hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

- $12,3 \text{ t dia}^{-1}$ de Fósforo (produção percapita média de $1 \text{ g hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

Não deixa de ser ilógico o desperdício de água e de nutrientes em meio à condição de tamanha necessidade, o que explicita a histórica ausência de políticas responsáveis de enfrentamento do problema na região. Por outro lado, políticas de recursos hídricos de sucesso vêm sendo implementadas por países como Israel e Austrália, onde contingentes populacionais expressivos habitam regiões tradicionalmente submetidas a permanente estresse hídrico. Com base em tais exemplos, pode-se afirmar que a reversão do estresse hídrico no semiárido brasileiro passa pelo desenvolvimento e aplicação de modelos integrados de gerenciamento dos recursos hídricos entre as áreas rurais e urbanas, o que terá forte impacto na configuração do ciclo da água nas cidades da região.

Há de se considerar, ainda, o impacto das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global no semiárido, cuja tendência é de acentuar a gravidade do problema. Estudos coordenados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), indicam importante diminuição da precipitação pluviométrica na América do Sul até o ano de 2030, com especial redução na região Nordeste do Brasil (Figura 6.1) (Stedman, 2009). Embora no estágio atual as ferramentas de previsão não sejam suficientemente precisas para uso em planejamento, em decorrência de tais mudanças, os principais fóruns mundiais do setor de saneamento atentam para a necessidade de uma gestão cuidadosa da infraestrutura existente e do planejamento adequado dos projetos futuros, tendo como foco a adaptação social e ecológica. Para o IPCC, as ações de planejamento devem ser mais flexíveis perante os cenários desenhados para o futuro próximo, uma vez que não existe tecnologia de saneamento (abastecimento

de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de águas pluviais) imune aos efeitos das mudanças climáticas.

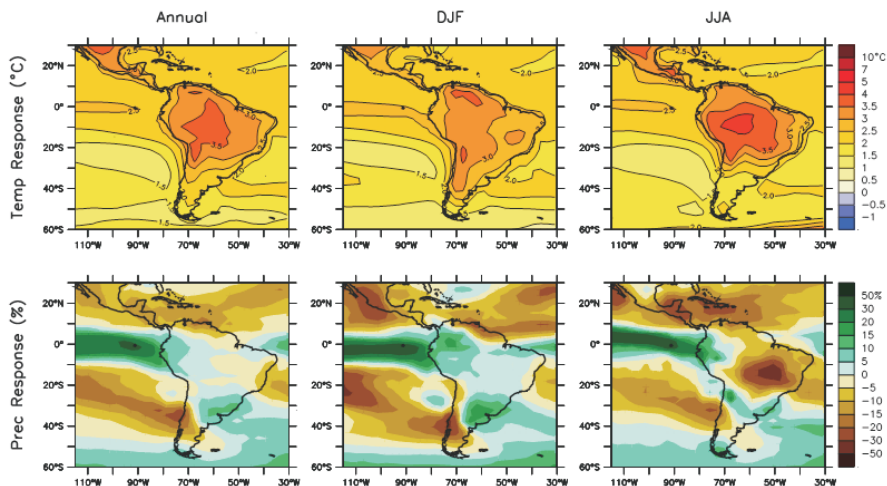


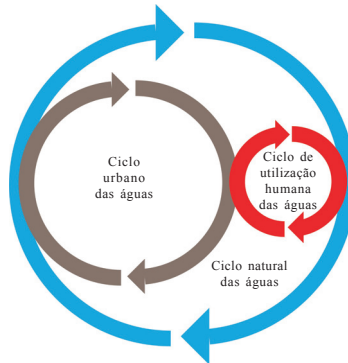
Figura 6.1 Previsão do comportamento da precipitação pluvial anual para as América do Sul e Central. Valores médios de previsão das mudanças entre 1980 e 1989 e entre 2080 e 2099, obtidos através de 21 modelos matemáticos (IPCC, 2007)

Por tais motivos, o semiárido brasileiro exige a aplicação de modelos de desenvolvimento regional sensíveis a água, que considerem, nas suas concepções, as soluções integradas entre as escalas macro (bacias hidrográficas), meso (regional) e a micro (local), entre as áreas urbanas e rurais e a utilização de águas de diferentes qualidades visando aos mais diversos fins. A meta deve ser a reconfiguração do ciclo urbano da água, tal como concebido e praticado atualmente na região, perdulário (água e nutrientes) e que dilapida a capacidade suporte local, para um modelo mais afinado com o desenvolvimento sustentável. Uma abordagem dos principais conceitos relativos ao uso da água nas cidades é apresentada a seguir, objetivando subsidiar a discussão que se segue sobre a necessidade de reconfiguração do ciclo urbano da água no semiárido, em busca da sustentabilidade regional.

6.2 REENGENHARIA DO CICLO URBANO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO

O modelo de serviços públicos relacionados com o saneamento básico nas áreas urbanas do planeta tem, como foco principal, o atendimento das necessidades humanas e, de certa maneira, ignora que o ciclo urbano da água seja apenas um subciclo do ciclo da água na natureza (Coombes & Kuczera, 2000) (Figura 6.2). Os sistemas de saneamento que compõem o ciclo urbano da água são o de abastecimento público de água, o de esgotamento sanitário e o de manejo das águas pluviais. Suas principais

funções estão relacionadas com a manutenção e a melhoria da saúde pública, com o conforto, a economicidade e a provisão de bases para o desenvolvimento econômico. O ciclo menor corresponde às formas de uso da água que não dependem de estruturas coletivas urbanas.



Fonte: Alves et al. (2005)

Figura 6.2 Esquema dos ciclos da água

A experiência comprova que até hoje, esses sistemas não foram capazes de cumprir, de forma universalizada, as funções relacionadas com a oferta e a demanda de água no semiárido, consequência da fragilidade estrutural do ciclo urbano da água atual que, pela sua inadequação, apresenta-se como obstáculo ao próprio desenvolvimento regional, cujos principais impactos ambientais envolvidos são:

- a escassez ou a extinção local do recurso, devido à captação de grandes quantidades de água bruta;
- a degradação da qualidade do manancial, em função do lançamento de esgoto sanitário e de água de drenagem pluvial nos corpos receptores;
- a utilização de recursos naturais para a produção de energia e insumos, como produtos químicos;
- a emissão atmosférica de compostos gerados direta ou indiretamente nos sistemas urbanos de água;
- o desperdício de importantes quantidades de nutrientes necessários à produção de alimentos, etc.

O desenvolvimento de novas concepções do ciclo urbano da água se faz necessário, sendo a integração entre os planos diretores de desenvolvimento urbano e o gerenciamento dos recursos hídricos nas áreas urbanas, um passo importante nesta direção. Algumas idéias básicas para tanto se encontram a seguir:

- somente autorizar o desenvolvimento urbano onde houver, comprovadamente, disponibilidade hídrica;
- gerenciar integradamente os três sistemas urbanos de água: abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de águas pluviais;

- gerenciar integradamente os níveis micro (sistemas hidrossanitários das edificações) e meso (sistemas coletivos de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de manejo de águas pluviais) (Figura 6.2);
- aplicar indistintamente as técnicas de gerenciamento sustentável de água nas edificações, nos bairros e na área urbana, como um todo;
- integrar as ações estruturais e não estruturais de gerenciamento sustentável da água, às áreas urbanas.

A nível meso, as ações se referem às ações na escala dos sistemas urbanos de água, que contemplam, por exemplo, o controle de perdas nos sistemas de distribuição. Têm como foco principal a redução de perdas físicas e não físicas, realizadas no âmbito de programas regionais que apoiam diretamente a prestação do serviço. A nível micro, as ações que se concentram nos sistemas prediais, voltadas para o aumento da eficiência no uso da água. Tais ações visam à melhoria do conjunto das instalações de água e esgoto, diretamente implicadas no consumo predial. Envolve fabricantes de peças e dispositivos economizadores, desenvolvimento de normalização técnica específica e programas de qualidade industrial (Alves et al., 2005). As medidas passivas de gestão da demanda (educação e uso de tarifas para inibição do consumo) são contempladas neste nível.

A integração dos três sistemas de saneamento que compõem o ciclo urbano da água, foi um objetivo central da estratégia australiana de enfrentamento do estresse hídrico nas áreas urbanas do País (Cuellen, 2007). Os dois princípios fundamentais da estratégia são:

1. Avaliar e controlar os recursos disponíveis: para isto, passou-se a considerar o ciclo da água como um todo: águas pluviais, água de drenagem urbana, esgotos sanitários, reservatórios, água de subsolo e água do mar. Todas as disponibilidades de água, independentemente do tipo de manancial, devem ser mapeadas. Os limites de exploração devem ser entendidos sabendo-se que a exploração segura não passa pela definição de porcentagens médias de extração, uma vez que eventos extremos exercem influência determinante no comportamento do recurso e as mudanças climáticas se encontram em curso. É necessário medir e avaliar constantemente as fontes para, permanentemente, dar suporte à tomada de decisão.

2. Alocar eficientemente as reservas consuntivas para usos múltiplos: um esforço permanente deve ser empreendido na busca da compreensão das demandas atuais e futuras nas reservas consuntivas, buscando-se a gestão eficiente dos usos, através de planejamento e regulação. Deve-se assegurar que a água tenha destino prioritário para usos mais nobres, em casos de escassez.

A reengenharia do ciclo urbano da água no semiárido é estratégica para a política de desenvolvimento regional mas ações estruturais e não estruturais necessárias para tanto, exigem investimentos importantes e tempo. A implantação de estruturas coletivas e individuais mais eficientes no uso da água requererá um esforço no sentido

de se adaptar os conceitos de produção mais limpa ao ciclo urbano da água, que podem ser resumidos da seguinte forma:

Minimização

- utilizar a água de melhor qualidade para os usos que a exijam;
- buscar fontes alternativas de água, tais como águas residuárias para reúso ou aproveitamento de águas pluviais;
- utilizar menor quantidade de água para executar as mesmas atividades, quer seja por mudança de processos ou formas de uso como pelo emprego de aparelhos economizadores ou tecnologias apropriadas.

Separação

- não misturar águas que exijam graus diferenciados de tratamento, como águas contendo gorduras, águas contendo material fecal e águas contendo nutrientes. Sobre este princípio se vislumbram possibilidades diversas de simplificação do tratamento, diminuição de custos de tratamento, reaproveitamento facilitado de substâncias, realocação de recursos para investimentos, etc.
- não misturar efluentes de origem doméstica com efluentes de origem industrial, medida que se apoia no fato de que as características do esgoto doméstico variam em faixas bem mais delimitadas que aquelas observadas para os esgotos industriais.

Reutilização

- exploração das diversas formas de reúso de esgotos, desde as formas mais simples, como utilização direta da água residuária gerada até o reúso após tratamento e pós-tratamento de esgoto.
- tirar vantagem das possibilidades de utilização dos efluentes em usos que requeiram características nele presentes. Por exemplo, utilização de esgotos ricos em nutrientes para irrigação controlada.
- hierarquizar ciclos de utilização da água, separando-os segundo a qualidade e a quantidade exigidas em cada um deles. Desta forma, é possível estabelecer procedimentos para tratar e dispor corretamente no próximo ciclo, apenas da água que não puder ser utilizada em um ciclo de grau superior de exigência.
- reciclar os nutrientes do saneamento que, no ciclo atual, se encontram misturadas à água, na forma de esgoto sanitário. Devem ser privilegiadas as tecnologias de saneamento sem água, tais como a coleta da urina humana e a compostagem de fezes para utilização como adubo na agricultura.

Levando-se em consideração a realidade do semiárido sugere-se, aqui, que as principais ações de reengenharia do ciclo urbano da água sejam planejadas e implantadas paulatinamente, tendo como objetivo a universalização do saneamento básico na região, mediante o emprego de tecnologia alternativa (Tabela 6.1). A excelência na conservação dos recursos hídricos seria atingida a longo prazo, na medida em que os sistemas convencionais de saneamento hoje existentes, evoluam na direção do saneamento ecológico.

Tabela 6.1 Ações de reengenharia do ciclo urbano da água, no semiárido

Ação	Preliminar	Intermediária	Reconfiguração
Prazo	Imediato	Médio prazo	Longo prazo
Objetivo	Aumento da eficiência do uso da água nos sistemas de abastecimento atuais e ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário (racionalização do uso de água).	Gerenciamento integrado dos três sistemas de água potável, de esgoto sanitário e de águas pluviais. Reuso de água e aproveitamento de água pluvial nos níveis micro e meso (conservação de água).	Saneamento ecológico: Conservação de água e reciclagem de nutrientes.

As ações preliminares devem voltar-se para a racionalização do uso de água, objetivando o controle da demanda através da redução do consumo, preservando a quantidade e a qualidade da água para as diferentes atividades consumidoras. Trata-se de um investimento na gestão dos sistemas de abastecimento existentes, objetivando aumentar a eficiência da infraestrutura instalada. A ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário deve ser um objetivo complementar centrado na saúde pública e na preservação do meio ambiente.

As ações a médio e a longo prazos devem visar à conservação de água, ao prever o controle da demanda e a ampliação da oferta. Devem contemplar, portanto, o uso de fontes alternativas de água, tais como o aproveitamento da água de chuva e o reúso de águas residuárias nas escala meso e micro. A Figura 6.3 ilustra uma possível evolução do ciclo urbano da água, contemplando a integração dos sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de manejo de águas pluviais no ambiente urbano. O segundo cenário configura-se como uma provável ação de médio prazo. Uma discussão sobre os possíveis desenvolvimentos das ações citadas na Tabela 6.1, objetivando aumentar a eficiência e a sustentabilidade do ciclo urbano da água no semiárido, é realizada a seguir.

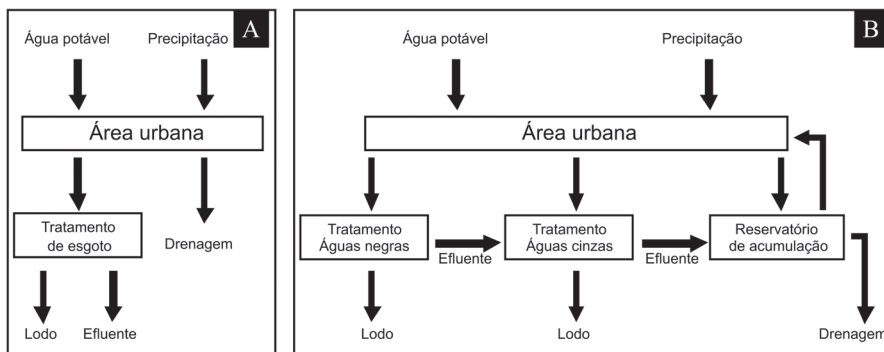


Figura 6.3 Comparação entre diferentes configurações do ciclo urbano da água: A) Ciclo urbano atual; B) Exemplo de reconfiguração do ciclo urbano

6.3 AÇÕES PRELIMINARES: AUMENTO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS ATUAIS DE ABASTECIMENTO

6.3.1 Ações na escala meso

O desperdício de água nos sistemas de abastecimento de água da maioria das cidades da Região Nordeste do Brasil, é intolerável sob diversos aspectos: saúde pública, ambiental, econômico, etc. Neste contexto assumem especial importância as perdas nos sistemas de abastecimento, que podem ser definidas como perdas reais e perdas aparentes.

As perdas reais estão associadas à parcela de água que não chega aos consumidores, em função de vazamentos no sistema público de abastecimento. Nas diversas estruturas físicas de escoamento e reservação de sistemas públicos de abastecimento, desde a captação até o usuário final, parcela considerável de água é perdida devido a diversos fatores, tais como vazamentos em reservatórios e ao longo das redes de distribuição, lavagem de filtros nas estações de tratamento, entre outros.

As perdas aparentes, ou perdas não físicas, incluem as parcelas de água que não são contabilizadas em função dos erros comerciais/gerenciais, das fraudes (ligações clandestinas), dos erros de medição (hidrômetros com inclinações) entre outros. As ligações não micromedidas são aquelas que não dispõem de hidrômetro e submedidas são aquelas cujos hidrômetros registram um consumo abaixo do real.

O gerenciamento das perdas deve ser visto como parte da gestão integrada dos recursos hídricos no âmbito das unidades de bacia, em que outros usuários, além dos sistemas de abastecimento de água, também participam como tomadores de água do sistema natural (Cheung et al., 2009). Para tanto, a International Water Association (IWA) tem procurado padronizar a terminologia, classificando as perdas de água através do balanço hídrico sobre o sistema de abastecimento, conforme a Tabela 6.2.

A definição conceitual de cada componente do Balanço Hídrico se encontra a seguir:

- volume fornecido ao sistema: volume anual de água produzido no sistema de abastecimento. Este volume é a parcela principal do cálculo do Balanço Hídrico;
- consumo autorizado: volume anual medido e/ou não medido fornecido a consumidores cadastrados, ao próprio prestador de serviço de saneamento e àqueles que estejam, implícita ou explicitamente, autorizados a fazê-lo, para usos domésticos, comerciais ou industriais;
- perdas de água: volume referente à diferença entre o volume fornecido ao sistema e o consumo autorizado;
- consumo autorizado faturado: volume que gera receita potencial para prestador de serviço de saneamento, correspondente ao somatório dos volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores. Compõe-se dos volumes medidos nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;

Tabela 6.2 Balanço hídrico

Volume fornecido ao sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado	Água faturada	
			Consumo não medido faturado		
		Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado		
	Perdas de água	Perdas aparentes		Consumo não autorizado	Água não faturada (ANF)
				Imprecisão nos hidrômetros	
		Perdas reais	Vazamentos nas adutoras e/ou na rede de distribuição		
Vazamentos e extravasões em reservatórios					
		Vazamentos em ligações até o hidrômetro			

Fonte: Cheung et al. (2009)

- consumo autorizado não-faturado: volume que não gera receita para o prestador de serviços de saneamento, oriundo de usos legítimos de água no sistema de distribuição. É composto de volumes medidos (uso administrativo da própria companhia, fornecimento a caminhões-pipa com controle volumétrico) e volumes não medidos, a estimar, tais como água utilizada em combate a incêndios, rega de espaços públicos e a água empregada em algumas atividades operacionais na prestação de serviço de saneamento como, por exemplo, lavagem de reservatórios;

- perdas reais: parcela de água correspondente ao volume perdido durante a lavagem de filtros na estação de tratamento de água, nos reservatórios (vazamentos e extravasamentos) e ao longo da distribuição (ramais);

- perdas aparentes: parcela de água correspondente ao volume de água consumido porém não contabilizado pelo prestador de serviço de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. Neste caso, a água é efetivamente consumida porém não é faturada;

- volume faturado: representa a parcela da água comercializada traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor;

- volume não-faturado: representa a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado. Esses volumes incorporam as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não-faturado.

Tendo em vista as definições anteriores, o consumo total de água em determinada área urbana, é dado pela expressão:

$$\text{Consumo total de água} = \text{Consumo efetivo} + \text{Perdas} + \text{Desperdício}$$

O desperdício de água está associado ao comportamento negligente de uso por parte de pessoas, empresas ou órgãos públicos, com ou sem consciência sobre o valor da água e, por isto, é mais evidente nos sistemas individuais (edificações). As perdas e os desperdícios de água representam custos importantes para os usuários e para a sociedade, sem aportar benefícios.

Os indicadores de desempenho são as ferramentas normalmente utilizadas para a análise estratégica de desempenho dos sistemas de abastecimento e, de maneira mais ampla, do setor saneamento, como um todo. No caso do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS) e em função das suas finalidades, os indicadores são classificados em: indicadores econômico-financeiros e administrativos; indicadores operacionais – água; indicadores operacionais – esgoto; indicadores de balanço contábil e indicadores sobre a qualidade dos serviços. Alguns indicadores de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do nordeste, calculados pelo SNIS para o ano base de 2007 (SNIS, 2007), se encontram na Tabela 6.3.

O Índice de Perdas na Distribuição (IPd): relaciona os volumes disponibilizado (produzido) e consumido (micromedido). O volume anual disponibilizado e não utilizado, constitui uma parcela não contabilizada, que incorpora o conjunto de perdas reais e aparentes no subsistema de distribuição. Índices superiores a 40% representam más condições do sistema quanto às perdas. Numa condição intermediária estariam os sistemas com índices de perda entre 40 e 25% e valores abaixo de 25% indicam sistema com bom gerenciamento de perdas. Entre as nove empresas estudadas somente duas apresentaram condição intermediária com relação a este indicador (IPd). As demais apresentaram índices compatíveis com sistemas sob más condições de funcionamento.

O Índice de Perda de faturamento (IPf): pode ser definido como a relação percentual entre o volume de água não faturado e o volume de água produzido, e compreende as perdas aparentes ou comerciais. Sua diminuição ocorre de forma acentuada com o aumento do índice de micromedicação (hidrômetros) no sistema de distribuição. Na Tabela 6.3 observa-se que o IPf médio das operadoras regionais em 2007 foi de 45%, considerado muito elevado, e que nenhuma delas apresentou índices de perda por faturamento inferiores a 25%. Outros índices relevantes também são apresentados na mesma tabela.

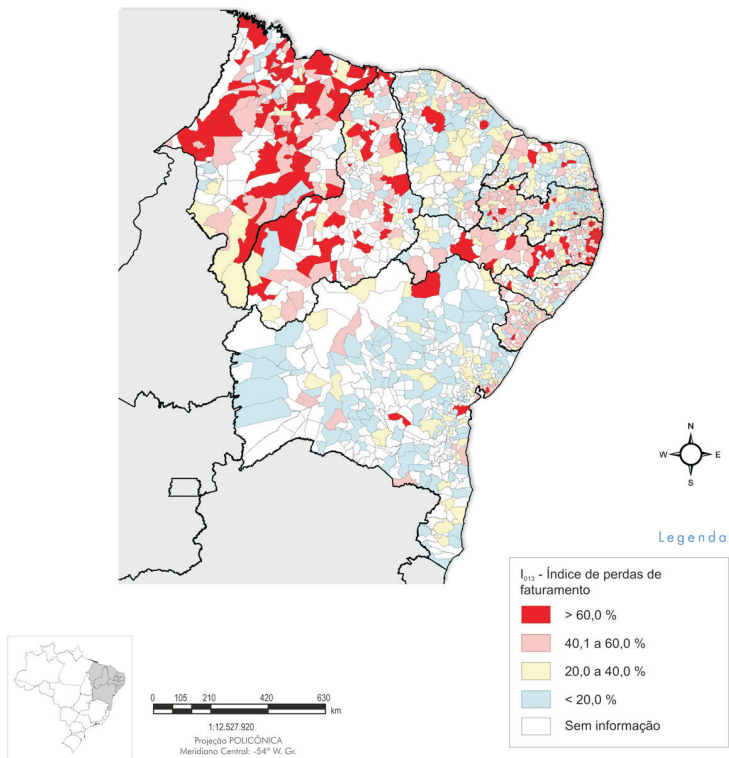
Esses números explicitam as deficiências crônicas de gerenciamento e de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água na região NE e, por extensão, nos municípios da região do semiárido. Trata-se de um problema que persiste ao longo do tempo, tal como ilustra a Figura 6.4, na qual se observa que a quantidade de municípios com IPf superiores a 40% era substancial no ano de 2005, excetuando-se os municípios cearenses e baianos.

Tabela 6.3 Índices de perda* dos prestadores de serviços regionais do Brasil

Prestadora de Serviço	IPf (%)	IPd (%)	IPL L ligação ⁻¹ dia ⁻¹	IPe L km ⁻¹ dia ⁻¹
Agespisa/PI	55,8	63,1	667,2	70,4
Caema/MA	62,9	62,9	1060,3	80,4
Caern/RN	42,1	53,1	541,7	51,9
Cagece/CE	27,5	28,4	207,6	24,1
Cagepa/PB	39,4	49,2	418,6	61,1
Casa/AL	54,2	60,8	625,7	56,8
Compesa/PE	58,4	67,7	745,0	81,3
Deso/PE	41,3	49,3	444,0	30,7
Embasa/BA	32,3	37,5	305,5	23,8
Média Total	45,0	51,2	488,7	46,0

Adaptado do SNIS (2007)

* IPf - Índice de perdas por faturamento; IPd - Índices de perdas na distribuição; IPL - Índices perdas por ligação por dia; IPe - Índices de perdas por extensão de rede



Diagnóstico 2005

www.snis.gov.br

Fonte: SNIS (2005)

Figura 6.4 Distribuição espacial do índice de perda de faturamento (IPf) na região nordeste do Brasil

Portanto, as ações preliminares devem ter, como meta principal, a reversão deste quadro de desperdício, buscando um padrão de excelência compatível com os atingidos pelos países com maior sucesso na racionalização do uso da água nas áreas urbanas como, por exemplo: Japão (IPf= 8,4%), Canadá (IPf= 14%), Inglaterra (IPf= 17,3%) e Chile (19%) (BIO, 2001). Deve-se atentar para o fato de que as perdas de água possuem relação direta com o desperdício de energia elétrica. Os valores publicados indicam que empresas estaduais de abastecimento de água do Brasil gastam, em média, 0,68 kWh para produzir 1 m³ de água potável (Gomes et al., 2009).

As principais estratégias utilizadas para aumentar a eficiência dos sistemas de abastecimento são discutidas resumidamente a seguir. Maiores informações sobre o assunto podem ser obtidas em Tustyia (2005), Cheung et al. (2009) e Gomes et al. (2009).

6.3.1.1 Redução das perdas físicas

As perdas físicas ou reais podem ser reduzidas consideravelmente em sistemas de abastecimento, através da adoção de medidas estruturais de três tipos: controle de pressão, controle ativo de vazamentos e reabilitação da infraestrutura. Não obstante, deve ficar claro que as perdas físicas só podem ser reduzidas até um nível mínimo, a partir do qual será economicamente inviável tentar diminuí-lo.

Controle de pressão: o controle da pressão da água no interior da rede de abastecimento é a medida mais eficaz para a redução das perdas físicas de água no sistema, como um todo. Pressões excessivas na rede de distribuição de um sistema de abastecimento podem ter as seguintes consequências:

- desperdício de água e aumento dos custos, associados ao controle;
- rupturas frequentes de tubulações, com reparos onerosos;
- interrupções frequentes no fornecimento para manutenção da rede;
- riscos importantes à integridade dos transeuntes nas ruas onde se encontra a rede de abastecimento;
- danos frequentes às instalações internas dos usuários;
- consumos excessivos relacionados às pressões da rede de distribuição.

As três principais ações para o controle da pressão nos sistemas de distribuição de água são a setorização da rede em patamares de pressão, de acordo a topologia, a implantação de válvulas redutoras de pressão e a utilização de bombas com velocidade de rotação variável.

Controle ativo de vazamentos: o monitoramento periódico ou permanente da rede de distribuição é a maneira mais eficaz de detecção e a reparação de eventuais perdas não reportadas. Neste caso, o gerenciamento das perdas é permanente, ao invés de se realizar as reparações dos vazamentos somente quando esses já se encontram visíveis (controle passivo). A localização e a reparação dos vazamentos detectados ocorrem a partir da setorização e do monitoramento da rede. Normalmente, a pesquisa

de vazamentos não visíveis é realizada com a utilização de aparelhos eletrônicos de detecção de ruídos associados a vazamentos não visíveis nas tubulações. As perdas físicas podem ser classificadas em fugas, em que a água é perdida continuamente, sem ser detectada (Exemplo: falta de estanqueidade nas juntas das tubulações), e em rupturas, quando os vazamentos ocorrem brusca e acentuadamente, provocados por acidentes nas tubulações e acessórios da rede.

Reabilitação de infraestrutura: as tubulações empregadas nas redes de distribuição de água possuem uma vida útil que depende das características do material que as compõem. O prolongamento do uso além do período de vida útil recomendado pelo fabricante tem, como consequência principal, a perda de estanqueidade do sistema por corrosão excessiva ou pela incrustação nas paredes dos tubos, o que leva à elevação das pressões hidráulicas em seu interior. A substituição de tubulações antigas ou deterioradas envolve custos elevados, o que leva muitas empresas operadoras a postergarem as medidas de reabilitação. Tal prática é contraproducente pois, além de ser a causa de importantes volumes de perdas físicas, resulta em elevados custos de manutenção. Um programa de combate às perdas físicas completo requer a implementação de um programa permanente de reabilitação de infraestrutura.

6.3.1.2 Perdas aparentes

Em um sistema de abastecimento de água, a principal ação de combate às perdas comerciais compreende a ampliação de seu parque de micromedidores. A renovação do parque de medidores também é essencial, uma vez que a vida útil dos hidrômetros é de no máximo cinco anos. As campanhas de substituição de hidrômetros devem ser permanentes, devendo atentar-se para o seu correto dimensionamento, preferencialmente com a implantação de processos de leituras eletrônicas das medições. Inspeções periódicas, além de campanhas de conscientização da população e de penalidades aos infratores, são as principais ferramentas de combate às fraudes decorrentes de ligações clandestinas de água.

6.3.2 Ações na escala micro

Um modelo de gerenciamento de sistemas hidrossanitários com vistas à racionalização do uso da água, é apresentado na Figura 6.5. As ações de conservação da água em edificações demandam o conhecimento do consumo total de água, desagregado segundo os diversos pontos de utilização. O consumo de água desagregado se denomina perfil de consumo residencial de água, para o qual se considera que os seguintes fatores devem ser levados em conta:

- número de habitantes da residência e tempo de permanência durante os dias da semana;
- área construída e número de aparelhos sanitários disponíveis;
- características técnicas do serviço público e predial de abastecimento, com especial atenção para as diferenças entre abastecimento direto e indireto;

- clima da região;
- características culturais da comunidade;
- perdas e desperdícios nas instalações prediais e nos usos;
- renda familiar;
- valor da tarifa de água;
- estrutura e forma de gerenciamento do sistema de abastecimento.

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. Para Terpstra (1999), este consumo pode ser classificado em quatro categorias: higiene pessoal, descarga de bacias sanitárias, ingestão e limpeza. De acordo com essa classificação, a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos:

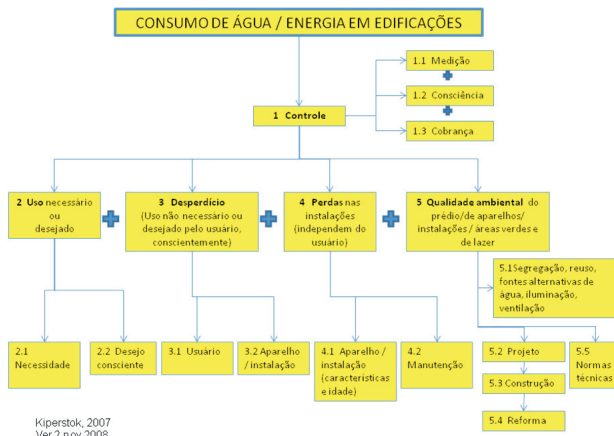
- potáveis: higiene pessoal, ingestão e preparação de alimentos. Esses usos necessita de água com rigoroso padrão de potabilidade, o qual é estabelecido por legislação específica.
- não potáveis: lavagem de roupa, carro, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, entre outros, casos em que é importante que se determine a qualidade requerida para a água, em cada uso considerado.

A primeira ação a ser implementada para gerenciamento da água na escala predial refere-se à implantação de um sistema de controle do consumo de água no prédio. Tal sistema tem por base a medição do consumo, que permite que os usuários tenham conhecimento do consumo geral do prédio e, se possível, como cada um dos outros aspectos a seguir considerados, participa. Quanto mais próxima de cada usuário a medição, maior a informação disponível e, conseqüentemente, o controle sobre o consumo. O nível de consciência do público usuário influencia diretamente no padrão de racionalidade do consumo, mas não se pode esquecer de que a cobrança é um dos mecanismos mais eficazes para elevar a consciência.

A segunda ação deve viabilizar o uso da água para atender especificamente ao consumo efetivo por parte dos usuários, compreendendo suas necessidades básicas e outros desejos. As necessidades básicas de água se referem à ingestão, ao preparo de alimentos e à manutenção das condições higiênicas, para a promoção da saúde (Figura 6.5).

A terceira ação tem como foco o desperdício de água, que representa um tipo de consumo não necessário provocado pelo usuário ou induzido pelo aparelho. No primeiro caso, a falta de atenção ou desinteresse do próprio usuário quanto ao uso racional da água (chuveiro aberto enquanto se ensaboa ou da torneira do lavatório enquanto se escova os dentes) é a fonte do desperdício; o segundo é ditado pelas características do aparelho hidrossanitário utilizado.

A quarta ação é de difícil quantificação para efeito de programas de racionalização do uso da água e se refere às perdas físicas nas instalações provocadas por vazamento, visíveis ou não. O porte e a frequência dessas perdas se relacionam com



Fonte: Cheung et al. (2009)

Figura 6.5 Consumo total de água predial

dois fatores principais: com as características das instalações, tubulações, peças hidráulicas e aparelhos, incluindo a pressão hidráulica a que essas se encontram submetidas; por um lado, a qualidade da manutenção dada às mesmas, incluindo-se a rapidez da descoberta de vazamento e o tempo que tomam para serem sanados. Equipes de manutenção treinadas para manutenção preventiva e corretiva são mais frequentes em edifícios comerciais ou corporativos, o que não ocorre nas edificações residenciais habitacionais. Alguns avanços podem ser direcionados em prol da construção dos prédios, com dispositivos que facilitem a identificação de vazamento e seu reparo, tais como extravasores aparentes de reservatórios e shafts, entre outros.

A quinta ação é a qualidade ambiental do prédio, definida aqui como a soma de atributos que permitem ou favorecem um uso mais racional da água, incluindo a captação direta de águas de chuva e outras fontes alternativas com menor encargo energético e ambiental, sistemas de instalações hidráulico-sanitárias segregados, visando facilitar o reúso da água com qualidade adequada para usos não potáveis. A facilidade de manutenção das instalações e de identificação e conserto de vazamentos, encontra-se aqui incluída.

6.3.3 Ações não estruturais para conservação de água e energia

Os principais programas brasileiros que constituem o cerne das ações não estruturais de combate ao desperdício de água do Governo Federal são implementados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. São eles:

- PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento, responsável pelo Sistema Nacional de Informação em Saneamento – SNIS, pela Rede Nacional de Capacitação em Saneamento – ReCESA – e pelo subprograma COM+ÁGUA;

- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.

A Eletrobrás, do Ministério das Minas e Energia, é responsável pela implementação do PROCEL SANEAR – Programa de Eficiência Energética para o setor de Saneamento.

6.4 AÇÕES INTERMEDIÁRIAS: GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS SISTEMAS DE ÁGUA POTÁVEL, ESGOTO SANITÁRIO E DE ÁGUAS PLUVIAIS

As ações intermediárias visando ao aumento da eficiência do ciclo urbano da água no semiárido compreendem o gerenciamento integrado dos três sistemas de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de águas pluviais), e o aproveitamento de fontes alternativas de água, através do reúso de água e aproveitamento de água pluvial nos níveis micro e meso.

No que diz respeito ao manejo de águas pluviais urbanas, o paradigma atual visa adequar os fenômenos de precipitação e escoamento ao ambiente construído, objetivando principalmente a prevenção ou minimização de danos causados por inundações e a manutenção de condições adequadas aos ecossistemas aquáticos. Não há perspectiva, ainda, de se considerar as águas pluviais passíveis de aproveitamento para fins produtivos.

Quanto aos sistemas de esgotamento sanitário, a concepção em voga na quase totalidade dos municípios brasileiros prevê, como ações obrigatórias, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição do esgoto sanitário nos corpos receptores. Não obstante, a grande deficiência deste serviço em várias regiões brasileiras, em especial nas regiões Nordeste e Norte impõe, a um grande número de pessoas, riscos inaceitáveis de exposição direta ou indireta a esgotos sanitários. Mesmo nos locais onde há estações de tratamento, são reais os riscos de contaminação de pessoas pelo contato direto ou indireto com o efluente tratado. Em função desses problemas a conversão dos sistemas de esgotamento sanitário em mais uma fonte de suprimento de água nas áreas urbanas é uma tarefa complexa, a ser enfrentada em diversas direções (tecnológica, legal, educacional e cultural). Além da água, a grande disponibilidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo no esgoto sanitário deve ser explorada no sentido do aperfeiçoamento do ciclo dos nutrientes nas áreas urbanas do semiárido.

6.4.1 Manejo de águas pluviais urbanas

A Lei Federal nº 11.445/2007 prevê, como funções específicas de um sistema de manejo de águas pluviais urbanas, o transporte, a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, o tratamento e a disposição final das águas pluviais drenadas. O manejo corresponde ao conjunto de atividades, infraestruturas e procedimentos operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, associados às ações de planejamento e de gestão da ocupação do espaço territorial urbano.

Infelizmente, na sua forma atual esta lei não incorpora a visão de que essas águas se constituem em importante fonte de suprimento de água para as áreas urbanas,

tanto quanto para as áreas rurais. Por isso, somente nos últimos anos o aproveitamento da água de chuva no Brasil vem ganhando destaque nas áreas urbanas e rurais, mas principalmente na região do semiárido nordestino. É digno de nota o trabalho desenvolvido pela Cáritas Brasileira, que realiza projetos, tais como o “Programa de Convivência com o Semiárido”, orientando e incentivando, desde 2003, a construção de cisternas para o armazenamento da água de chuva. Mais recentemente, o governo federal instituiu o programa 1 milhão de cisternas (PIMC) para o semiárido, com o financiamento através de órgãos governamentais, como o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS). No âmbito deste programa é importante a atuação da Associação Programa Um Milhão de Cisternas (APIMC), que é uma OSCIP (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público) que compõe a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA), criada em 2002. Esta organização tem como objetivo gerenciar o Programa Um Milhão de Cisternas (PIMC) e a gestão do Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2). A atuação da ASA resultou na construção de 287.767 cisternas de água de chuva até o início de 2010 (ASA, 2010).

Também nos últimos anos muitas cidades brasileiras, a exemplo de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre, adotaram legislações específicas sobre a coleta da água da chuva, visando à redução de enchentes. Nessas cidades alguns novos empreendimentos passaram a ser obrigados a coletar a água da chuva, não apenas para reduzir o ‘pico de cheias’ mas também visando à sua utilização para fins não potáveis. Alguns estudos apontam para diferentes experiências com a finalidade de aproveitamento da água de chuva, seja em lavanderias industriais, indústrias e outras atividades comerciais (Sickermann, 2003). Somente no ano de 2007 o aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, foi normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, através da NBR 15527/07.

Estudos provenientes da Austrália denotam que os sistemas de aproveitamento da água de chuva proporcionam uma economia no consumo de água nas residências de 45% e até 60% na agricultura (Heyworth et al., 1998). Este mesmo estudo mostra que no sul da Austrália 82% da população rural utilizam a água da chuva como fonte primária de abastecimento, enquanto apenas 28% da população urbana o fazem. Fewkes (1999), em estudo realizado no Reino Unido sobre a utilização de água da chuva em descarga de vasos sanitários, relata que este uso é incentivado uma vez que 30% do consumo de água nas residências são gastos nesta função. A recarga de aquíferos com água de drenagem urbana previamente tratada para uso em fins produtivos, é uma experiência de sucesso na Austrália (Wong, 2007).

Essas experiências de manejo de águas pluviais urbanas que visam ao aproveitamento da água no próprio local de captação, são classificadas como ações de saneamento descentralizado. A implementação do manejo pode ocorrer na escala local (micro), mas também pode ser realizada em uma escala mais ampla, atendendo a contingentes populacionais consideráveis. Nesses casos, a concepção do sistema de manejo deve ser uma consequência do planejamento urbano, em que a ocupação e o uso do solo devem propiciar condições favoráveis ao aproveitamento da água pluvial.

Ressalta-se que o aproveitamento da água da chuva contribui significativamente para a redução da erosão local e das enchentes causadas pela impermeabilização de áreas como coberturas, telhados e pátios. Dependendo das circunstâncias, os usos previstos para a água podem ir de uma utilização direta na irrigação de jardins até usos mais nobres como, por exemplo, para fins potáveis. Algumas sugestões de tecnologia para gerenciamento da água, levando-se em consideração a escala espacial, são apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 Relação entre as iniciativas de gerenciamento integrado das águas de chuva e o desenvolvimento urbano

Local	Distrito	Regional
Planejamento – Layout e ocupação dos lotes	– Layout do arruamento local	– Layout das principais vias – Espaços públicos e corredores multiusos
Conservação de água – Cisternas de água pluvial	– Reservatórios de estocagem – Estocagem em aquíferos e recuperação	– Reservatórios de estocagem – Estocagem em aquíferos e recuperação
Qualidade das águas de escoamento pluvial – Retenção local (infiltração) – Pavimentos porosos – Filtros de areia – Bacias de biorretenção – Jardins de chuva – Reservatórios vegetados	– Bacias de infiltração distritais – Pavimentos porosos – Filtros de areia – Bacias de biorretenção – Pântanos de biorretenção – Jardins de chuva – Reservatórios vegetados – Florestas urbanas – Wetlands construídos	– Buffers ribeirinhos – Canais naturais – Florestas urbanas – Wetlands construídos
Detenção das águas de escoamento pluvial – Detenção local	– Bacias de retenção – Lagoas	– Bacias de retenção – Lagos

Fonte: Wong (2007)

6.4.2 Sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial

O aproveitamento de água de chuva na escala das edificações pode compreender a coleta da água precipitada a partir do telhado ou de superfícies no solo (Figuras 6.6 e 6.7). O sistema de coleta de chuva através da superfície de telhados é considerado mais simples e, na maioria das vezes, produz uma água de melhor qualidade se comparado com os sistemas que coletam água no solo.

Nos sistemas com captação no telhado é imprescindível que as edificações sejam dotadas de calhas e condutores verticais para o direcionamento da água da chuva do telhado ao reservatório. Pode-se utilizar, como referência para o



Figura 6.6 Sistema de aproveitamento da água da chuva de telhados (Fonte: UNEP, 2005)

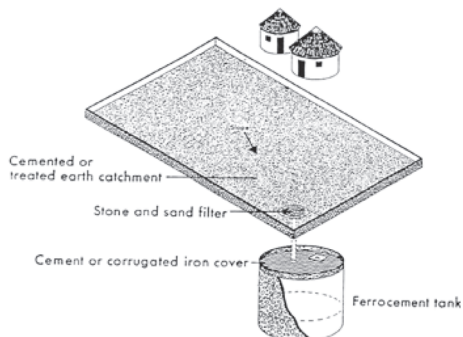


Figura 6.7 Sistema de aproveitamento da água da chuva de superfícies no solo (Fonte: UNEP, 2005)

dimensionamento desses componentes, a NBR 10.844/89, Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT; já o sistema de coleta através da superfície do solo é comum na construção de rampas ou canais para direcionar a água da chuva para dentro do reservatório. A água da chuva coletada em superfícies por onde passam carros geralmente apresenta qualidade inferior, sendo contaminada por óleos combustíveis e resíduo de pneus.

Qualquer que seja a técnica, os componentes principais do sistema de aproveitamento da água da chuva são a área de captação, telas ou filtros para remover materiais grosseiros, como folhas e galhos, tubulações para a condução da água e o reservatório de armazenamento.

Fatores como a localização geográfica (proximidade do oceano), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (regime dos ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora, podem influenciar a qualidade da água da chuva. Embora a qualidade da água de chuva seja frequentemente superior à dos mananciais de superfície, os usos previstos poderão vir a exigir algum tipo de tratamento para efeito

de adequação. A diferença de qualidade da água de chuva coletada a partir de telhados em diversas localidades, é ilustrada pela Tabela 6.5.

Tabela 6.5 Comparação da qualidade da água da chuva coletada em telhado, em diversas localidades

Autor	Local de pesquisa	Parâmetros (valores médios)					
		pH	Turbidez (UNT)	Dureza (mg/L)	Cloretos (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	Colif. Totais (NMP/100ml)
De Luca e Vásquez (2000)	Porto Alegre	6,3	-	-	3,9	-	-
Handia, et al. (2003)	Zambia	7,3	-	-	6,0	-	-
Valle et al. (2005)	Florianópolis	5,3	1,8	10,0	3,5	2	1.200
Anecchini (2005)	Vitória	6,8	10,4	19,8	14,5	-	3.600
Pinheiro et al. (2005)	Blumenau	5,6	4,4	23,9	3,8	3.474	800
Bastos, 2007	Vitória	6,8	0,9	9,4	2,8	135	4.060

Fonte: Bastos (2007)

Uma relação entre o tipo de superfície de coleta da água e seus prováveis usos, é apresentada na Tabela 6.6. Deve-se atentar para a recomendação de uso potável apenas quando a água de chuva é coletada a partir de telhados aos quais não há acesso de pessoas e animais. Por outro lado, nos casos em que a água é coletada a partir de áreas onde há fluxo de veículos, o tratamento é recomendado, mesmo para usos não potáveis.

Tabela 6.6 Variação da qualidade da água da chuva devido à área de coleta

Nível de tratamento	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas e animais)	Se a água for tratada pode ser consumida
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas e animais)	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Mesmo para usos não potáveis, necessita de tratamento
D	Estradas	Mesmo para usos não potáveis, necessita de tratamento

Fonte: Group Raindrops (1995)

É de conhecimento geral que a chuva inicial é mais poluída por lavar a atmosfera contaminada por poluentes e a superfície de captação, quer sejam telhados ou superfícies no solo. Para uma grande quantidade de usos não potáveis, a remoção de

sólidos grosseiros por peneiramento e o não aproveitamento (descarte) dos primeiros milímetros de chuva, através de um reservatório de eliminação da primeira chuva, pode ser suficiente como tratamento. Para usos mais nobres, como no caso do consumo potável, tratamentos mais complexos se impõem (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Irrigação de jardins.	Nenhum tratamento.
Prevenção de incêndio, torres de resfriamento de sistemas de condicionamento de ar.	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso.
Fontes e lagoas, descarga de banheiros, lavagem de roupa e lavagem de carro.	Desinfecção, devido ao possível contato do corpo humano com a água.
Piscinas, banho de imersão, consumo humano e preparo de alimentos.	Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente.

Fonte: Group Raindrops (1995)

Em uma comparação entre as classes d'água definidas pela resolução CONAMA 357/05, os tipos d'água estabelecidos pela ABNT na NBR 12.216/92 e a qualidade média da água de chuva, são apresentados na Tabela 6.8. A água de chuva em questão pode ser classificada como classe 1, de acordo com o CONAMA 357/05 e em função dos resultados das análises de coliformes totais, a água de chuva pode ser classificada como Tipo B, de acordo com a NBR 12.216/92. Segundo a Resolução CONAMA 357/05, a água de classe 1 deverá receber tratamento simplificado para ser destinada ao abastecimento para consumo humano e, conforme a NBR 12.216/92, água do tipo B, para atender ao padrão de potabilidade, pode receber um tratamento que não exija coagulação química.

Tabela 6.8 Comparação entre as classes d'água estabelecidas pelo CONAMA 357/05, tipos d'água estabelecidos pela ABNT na NBR 12.216/92 e média da água de chuva analisada em Vitória, ES

Parâmetros	CONAMA 357/05				NBR 12216 (ABNT, 1992)				Água chuva
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Média
Turbidez (UNT)	40	100	100	-	-	-	-	-	0,83
Cor (uH)	-	75	75	-	-	-	-	-	7,86
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5 a 9	5 a 9	5 a 9	3,8 a 10,3	6,76
SD (mg L ⁻¹)	500	500	500	-	-	-	-	-	0,06
Cloretos (mg L ⁻¹)	250	250	250	-	<50	50 a 250	250 a 600	>600	2,76
C. Termo (NMP 100 mL ⁻¹)	200	1.000	4.000	-	-	-	-	-	12,64
C. Totais (NMP 100 mL ⁻¹)	-	-	-	-	50 a 100	100 a5000	5000 a 20000	>20000	551,43

C. Termo: Coliformes Termotolerantes

C. Totais: Coliformes Totais

Algumas técnicas de tratamento de água de chuva para diversos fins são apresentadas na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização

Método	Local	Resultado
Telas e grades	Calhas e tubo de queda	Retém folhas e galhos
Sedimentação	No reservatório	Remove matéria particulada
Filtração na linha de água	Após bombeamento	Retém sedimentos
Carvão ativado	Na torneira	Remove cloro
Osmose reversa	Na torneira	Remove contaminantes
Camadas mistas	Tanque separado	Captura material particulado
Filtro lento	anque separado	Captura material particulado
Desinfecção	Antes do uso	Elimina micro-organismos
Fervura / destilação	Antes do uso	Elimina micro-organismos
Cloração	No reservatório ou no bombeamento	Elimina micro-organismos
Radiação ultravioleta	Reator UV após a filtração	Elimina micro-organismos
Ozonização	Antes da torneira	Elimina micro-organismos

Fonte: Texas (1997)

6.4.3 Reúso de esgoto sanitário

O reúso de esgotos sanitários tratados é, sem sombra de dúvidas, uma das principais soluções a serem adotadas na reversão do estresse hídrico, em qualquer região do planeta e, em especial, no semiárido. Esta prática assume papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos, por liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários. Além do importante reforço na disponibilidade de água, o reúso também pode assegurar o aporte essencial de nutrientes para culturas agrícolas estratégicas. Tal fato está na base da concepção da maior parte dos sistemas de reúso de águas na Europa e nos EUA (Califórnia), em contraste com outras regiões do planeta nas quais a água de reúso é direcionada, prioritariamente, para outros fins que não a agricultura (Figura 6.8).

Água de reúso pode ser definida como qualquer tipo de água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. No Brasil, o reúso planejado de esgotos tratados ou não é uma prática corrente. Não obstante, o reúso indireto não planejado a partir de córregos poluídos nas áreas urbanas, é frequente para a irrigação de hortaliças e outros vegetais. As realizações de larga escala em termos de agricultura, ainda são incipientes e limitadas a poucas experiências controladas que associam empresas de saneamento e centros de pesquisa (Bastos, 2003). No que diz respeito ao reúso industrial, algumas experiências de sucesso no setor privado se encontram em curso mas ainda não se pode considerar que a exploração do potencial de reúso industrial esteja ocorrendo em escala adequada no Brasil.

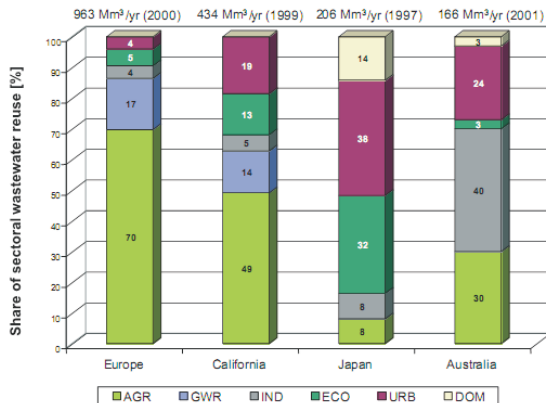


Figura 6.8 Quantidades totais de consumo de água de reúso e distribuição por tipo de uso (AGR – agricultura; GWR – Recarga de aquíferos; IND – Indústrias; ECO – Ecológico; URB – Urbano; DOM – Doméstico) em diferentes regiões do mundo (AQUAREC, 2006)

Apesar da ausência dos arcabouços legal e institucional no Brasil, o próprio Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece, em sua Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005, que critérios gerais para reúso de água potável relacionam os pontos fortes a favor da prática (BRASIL, 2005):

- a Lei no 9.433, de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, dá ênfase ao uso sustentável da água;

- a Década Brasileira da Água, instituída pelo Decreto de 22 de março de 2005, cujos objetivos são promover e intensificar a formulação e a implementação de políticas, programas e projetos relativos ao gerenciamento e uso sustentável da água;

- a diretriz adotada pelo Conselho Econômico e Social da Organização das Nações Unidas-ONU, segundo a qual, a não ser que haja grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deverá ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior;

- o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo tal prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos;

- a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e de qualidade;

- a elevação dos custos de tratamento de água em função da degradação de mananciais;

- a prática de reúso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e

outros usos mais exigentes quanto à qualidade.

Segundo Alves et al. (2005), para que a utilização de água de reúso se consolide como prática usual de conservação no Brasil, necessita-se de:

- regulamentação técnica adequada, para minimizar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente;
- divulgação permanente de experiências e dos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos;
- disponibilização de serviços e equipamentos compatíveis com o mercado brasileiro.

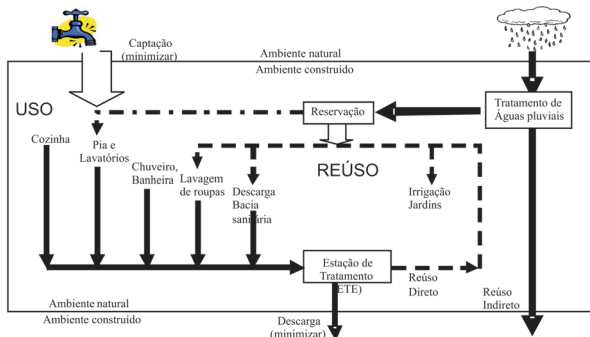
No Brasil, através da norma NBR 13.969/97, a ABNT estipula que o esgoto tratado a níveis sanitariamente seguros deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, tais como irrigação dos jardins, lavagem de piso e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas, pastagens etc.

6.4.3.1 Planejamento do reúso

O aumento da disponibilidade hídrica e a reciclagem de nutrientes na região através de empreendimentos de reúso de água, devem considerar ações integradas tanto na escala meso quanto na escala micro. O planejamento é ferramenta fundamental para a segurança sanitária e a minimização dos custos de implantação e de operação. Os pontos essenciais a serem definidos, são:

- os usos previstos para a água de reúso;
- a demanda de água de reúso, que define o volume de esgoto a ser tratado para reutilização;
- a qualidade da água de reúso, que define a tecnologia de tratamento do esgoto sanitário;
- o sistema de reservação e de distribuição;
- as rotinas operacionais e de manutenção;
- a capacitação dos recursos humanos.

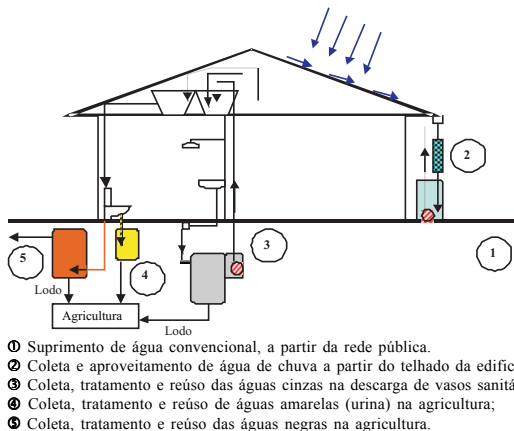
Na escala meso, referente ao sistema público de esgotamento sanitário, os efluentes das estações de tratamento de esgotos podem ser disponibilizados juntamente com as águas de escoamento pluvial, para uso na própria área urbana ou enviados para uso nas áreas rurais (Figura 6.9). Dependendo das circunstâncias, o reúso pode vir a ser apenas uma extensão do tratamento de esgotos, sem exigir grandes obras e investimentos adicionais. Além da qualidade, a quantidade de água de reúso demandada deve ser definida por ocasião do planejamento, uma vez que nem sempre toda vazão de esgoto tratado é passível de ser útil. A transposição de bacias de esgotamento sanitário é factível, nos casos em que a água de reúso venha a atender a demandas específicas nas áreas adjacentes.



Adaptado de Wong (2007)

Figura 6.9 Uso de fontes alternativas de água para minimizar a importação de água e a exportação de esgoto sanitário e de água de drenagem urbana, a partir do ambiente urbano

Na escala micro, o reúso pode ser realizado a partir de esgoto sanitário ou de águas cinzas, que vêm a ser as águas residuárias sem contaminação fecal geradas nas edificações (águas residuárias geradas nas pias, lavatórios, chuveiros, tanques, etc). No primeiro caso, o sistema de tratamento deve ser concebido para eliminar grandes quantidades de patógenos presentes no esgoto sanitário; no segundo caso, a segregação das águas residuárias em águas cinzas e águas negras requer um sistema hidrossanitário alternativo, projetado para isto. A estrutura de um sistema hidrossanitário desenvolvido a partir do modelo de saneamento ecológico, que prevê o aproveitamento de fontes alternativas nas residências e a reciclagem dos nutrientes dos excretas, é apresentada na Figura 6.10.



- ① Suprimento de água convencional, a partir da rede pública.
- ② Coleta e aproveitamento de água de chuva a partir do telhado da edificação;
- ③ Coleta, tratamento e reúso das águas cinzas na descarga de vasos sanitários;
- ④ Coleta, tratamento e reúso de águas amarelas (urina) na agricultura;
- ⑤ Coleta, tratamento e reúso das águas negras na agricultura.

Fonte: Gonçalves (2006)

Figura 6.10 Esquema de um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação

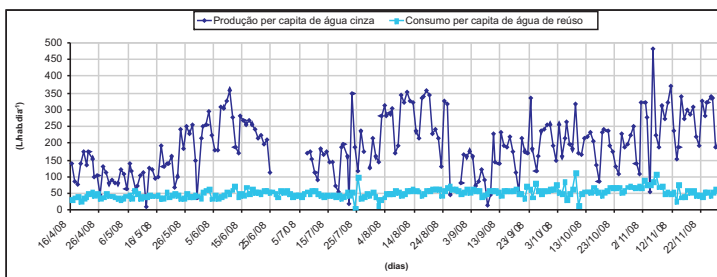
O modelo prevê linhas de suprimento de água diferentes para fins potáveis e para fins não potáveis. O suprimento de água potável (convencional) é assegurado pela empresa concessionária do serviço de abastecimento público de água (cor verde no desenho). Como fontes alternativas de água para fins não potáveis prevê-se a utilização de água de chuva (cor azul) e o reúso de águas cinzas, de maneira consorciada ou não. A água de chuva é coletada no telhado da edificação e encaminhada para uma cisterna, para posterior utilização; finalmente, o modelo prevê o aproveitamento de águas amarelas, das águas negras tratadas e de lodo na agricultura (Otterpohl, 2001). Uma descrição das linhas de produção de águas residuárias nas residências é apresentada a seguir:

- Águas negras: água residuária proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Águas negras segregadas das demais resultam em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos. Os lodos podem ser aproveitados na agricultura e o biogás valorizado do ponto de vista energético.

- Águas cinzas: águas servidas provenientes dos diversos pontos de consumo de água na edificação (lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque), excetuando-se água residuária proveniente dos vasos sanitários (Jefferson et al, 1999; Eriksson et al, 2002; Ottoson & Stenström, 2003). Alguns autores, como Nolde (1999) e Christova-Boal et al. (1996), não consideram como água cinza mas, sim, como água negra, a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nela presentes. Uma revisão ampla sobre as diversas abordagens do gerenciamento de águas cinzas em edificações, foi realizada por Gonçalves (2006). Em muitos casos, em especial quando se trata de edificações com vários andares, esta prática é mais viável economicamente do que o aproveitamento de águas pluviais.

- Águas amarelas: água residuária proveniente de dispositivos que separam a urina das fezes. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura.

Os estudos de caracterização do consumo de água potável em residências brasileiras autorizam uma estimativa de economia de água variando entre 15 a 30%, caso se implemente o aproveitamento de fontes alternativas. O monitoramento do consumo de água em um edifício com reúso de águas cinzas em Vitória, ES, comprovou uma economia de 24% de água potável; entretanto, apenas 32% da água cinza produzida foram reutilizados, e o restante direcionado para a rede de esgoto (Figura 6.11). O maior consumo de água de reúso naquela edificação ocorre nas descargas das bacias sanitárias dos apartamentos (83%), seguido da área comum (12%) e por fim a área de lazer (5%).



Fonte: Pertel (2009)

Figura 6.11 Série histórica da produção per capita de água cinza e consumo per capita de água de reúso, em uma edificação residencial multifamiliar em Vitória, ES

Embora aporte um impacto significativo na redução dos consumos de água e de produção de águas residuárias, o aproveitamento de fontes alternativas em uma edificação demanda um investimento significativo para instalação dos componentes do sistema. Devem ser considerados uma rede de abastecimento dupla, dois reservatórios de água (um potável + um não potável), e um sistema para tratamento da água não potável, antes do uso. Os custos de investimento, de operação e de manutenção, dependem do tipo de instalação e das condições locais. No que se refere à funcionalidade da edificação, o uso de fontes alternativas não implica em grandes modificações, a não ser a manutenção dos sistemas de tratamento e de armazenamento.

Outro aspecto muito importante diz respeito à aceitação social da medida, que pode não ser muito positiva devido à resistência natural que as pessoas experimentam quando se trata de contato direto ou indireto com águas residuárias de qualquer natureza. A aceitação social do reúso de água é inversamente proporcional à probabilidade de contacto humano e ingestão (Gonçalves, 2006). Campanhas de sensibilização, informação e educação, devem ser dirigidas aos usuários, promovidas pelos administradores das edificações e pelos gestores dos sistemas de abastecimento de água e pelos responsáveis por unidades de comércio, indústria e instalações coletivas.

6.4.3.2 Usos e padrões de qualidade recomendados para a água de reúso

Os níveis de sofisticação e de eficiência do tratamento a que será submetido o esgoto sanitário, dependem da qualidade da água de reúso e dos usos a que ela se destina. Os principais usos e seus respectivos padrões de qualidade utilizados em vários países estão resumidos na Tabela 6.10. A qualidade exigida para os diversos usos previstos na ABNT NBR 1969/97, e os respectivos processos de tratamento sugeridos para gerar tais águas de reúso, se encontram relacionados a seguir:

Classe 1 – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes:

Tabela 6.10 Padrões de qualidade de águas de reúso em diversos países

Tipo de reúso	pH	SST mg/l	SDT mg/l	Turbidez UT	DBO5 mg/l	Deterg. mg/l	NTK mg/l	NNH4 mg/l	P total mg/l	OD mg/l	Cloro residual mg/l	Coliformes totais	Coliformes Termotoler.	Ref.
Bacia sanitária (Alemanha)	-	-	-	-	5	-	-	-	-	>50% -	-	<100/ml	<10/ml	1
Bacia sanitária (China)	6,0 a 9,0	<1500	<1500	<5	<10	1	-	<10	-	>1mg/l após 30 min e >0,2mg/l até o ponto de uso	-	<3/100ml	<3/100ml	2
Irrigação (China)	6,0 a 9,0	<1000	<1000	<20	<20	1	-	<20	-	>1 mg/l após 30 min e >0,2mg/l até o ponto de uso	-	<3/100ml	<3/100ml	2
Lavagem de roupa (China)	6,0 a 9,0	>1000	>1000	<5	<6	0,5	-	<10	-	>1mg/l após 30 min e >0,2mg/l até o ponto de uso	-	<3/100ml	<3/100ml	2
Restrito a represas e lagos (China)	6,0 a 9,0	-	-	-	<6	0,5	15	<5	<0,5	>1,5 -	-	<10000/100 ml	<10000/100 ml	2
Não restrito a represas nem a lagos (China)	6,0 a 9,0	-	-	<5	<6	0,5	15	<5	<0,5	>2 -	-	<500/100ml	<500/100ml	2
Reuso irrestrito (EUA)	6,0 a 9,0	-	-	<2	10	-	-	-	-	-	1mg/l	-	ND/100ml	3
Reuso restrito (EUA)	6,0 a 9,0	30	-	-	30	-	-	-	-	-	1mg/l	-	<200/100ml	3
Bacia sanitária (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	Não desagradável	≤20	-	-	-	-	-	Retida	≤1000/ml	-	4
Irrigação de áreas verdes (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	Não desagradável	≤20	-	-	-	-	-	≥0,4	≤50/ml	-	4
Áreas com finalidade estética (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	≤10	≤10	-	-	-	-	-	-	≤1000/ml	-	4
Área de contato limitado com o público (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	≤5	≤3	-	-	-	-	-	-	≤50/ml	-	4
Bacia sanitária (Brasil) **	6,0 a 9,0	≤5	≤500	≤2	≤10	-	-	≤20	≤0,1	-	-	-	N.D.	5
Bacia sanitária (Brasil)				≤10									≤500/100mL	6
Uso irrestrito em áreas urbanas e agrícolas **	6,0 a 9,0			≤2	≤10						≤1,0 mg/L	≤100/mL	≤10/mL	7

** Não é norma, mas sim uma proposição de norma pelos autores

- turbidez - inferior a 5,0;
- coliforme fecal – inferior a 200 NMP 100 mL⁻¹;
- sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg L⁻¹;
- pH entre 6.0 e 8.0;
- cloro residual entre 0,5 e 1,5 mg L⁻¹.

Processos recomendados para tratamento: tratamentos anaeróbio – aeróbio ou aeróbio simples (Ex: filtro aeróbio submerso) seguidos de filtração convencional (areia e carvão ativado) e cloração. A filtração convencional pode ser substituída pela filtração em membranas.

Classe 2 – Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais, para fins paisagísticos, exceto chafarizes:

- turbidez - inferior a 5,0;
- coliforme fecal – inferior a 500 NMP 100 mL⁻¹;
- cloro residual superior a 0,5 mg L⁻¹

Processos recomendados para tratamento: tratamentos anaeróbio – aeróbio ou aeróbio simples (Ex: filtro aeróbio submerso) seguidos de filtração de areia e desinfecção. A filtração convencional pode ser substituída pela filtração em mebranas.

Classe 3 – Descargas de bacias sanitárias:

- turbidez - inferior a 10,0;
- coliforme fecal – inferior a 500 NMP/100ml.

Processos recomendados para tratamento: as águas de descarte da lavagem de roupa podem atender a este padrão de turbidez, o que exigiria apenas uma cloração. Não obstante, as altas concentrações de matéria orgânica e de sulfato nelas presentes, podem resultar na produção de odores desagradáveis nas instalações sanitárias. Recomenda-se, portanto, um tratamento anaeróbio – aeróbio ou aeróbio simples que, seguido de filtração e desinfecção, satisfaz a este padrão.

Classe 4 – Reúso em pomares, cereais, forragens, pastagem para gado e outros cultivos, através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

- coliforme fecal – inferior a 5.000 NMP 100 mL⁻¹;
- oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg L⁻¹.

As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÍVEL DE TRATAMENTO

6.5.1 Reúso de esgoto sanitário

Quase todos os processos de tratamento de esgotos sanitários existentes foram concebidos, inicialmente, para realizar a remoção de matéria orgânica, com

possibilidade de adaptação para a remoção de nutrientes nitrogênio e fósforo. Este objetivo de desempenho foi objeto das duas primeiras etapas do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), que enfatizou o desenvolvimento de tecnologia para o tratamento anaeróbio de esgotos e para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (CAMPOS, 1999 e CHERNICHARO et al., 2001). Uma comparação entre a qualidade do efluente de uma estação de tratamento de esgoto a nível secundário com os padrões de qualidade normalmente exigidos em águas de reúso, se encontra na Tabela 6.11.

Tabela 6.11 Resumo dos principais parâmetros de qualidade de água de reúso (Aquarec, 2006)

Parâmetro	Relevância para o reúso	Esgoto tratado EEC/271/91*	Faixa de valores – água de reúso
DBO5	Substrato orgânico para crescimento microbiano ou algal	25 mg L ⁻¹	1 a 10 mg L ⁻¹
COT	Medida do carbono orgânico	Não objetável	1 a 10 mg L ⁻¹
Sólidos suspensos totais (SST)	Partículas podem aportar contaminação microbiana e turbidez; prejudica a desinfecção	35 a 60 mg L ⁻¹	1 a 10 mg L ⁻¹
Turbidez	Parâmetro inferencial das partículas na água; tem relação com SST	Não objetável	1 a 30 UT
Nitrogênio e Fósforo	Nutrientes para a irrigação; podem gerar crescimento algal	N: Não objetável 10 a 15 mg L ⁻¹	1 a 30 mg L ⁻¹
		P: Não objetável 1 a 2 mg L ⁻¹	1 a 20 mg L ⁻¹
Coliformes totais, termotolerantes e E.coli	Utilizados na avaliação do risco microbiológico de infecção	-	1 a 1000 UFC 100 mL ⁻¹

* Limites constantes na Diretiva de Águas Residuárias Urbanas da Comunidade Européia (EEC/271/91)

Embora os processos de tratamento apresentem, via de regra, eficiências elevadas na inativação de organismos patogênicos e seus indicadores, as concentrações de micro-organismos presentes nos efluentes tratados quase sempre ultrapassam os valores limites das principais normas (Tabela 6.11). Os valores médios das densidades de coliformes termotolerantes no esgoto sanitário de características médias, submetido a diferentes níveis de tratamento, são apresentados na Tabela 6.12. Em função das grandes quantidades desses micro-organismos a serem inativados no esgoto sanitário, as eficiências de remoção necessárias para que o efluente tratado atinja os padrões de qualidade microbiológica, podem superar 99,99%. Um caso típico é a associação de reatores UASB e pós-tratamento aeróbio mecanizado, tratando esgotos a nível secundário que, mesmo reduzindo em média de 90 a 99% a densidade inicial de coliformes termotolerantes, ainda gera efluentes com importantes densidades de organismos (a redução é de apenas 1 ou 2 ordens logarítmicas), como se observa:

- densidade de coliformes termotolerantes típica do esgoto bruto: 10^7 NMP/100 ml;
- densidade de coliformes no efluente com 90% de redução: 10^6 NMP/100 ml;
- densidade de coliformes no efluente com 99% de redução: 10^5 NMP/100 ml;
- redução necessária para atingir um padrão de reúso agrícola ou de balneabilidade (efluente com 10^3 NMP / 100 ml): 99,99%.

Consequentemente, mais do que os valores de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes, as densidades de micro-organismos no efluente tratado devem ser consideradas balizadores. Comparando-se os diferentes processos de tratamento na Tabela 6.12 organizada por von Sperling & Chernicharo et al. (2002), observa-se que os únicos processos de tratamento capazes de produzir efluentes tratados com densidades de coliformes termotolerantes iguais ou inferiores a 10^3 NMP 100 mL⁻¹ são as lagoas de maturação, a infiltração no solo e aqueles que possuem uma etapa específica para desinfecção. Além desses processos envolvendo lagoas de estabilização não mecanizadas e processos envolvendo filtração física (infiltração no solo e biofiltros aerados submersos) também podem alcançar baixas densidades de ovos de helmintos no efluente.

Tabela 6.12 Níveis de tratamento e valores típicos dos principais parâmetros de qualidade nos efluentes

Nível de tratamento	SS	DQO	DBO5	Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)
	(mg L ⁻¹)			
Esgoto bruto	300	600	300	1.00E+07
Primário	120	420	180	1.00E+07
Anaeróbio	100	210	90	1.00E+05
Secundário / Lagoas facultativas	80	150	30	1.00E+04
Secundário	20	85	20	1.00E+05
Filtração terciária	5	50	5	1.00E+04

Portanto, a desinfecção de esgotos sanitários é uma etapa fundamental dos sistemas de reúso de águas, embora nem sempre vise à eliminação total de micro-organismos (esterilização), conforme ocorre na medicina e na indústria de alimentos. Desinfetar esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, em consonância com os padrões de qualidade estabelecidos para as diferentes situações. A desinfecção pode ser realizada através de processos artificiais ou naturais. Tanto os processos artificiais como os naturais se utilizam, isoladamente ou de forma combinada, de agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. No caso dos processos naturais há, ainda, o concurso de agentes biológicos na inativação de patógenos. Entre os agentes físicos pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e filtração em membranas. O aquecimento é uma técnica reconhecidamente eficiente na desinfecção de águas mas não encontra aplicação

prática no tratamento de esgotos por ser extremamente antieconômica até mesmo em pequena escala. As radiações ionizantes do tipo gama, também em função dos custos envolvidos, se restringem a aplicações de pequena escala. No tocante à radiação ultravioleta, suas aplicações experimentam aceitação crescente, tanto através da técnica de solarização, que utiliza a luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto através dos reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta. A filtração em membranas já integra o fluxograma de algumas estações de tratamento de esgotos e experimenta crescente aplicação devido à redução de preço das membranas. A desinfecção química é realizada com a aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio. Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes à ação de predação ou de competição de outros organismos, resulta na inativação de patógenos. As principais características dos processos de desinfecção de esgotos sanitários mais utilizados são listadas na Tabela 6.13.

6.5.2 Reúso de águas cinzas

As águas cinzas possuem características semelhantes às do esgoto sanitário convencional, com exceção do nitrogênio, que é escasso, pois é proveniente, em grande parte, das fezes e urina. Há também menores densidades de micro-organismos, devido à menor contaminação fecal nos pontos de geração. Os contaminantes químicos mais significativos nas águas cinzas são derivados de produtos utilizados na lavagem de roupas e banheiros. Os produtos químicos mais utilizados são os surfactantes (agentes ativos de superfície), tendo em vista que são amplamente utilizados para higienização e limpeza (Eriksson, 2002).

Particularmente, as concentrações de sulfeto são de interesse, por estarem envolvidas na formação do gás sulfídrico (H_2S), que gera odores desagradáveis quando acima de 1 mg L^{-1} . Tais concentrações podem ser aumentadas em virtude das concentrações de sulfato superiores a 150 mg L^{-1} e de matéria orgânica na água cinza, pois em ambientes anaeróbios o sulfato é reduzido a sulfeto durante a oxidação de compostos orgânicos.

Dependendo do objetivo de qualidade almejado, o tratamento das águas cinza para efeito de reúso, pode ser realizado através de processos físico, químico e biológicos associados. Em qualquer caso, é importante a introdução de uma etapa de separação sólido-líquido no início do fluxograma de tratamento. A presença de sólidos grosseiros (areia, cabelos, felpas de tecidos, restos de alimentos, entre outros tipos de material) nas águas cinza, embora de dimensões reduzidas devido à presença dos ralos e grelhas nas instalações hidrossanitárias, exige esta etapa física de retenção dos sólidos. Caso a água de reúso tenha, por finalidade, usos irrestritos (Ex: descarga sanitária), o fluxograma de tratamento deve ser encerrado com uma etapa de desinfecção.

Tabela 6.13 Vantagens e desvantagens dos processos de desinfecção mais utilizados

Agentes		Processos	Vantagens	Desvantagens
Processos naturais	Químicos, físicos e biológicos	Lagoas de estabilização	<ul style="list-style-type: none"> - Processo natural, sem mecanização; - Não gera efeitos residuais prejudiciais; - Operação simples; - Pode ser realizado de forma concomitante com à estabilização da matéria orgânica; 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessita de muita área; - Tempo de detenção muito longo (vários dias); - Desempenho depende das condições climáticas; - Produz algas em grande quantidade.
		Disposição no solo	<ul style="list-style-type: none"> - Processo natural, sem mecanização; - Não gera efeitos residuais prejudiciais; - Operação simples; - Pode ser realizado de forma concomitante à estabilização da matéria orgânica; 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessita de muita área; - Desempenho depende das condições climáticas; - Sensível à quantidade de sólidos suspensos no afluente.
Processos artificiais	Químicos	Cloração	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia amplamente conhecida; - Menor custo; - Cl residual prolonga a desinfecção e indica a eficiência do processo; - Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos; - Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos; - Flexibilidade de dosagens; 	<ul style="list-style-type: none"> - Cl residual é tóxico e requer descloração; - Todas as formas de cloro são altamente corrosivas e tóxicas; - As reações com Cl geram compostos potencialmente perigosos (trihalometanos –THM); - Aumenta os sólidos totais dissolvidos; - Cl residual é instável na presença de materiais que demandam cloro; - Alguns patógenos são resistentes.
		Cloração / descloração	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia bem desenvolvida; - Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos; - Oxidação de certos compostos orgânicos e inorgânicos; - Flexibilidade de dosagens; 	<ul style="list-style-type: none"> - Requer adição de produtos químicos para eliminar cloro residual; - Elimina o efeito residual da desinfecção com cloro; - Gera sub-produtos potencialmente perigosos; - Aumenta os sólidos totais dissolvidos; - Alguns patógenos são resistentes.
		Ozonização	<ul style="list-style-type: none"> - Mais efetivo na destruição de vírus e bactérias que o cloro; - Utiliza curto tempo de contato (de 10 a 30 minutos); - Não gera residuais perigosos; - Não resulta em recrescimento de bactérias, exceto as protegidas pelo material particulado; - É gerado "in situ", com fácil armazenamento e manuseio; - Eleva o O.D. no efluente tratado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixas doses podem não inativar alguns vírus, esporos, e cistos; - Tecnologia mais complexa que a desinfecção com cloro ou UV; - O₃ é muito reativo e corrosivo; - Não é econômico para esgotos com muitos SS, DBO ou DQO; - O₃ é extremamente irritante e possivelmente tóxico; - O custo do tratamento pode ser relativamente alto.

Continua...

Continuação da Tabela 6.13

Agentes	Processos	Vantagens	Desvantagens
Físicos	Ultravioleta	<ul style="list-style-type: none"> - Efetiva na inativação de vírus e esporos; - Não necessita de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos; - Não gera efeitos residuais prejudiciais; - Operação simples; - Tempo de contato muito curto (de 20 a 30 s); - Menor demanda de espaço que outros processos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixas dosagens não inativam alguns vírus, esporos e cistos, - Os microorganismos podem se multiplicar através de fotoreativação ou recuperação no escuro; - Necessita de controle da formação de biofilmes nos reatores de contato; - É sensível à turbidez e sólidos suspensos totais no esgoto; - É mais caro do que a cloração, e mais barato que a cloração-descloração.
	Filtração terciária	<ul style="list-style-type: none"> - Melhora significativamente a qualidade físico-química do efluente; - Realiza a remoção complementar de fósforo do esgoto; - Eficiente na remoção de ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência variável e inespecífica com relação aos patógenos; - Requer produtos químicos de coagulação – floculação; - Funcionamento intermitente devido à necessidade de lavagem dos filtros; - Demanda operacional com nível intermediário.

Fonte: Gonçalves (2003)

Tabela 6.14 Caracterização de águas cinzas brutas (concentrações médias de parâmetros físico-químicos) segundo pesquisas em diferentes locais do mundo

Autores/Local	pH	Turbidez (NTU)	DQO	DBO ₅	SST (mg L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺	P total
Peters, 2008 (UFSC) * Florianópolis/ BRASIL	7,7	167,5	382,5	-	119,5	4,2	5,6
Valentina, 2009 (UFES) * Vitória/ BRASIL	7,8	73	237	106	78	1,28	2,87
Birks e Hills, 2007 * INGLATERRA	7,2	26,5	96,3	46,4	36,8	4,6*	0,9
Paulo et al, 2007 ** Campo Grande/BRASIL	6,5	187,0	508,0	-	109,0	8,0	40,0**
Gual et al, 2008 *** ESPANHA	6,8	39,0	73,0	-	32,0	4,0*	-

Fonte: Valentina (2009)

* Chuveiro, lavatório, lavagem de roupas, ** Chuveiro, lavatório, lavagem de roupas, cozinha, *** Chuveiro, lavatório

Admite-se, como regra geral, que os tratamentos mais simples, com menor grau de mecanização, são melhor adaptados a pequenas edificações, normalmente unifamiliares, produzindo água de reúso com padrão de qualidade relativamente pouco exigente (Exemplo: alagados construídos). Para edificações de maior porte é comum o emprego de tecnologia de tratamento compacta e com configuração com maior

complexidade e mecanização. Vários arranjos foram testados em diversos países, com resultados bastante diversos no que se refere à eficiência de tratamento (Valentina et al., 2009, Gonçalves, 2006, Li et al., 2009). A Tabela 6.15 apresenta alguns desses sistemas, seus respectivos locais de implantação e escala.

Tabela 6.15 Tecnologias estudadas para o tratamento de águas cinza em diferentes locais do mundo

Autor/Local	Tecnologia	Escala Volume/Vazão
Surendran e Wheatley, 1998 INGLATERRA	Biofiltro Aerado + Filtro lento	Moradia estudantil 40 pessoas
Lesjean et al, 2006 ALEMANHA	Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical	10 apartamentos residenciais + 1 escritório comercial $Q = 4,8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$
Goddard, 2006 AUSTRÁLIA	Reator com membrana + Desinfecção UV	100 apartamentos residenciais
Ghisi e Ferreira, 2007 Florianópolis/BRASIL	Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Prédio mutiresidencial
Paulo et al, 2007 BRASIL	Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Residência 2 pessoas
Gilboa e Friedler, 2008 ISRAEL	Biodisco + Decantação	14 apartamentos residenciais
Gual et al, 2008 ESPANHA	Pré-cloração + Filtro de areia + Pós-cloração	Hotel - $Q = 26,7 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$
Peter, 2008 (UFSC) SC/BRASIL	Filtro anaeróbio + Filtro de areia	Residência 3 pessoas
Valentina, 2008 (UFES) ES/BRASIL	Reator anaeróbio compartimentado + Biofiltro aerado submerso + cloração	Prédio mutiresidencial

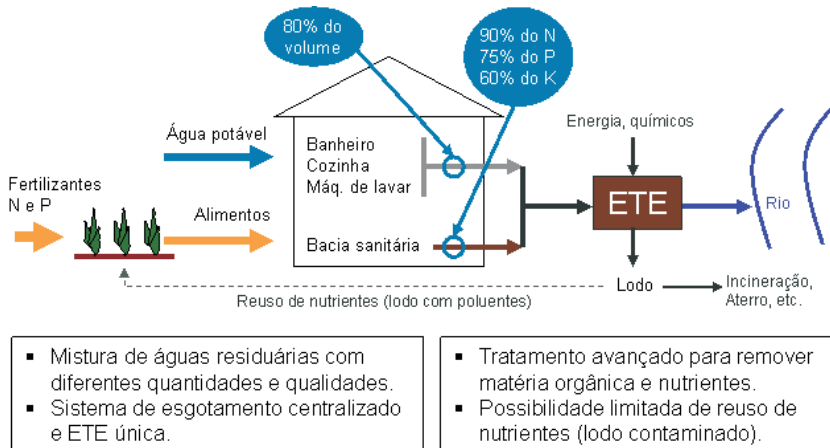
Os alagados construídos, ou wetlands, se constituem em um processo de tratamento efetivo e de baixo custo, que utiliza a interação de plantas e micro-organismos na remoção de poluentes; eles têm sido usados há muito tempo para o tratamento (ou pós-tratamento) de esgoto doméstico, apresentando alta eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes, sólidos suspensos e até mesmo patógenos.

Finalmente, como processos de desinfecção podem ser utilizadas a cloração, a ozonização, a aplicação de radiação ultravioleta, etc. Levando-se em consideração este risco de contaminação, vários sistemas de desinfecção podem ser aplicados às águas cinza tratadas, sendo os mais comumente utilizados a desinfecção por luz ultravioleta e a cloração. No caso de reúso predial recomenda-se, preferencialmente, o uso da cloração, em virtude das concentrações residuais de desinfetante que podem conferir maior segurança sanitária ao sistema hidrossanitário da edificação.

6.6 AÇÕES DE LONGO PRAZO: SANEAMENTO ECOLÓGICO

Os sistemas tradicionais de saneamento produzem um fluxo linear de materiais, causando acumulação e mistura do ciclo da água com o ciclo de alimentos (Figura

6.12). Trazem, na sua concepção original, a premissa de que os nutrientes eliminados nas excretas humanas não têm valor significativo e devem ser descartados (Esrey et al, 1998). Outra desvantagem deste sistema refere-se aos grandes volumes de água utilizados para o transporte dos resíduos nas redes coletoras. Se, por um lado, os problemas urgentes relacionados à higiene são solucionados, por outro, os impactos ambientais nos recursos hídricos utilizados para o suprimento de água potável, são enormes (Otterpohl et al., 2002).



Fonte: Aquarec (2006)

Figura 6.12 Sistema tradicional de saneamento ilustrando os fluxos de água e de nutrientes na escala micro (residencial)

Alternativamente, o saneamento ecológico desenvolve uma concepção da barreira sanitária baseada no ecossistema, reconhece a necessidade de promoção do bem-estar e a saúde da população mas acrescenta, como objetivo vital do metabolismo urbano e rural, a recuperação e reciclagem de nutrientes; exige uma mudança de atitude para com o meio ambiente por parte das pessoas, e deve ser realizado por uma variedade de tecnologias com custo acessível e soluções eficientes, baseadas em processos de reuso e de reciclagem.

Para Esrey (2001), o saneamento ecológico é uma nova concepção de saneamento que se enquadra dentro do conceito de sustentabilidade, e a única solução com futuro nas regiões metropolitanas do planeta. As experiências ainda são incipientes, havendo projetos piloto em andamento em países como Escandinávia, Holanda, Suécia e Alemanha (Skjelhaugen, 1999; Otterpohl, 2000). Os resultados obtidos até o momento indicam que, além dos critérios econômicos e ambientais, os aspectos de natureza sociológica e cultural são determinantes no sucesso de experiências dessa natureza (Otterpohl, 2000).

O saneamento ecológico prevê a separação das diferentes formas de águas residuárias nas suas origens, com o objetivo de valorizá-las (Figura 6.13). A segregação

de águas residuárias na escala residencial permitem soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes permitindo, ao mesmo tempo, uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (Otterpohl, 2001).

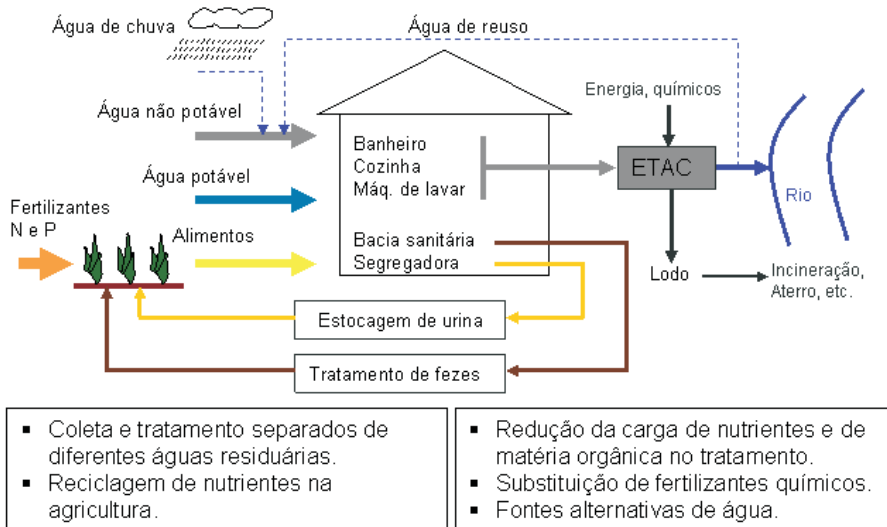


Figura 6.13 Sistema de saneamento ecológico ilustrando os fluxos de água e de nutrientes, na escala micro (residencial)

A separação da urina e fezes tem, como um dos atrativos, o fato de não conterem resíduos industriais que podem apresentar contaminantes químicos que, potencialmente, são passíveis de inviabilizar o reúso do esgoto municipal; no entanto, devem ser tratados para redução de patogênicos em níveis de segurança.

A matéria fecal também pode ser tratada por compostagem em vasos sanitários especiais, que dispensam o uso de água para a descarga. Neles existe um compartimento de compostagem no fundo com drenagem de urina e uma chaminé para suprir o ar necessário ao processo e evitar mau cheiro e proliferação de insetos. O sistema funciona muito bem nas regiões rurais e produz ótimo adubo, mesmo em clima frio.

O gerenciamento alternativo de águas amarelas, baseado na separação das rotas de evacuação da urina e das fezes, maximiza a recuperação e a recirculação de nutrientes que não contenham resíduos perigosos. A urina perfaz menos de 1% do volume do esgoto sanitário gerado em áreas urbanas mas contém a maior parte dos nutrientes essenciais na agricultura (N, P, K), em quantidades bastante adequadas para o uso direto na produção (Esrey et al., 2000). Estima-se que este tipo de reciclagem dos nutrientes possa substituir de 20 a 25% dos atuais fertilizantes químicos comerciais;

sua utilização pode ser feita tanto na forma líquida quanto na forma de cristais precipitados como, por exemplo, estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$).

Para maiores informações sobre as técnicas de saneamento ecológico em áreas urbanas e rurais, o leitor pode consultar Esrey et al. (2000) e Gonçalves (2006).

6.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abordou-se, neste capítulo, a necessidade de aplicação de modelos de desenvolvimento regional sensíveis a água no semi-árido brasileiro que considerem, nas suas concepções as soluções integradas entre as escalas macro (bacias hidrográficas), meso (regional) e a micro (local), entre as áreas urbanas e rurais e a utilização de águas de diferentes qualidades para os mais diversos fins. Propõe-se que seja estabelecida, como meta, a reconfiguração do-ciclo urbano da água tal como concebido e praticado atualmente na região, perdulário (água e nutrientes) e que dilapida a capacidade suporte local, para um modelo mais afinado com o desenvolvimento sustentável.

Levando-se em consideração a realidade do semiárido, sugere-se, aqui, que as principais ações de reengenharia do ciclo urbano da água sejam planejadas e implantadas paulatinamente, tendo como objetivo a universalização do saneamento básico na região mediante o emprego de tecnologia alternativa. A excelência na conservação dos recursos hídricos seria atingida a longo prazo, na medida em que os sistemas convencionais de saneamento hoje existentes, evoluam na direção do saneamento ecológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 10.844/89 - Instalações Prediais de Águas Pluviais. Disponível para compra em <http://www.abnt.org.br/>, acessado em 11 de novembro de 2008.
- ABNT NBR 12.216/92 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Disponível para compra em <http://www.abnt.org.br/>, acessado em 11 de novembro de 2008.
- ABNT NBR 13.969/97 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Disponível para compra em <http://www.abnt.org.br/>, acessado em 11 de novembro de 2008.
- ABNT NBR 15.527/07 Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Disponível para compra em <http://www.abnt.org.br/>, acessado em 11 de novembro de 2008.
- Alves, W.C., Rocha, A.L., Gonçalves, R.F. – Capítulo 6 - Aparelhos Sanitários Economizadores. In: *Uso Racional da Água em Edificações*. Coleção PROSAB. Ed. ABES. Rio de Janeiro. p. 267 – 321. 2006
- AQUAREC - Water Reuse System Management Manual – European Commission. ISBN 92-79-01934-1 - 2006-676p.

- ASA 2010 - Articulação no Semi-Árido Brasileiro. Disponível em <http://www.asabrasil.org.br/>, Acessado em 10 de janeiro de 2010.
- Bastos, F.P. Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV. Dissertação de mestrado defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo no ano de 2007. 134p.
- Bastos, R. K. X. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Coleção PROSAB. Rio de Janeiro: Ed. ABES, RiMa, 2003. 253 p.
- Brasil - 2007 - Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 - Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acessado em 12 de janeiro de 2010.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. RESOLUÇÃO Nº. 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005 – Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. (publicada no DOU em 09/03/06).
- BIO - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, Nº 17 – 2001
- Campos, J. R. (coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Coleção PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 464p, 1999.
- Chernicharo, C.A. de L. (coord.) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coleção PROSAB. Belo Horizonte, 2001. p.377-454.
- Cheung; P. B.; Kiperstok, A.; Cohim, E.; Alves, W. C.; Philippi, L. S.; Abe, L. Z. N.; Gomes, H. P.; Silva, B.; Pertel, M.; Gonçalves, R. F. Capítulo 2: Consumo de água. In: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Coleção PROSAB. ISBN: 978-85-7022-161-2. 352p. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- Christova-Boal, D.; Eden, R. E.; MacFarlane, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. V.106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.
- CONAMA - Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>, acessado em 22 de junho de 2008.
- Coombes, P.J.; Kuczera, G.; Integrated urban water cycle management: moving towards systems understanding. In: *Anais da National Conference on Water Sensitive Urban Design – Sustainable Drainage Systems for Urban Areas, August 30th & 31st 2000 (Melbourne, Australia)*
- Cuellen, P. - The Urban Water Agenda in 2007 – Water Services of Austrália – Strategic Planning Workshop, Sydney, 2 February 2007. Disponível em http://www.wentworthgroup.org/docs/Urban_Water_Agenda.pdf, acessado em 22 de janeiro de 2010.
- Eriksson, E.; Auffarth, K.; Mogens, H.; Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. v.4, n.1, p.58-104, 2002.
- Esrey, S. A.; Anderson, I.; Hillers, A.; Sawyer, R. Closing the loop – Ecological Sanitation for food security. Publication on Water Resources nº 18. Swedish International Development Agency. Sweden, 2000.

- Fewkes, A. The use of rainwater for WC flushing: the field-testing of a collection system. *Building and Environment*, v. 34, n. 9, p. 765-772, 1999.
- Gomes, H. P.; Cheung, P. B.; Silva, B. C.; Bezerra, S. T. M. Tecnologias de conservação em sistemas públicos. Coleção PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p. Capítulo 4
- Gonçalves, R. F. Desinfecção de efluentes sanitários. Coleção PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2003. 438p.
- Gonçalves, R. F. Uso racional da água em edificações. Coleção PROSAB. Ed. ABES. Rio de Janeiro. 2006. 352p.
- Group Raindrops. Aproveitamento da Água da Chuva. In: KOBAYAMA, M.; USHIWATA, C.T.; AFONSO, M.A.. Editora Organic Trading – Curitiba/PR. 2002.
- Heyworth, J. S.; Maynard, E. J.; Cunliffe, D. Who consumes what: potable water consumption in South Australia. *Water*, v. 1, n. 25, p. 9-13, 1998.
- in Cooperation with the Center for Maximum Potential Building Systems. 2nd Ed. Austin, Texas , EUA, 1997.
- IPCC, 2007 - Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm, acessado em 15 de janeiro de 2010.
- IPEA - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio — Relatório Nacional de Acompanhamento Ano 2007. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos (SPI/MP). Brasil. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/download/TerceiroRelatorioNacionalODM.pdf>, acessado em 20 de janeiro de 2010.
- Jefferson, B.; Laine, A.; Parsons, S.; Stepherson, T.; Judd, S. (1999)
- LI, F.; WICHMANN, K; ET OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Sci Total Environ*, doi:10.1016/j.scitotenv.2009.02.004)
- Ministério da Integração Nacional - Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Brasília, 2005; Ministério da Integração Nacional. Brasil. disponível em <http://www.mi.gov.br/saofrancisco/revitalizacao/reuso/index.asp>. Acessado em 21. jul.2008
- Nolde, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.
- Otterpohl, 2000. *Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft*. Pfohren, Mallbeton Verlag, stark erweiterte Auflage 2000
- Otterpohl, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Water* v.21. p.37-41, 2001.

- Otterpohl, R. Options for alternative types of sewerage and treatment systems directed to improvement of the overall performance. *Water Science & Technology*. v.45, n.3, p.149-158, 2002.
- Ottoson, J.; Strenström, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. *Water Research*. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.
- Pertel, M. - Caracterização do uso da água e da energia associada à água em uma edificação residencial convencional e uma dotada de sistema de reúso de águas cinza. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 104p. Dissertação Mestrado
- Peter, B.; Cheung, P. B.; Kiperstok, A.; Cohim, E.; Alves, W. C.; Philippi, L.S.; Zanella, L.; Abe, N.; Gomes, H. P.; Silva, B. C.; Pertel, M.; Gonçalves, R. F. Consumo de água. In: *Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p. Coleção PROSAB, Capítulo 2
- Sickermann, J. M. Gerenciamento das águas de chuva – Imprescindível para o futuro das grandes cidades do Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. 4, 2003. Juazeiro. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/abc.htm>>. Acesso em: 12 abril 2005.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - Ano 2005. Disponível em <http://www.snis.gov.br/>, acessado em 20 de janeiro de 2010.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - Ano 2007. Disponível em <http://www.snis.gov.br/>, acessado em 20 de janeiro de 2010.
- Stedman, L. The climate change water data deficit. *Water*, v.21, p.17-20, 2009.
- Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.
- Terpstra, P. M. J. Sustainable water usage systems – models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. *Water Science & Technology*, v.39, n.5, p.65-72, 1999.
- TEXAS - Texas guide to rainwater harvesting. Texas: Water Development Board.
- Tsutiya, M. Abastecimento de água. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- UN - The Millennium Development Goals Report 2009 – New York: United Nations. Disponível em http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2009_ENG.pdf, 60 pgs., acessado em 15 de janeiro de 2010.
- UNEP – United Nations Environment Programme. *Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives*. London: Earthscan, 2002. Rainwater Harvesting and Utilization. Newsletter and Technical Publications. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/index.asp>>. Acesso em: 28 nov 2005.

- UNESCO. Water: a shared responsibility. A United Nations World Water Development Report 2. Paris: UNESCO/Berghahn Books Publishers, 2006. 584p.
- Valentina, R.S.D. - Avaliação do desempenho de um sistema de reúso de águas cinza na conservação de água e de energia em uma edificação residencial. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 2009. Dissertação Mestrado
- von Sperling, M.; Chernicharo, C. A. L. Urban wastewater treatment technologies and implementation of discharge standards in developing countries. Urban Water, V.4, n.1, p.105-114, 2002.
- Wong, T. H. F. Water sensitive urban design – the journey thus far. BEDP Environment Design Guide, The Royal Australian Institute of Architects, 2007, p.1-10.

Conservação dos recursos hídricos no semiárido brasileiro frente ao desenvolvimento industrial

Asher Kiperstok¹, Geiza L. de Oliveira¹,
Karla P. S. O. R. Esquerre¹ & Ricardo de A. Kalid¹

¹ Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

- 7.1 Introdução
- 7.2 Consumo de água industrial no contexto regional
- 7.3 O que é consumo racional de água na indústria?
- 7.4 Água e energia
- 7.5 Usos de água na indústria
- 7.6 Consumo de água industrial sob a ótica da produção limpa
- 7.7 Metodologia para a racionalização do consumo de água industrial: A experiência da rede de tecnologias limpas da Bahia - TECLIM
 - 7.7.1 A parceria universidade-indústria
 - 7.7.2 Conhecimento de como a água é utilizada nas plantas industriais
 - 7.7.3 Aproximação dos saberes acadêmico, operacional e industrial
 - 7.7.4 Inserção dos conceitos de produção mais limpa (P + L) através da capacitação permanente e em larga escala
 - 7.7.5 Balanço hídrico com dados reconciliados
 - 7.7.6 Implementação de um banco digital de idéias
 - 7.7.7 Implantação de sistema de informação geográfica (SIG)
 - 7.7.8 Otimização das redes de transferência de massa
 - 7.7.9 Análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional
 - 7.7.10 Elaboração de projetos conceituais
 - 7.7.11 Auditoria de fontes de alimentação de efluentes
- 7.8 Resultados alcançados
- 7.9 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Conservação dos recursos hídricos no semiárido brasileiro frente ao desenvolvimento industrial

7.1 INTRODUÇÃO

O setor industrial é responsável por aproximadamente 10% da demanda consuntiva de água das regiões áridas e semiáridas; todavia, tem significativa parcela da demanda não consuntiva, em função da sua demanda de energia elétrica. Apesar disso, contribui negativamente com a degradação dos cursos de água, em função do lançamento inadequado de efluentes.

Neste capítulo serão abordados o uso da água na indústria e os meios para torná-lo mais racional, com base na experiência da Rede de Tecnologias Limpas da Bahia, experiência que vem sendo desenvolvida ao longo de uma década de pesquisa cooperativa no tema com a grande indústria da Bahia.

A diversidade de fatores que compõem o consumo de água industrial dificulta a possibilidade de se definir padrões de referência para a alocação de recursos hídricos. É evidente, contudo, que a forma como este consumo se tem dado, ainda dá margem para grandes reduções, que podem ser alcançadas mudando-se a maneira de se atender às demandas requeridas em processos de outorga e na gestão diária das plantas industriais.

Enquanto no Brasil os mecanismos relacionados à gestão da oferta têm evoluído de forma clara, já a gestão da demanda precisa de maior atenção. Para se atingir balanços demanda-oferta mais justos e racionais, sem comprometer o presente nem o futuro de setores e regiões mais frágeis do ponto de vista social e econômico, a contribuição da gestão da demanda é fundamental, para o que são necessárias ações mais firmes, no sentido do uso racional da água.

Enfrentar o problema do consumo da água e geração de efluentes focando o interior dos processos industriais, abre oportunidades de um duplo dividendo, ambiental e econômico. Permite ainda reduzir a necessidade de investimentos no reúso e adequação final daqueles efluentes que não possam ser eliminados na fonte da sua geração, o que implica na difusão de uma cultura preventiva entre operadores

dos processos produtivos e também dos agentes públicos responsáveis pelo licenciamento e fiscalização ambiental das indústrias e da gestão dos recursos hídricos.

Experiências em larga escala desenvolvidas no âmbito dos projetos cooperativos de pesquisa financiados pelos fundos setoriais, dentre os quais se destaca o CTHidro, permitem vislumbrar grandes oportunidades de equilibrar oferta e demanda de água na indústria, a partir desta ótica.

7.2 CONSUMO DE ÁGUA INDUSTRIAL NO CONTEXTO REGIONAL

A gestão dos recursos naturais, quando comprometida com a utopia da sustentabilidade ambiental, impõe desafios que são raramente percebidos. Para ilustrar esta afirmação bastaria lembrar a prevalência de propostas de gestão da oferta sobre as de gestão da demanda na formulação das políticas de recursos hídricos e na implementação de empreendimentos em geral. Na implantação de novos empreendimentos industriais ou na ampliação dos já existentes, continua prevalecendo a lógica da priorização dos esforços para a obtenção de novas fontes externas de abastecimento. Os empreendedores correm atrás da obtenção de direitos de outorga pelo uso da água, pressionando as autoridades por vazões geralmente muito acima do efetivamente necessário. Por sua vez, as autoridades aceitam essas demandas, como se impossível fosse implantar o empreendimento com consumos menores.

O Polo Industrial de Camaçari, espaço onde a Rede de Tecnologias Limpas da Bahia, TECLIM, vem atuando na última década, é um exemplo claro disto mas, sem dúvida, reflete uma realidade bem mais ampla do nosso país.

O leitor poderia questionar o que tem a ver um polo industrial localizado na Região Metropolitana de Salvador, que apresenta uma precipitação anual próxima dos 2.000 mm ano⁻¹, com a disponibilidade de água nas zonas áridas e semiáridas?

Na realidade, tem tudo a ver; este exemplo ajuda a ilustrar a existência de transposições de águas de bacias hidrográficas localizadas em regiões de baixa pluviosidade para regiões em que prevalecem altos índices pluviométricos.

Conforme ilustrado na Figura 7.1, a região metropolitana de Salvador – RMS, recebe um aporte superior a 5m³ s⁻¹ da barragem de Pedra do Cavalo que acumula as águas do Rio Paraguaçu, localizado no semiárido da Bahia; esta transposição é alimentada com energia elétrica gerada no sistema Paulo Afonso, localizado no Rio São Francisco; para tanto, águas de regiões áridas e semiáridas são comprometidas com a geração de energia (em torno de 5 m³ tem que passar pelas turbinas de geração para cada m³ recalado de Pedra do Cavalo). Da mesma forma, para a extração das águas do aquífero sedimentar do São Sebastião, constituinte da Bacia sedimentar de Tucano, utilizadas no abastecimento das indústrias do Polo, é conveniente uma ordem de grandeza similar de energia.

Não se questiona, aqui, a justiça de se comprometer recursos de regiões tradicionalmente carentes de água no abastecimento de atividades em regiões com



Fonte: Embasa

Figura 7.1 Localização dos mananciais hídricos que abastecem a RMS

altos índices pluviométricos. As atividades urbanas e industriais suportadas são de inquestionável relevância econômica; contudo, cabe questionar se o uso da água está sendo feito de forma racional, mesmo se reconhecendo os esforços desenvolvidos neste sentido, neste distrito industrial.

O que seria, então, um consumo racional? Sem dúvida, não os valores clássicos repetidos em diversas publicações – tratar-se-á disto no item a seguir.

Dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), apresentados na Tabela 7.1, apontam que no Brasil, em 2006, entre os usos consuntivos da água a demanda de irrigação representou a maior demanda (46,77%), seguida das demandas urbana (26,01%) e industrial (17,46%).

Também nas regiões hidrográficas (Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco e Atlântico Leste)¹ que compõem, majoritariamente, o nordeste brasileiro (Figura 7.2), esta ordem se mantém mas com maior presença das demandas relacionadas ao meio rural: irrigação (62,725), animal (4,69%) e rural (1,94%).

A demanda industrial nas regiões que compõem o Nordeste representa apenas 10,14% do seu total. Considerando-se que alguns dos maiores polos industriais dessas regiões operam em microrregiões úmidas (Camaçari, Aratu e Suape), a demanda industrial no semiárido nordestino deve atingir percentuais inferiores a 9%.

Esta presença minoritária da demanda de água industrial no Nordeste não deve ser utilizada como argumento para a não priorização dos esforços pelo uso racional da água industrial, por motivos que, mesmo óbvios, convém comentar.

Em primeiro lugar, considere-se que há interligação de microrregiões úmidas com as semiáridas; na eventualidade de eventos críticos, a prioridade recai sobre o atendimento à população (urbana e rural) e dessedentação animal; neste ponto não é de bom arbítrio se destituir de importância esforços de racionalização do uso de recursos naturais aplicados apenas aos usos considerados preponderantes; deve-se lembrar de que, na sua essência, o consumo de água é uma atividade extremamente

¹ Apesar desta agregação de regiões não coincidir com os limites do Nordeste Brasileiro, ela permite um visão aproximada, considerada suficiente para efeito deste capítulo

Tabela 7.1 Demandas consuntivas nas regiões hidrográficas que compõem o semiárido brasileiro

Bacias hidrográficas	Demanda consuntiva ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)					
	Irrigação	Urbano	Industrial	Animal	Rural	Total
Parnaíba	28,70	6,30	1,40	2,40	1,20	40,00
Atlântico Nordeste Oriental	144,60	46,10	26,30	5,10	4,50	226,50
São Francisco	123,30	27,30	17,40	9,10	3,70	180,80
Atlântico Leste	41,60	26,90	9,60	8,70	5,00	91,90
Total	338,20	106,60	54,70	25,30	14,40	539,20
Brasil	861,20	479,00	321,60	144,00	35,70	1.841,50
			(%)			
Demanda de consumo nas bacias que compõem o semiárido	62,72	19,77	10,14	4,69	2,67	100,00
Demanda de consumo no Brasil	46,77	26,01	17,46	7,82	1,94	100,00
Demanda de consumo nas bacias que compõem o semiárido em relação ao Brasil	39,27	22,25	17,01	17,57	40,34	-

Fonte: Adaptado da ANA (2009)

**Figura 7.2** Delimitação das principais regiões hidrográficas que compõem majoritariamente o nordeste brasileiro

descentralizada e diluída em inúmeras pequenas atividades e todas elas devem ser foco de atenção. O consumo de água na irrigação se dá, por exemplo, em cada ponto de irrigação e em cada planta irrigada e é dada pela multiplicação das vazões aplicadas em cada ponto pelo seu número total que compõe esta demanda. O setor industrial é foco de atenção principal da opinião pública no referente à poluição ambiental e ao uso dos recursos naturais.

Deslocar responsabilidades para outros setores ou organizações e até indivíduos, é muito comum mas em nada contribui para a busca da sustentabilidade. Pesquisa realizada por Kiperstok e CND de consultoria (CDN, 2004), visando entender como o brasileiro pensava o futuro, especificamente no referente à questão ambiental, incluiu duas perguntas cujas respostas ilustram a questão da transferência de responsabilidades ambientais para outrem, em que a primeira delas indagava se o entrevistado (foram entrevistadas 4.000 pessoas em todo o país) tinha cuidado com o uso da água em seu domicílio, e a segunda, se ele considerava que “os brasileiros” tinham esse tipo de cuidado.

A Figura 7.3 ilustra o resultado da pesquisa de campo em que, do total de entrevistados, 47% consideram que eles próprios têm muito cuidado, 32% têm relativo cuidado (“mais ou menos”), 14% afirmam ter pouco cuidado e 4%, nenhum cuidado; já quando perguntados sobre “os brasileiros”, apenas 14% das respostas apontam que “eles” têm muito cuidado. As opções “pouco” ou “nenhum cuidado”, apareceram em 62% e 14%, respectivamente.

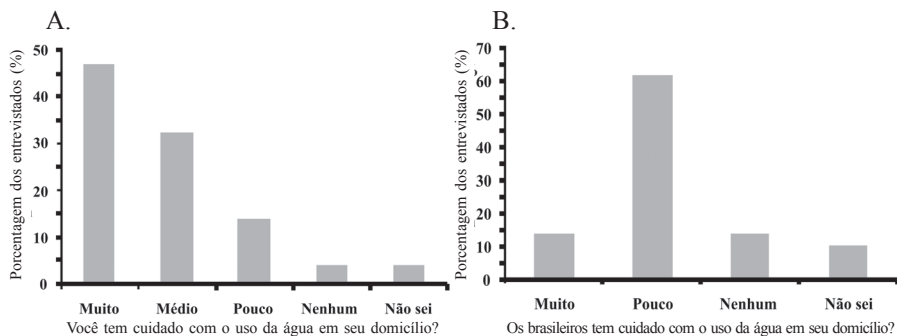


Figura 7.3 Pesquisa de campo que indagava se o entrevistado tinha cuidado com o uso da água em seu domicílio (A) e se ele considerava que os brasileiros tinham esse tipo de cuidado (B)

Cabe citar que, quando inquiridos sobre os principais problemas ambientais que deverão interferir na vida das próximas gerações, dos onze problemas apresentados na pergunta a água foi o mais lembrado na categoria “interferirão muito” (Tabela 7.2).

Quanto à percepção dos principais agentes causadores de poluição, nesta mesma pesquisa os entrevistados indicaram diversos seguimentos industriais como os mais impactantes (Tabela 7.3).

Tabela 7.2 Opiniões sobre os principais problemas ambientais que afetariam muito as futuras gerações

Tipo de problema	% de entrevistados
Água	72
Qualidade do ar	71
Lixo industrial	69
Substâncias tóxicas	67
Mudanças climáticas	67
Lixo urbano	66
Camada de ozônio	65
Solo e subsolo	63
Poluição sonora	59
Biodiversidade	59
Radiações	54

Fonte: Pesquisa Kiperstok e CDN consultoria (2004)

Tabela 7.3 Opinião dos entrevistados sobre os setores produtivos que mais impactam o meio ambiente hoje

Setor	% de entrevistados
Petróleo	23
Química/plásticos	20
Madeira	13
Construção civil	12
Siderúrgica/ metalúrgica	7
Mineração	7
Respondeu não saber	5
Papel de celulose	5
Automobilística	5
Agricultura	3

Fonte: Kiperstok & CDN Consultoria (2004)

Observe-se que apesar da importância atribuída pelos entrevistados ao aspecto água, a agricultura não surge como setor produtivo que preocupasse muito; por sua vez, os principais impactos ambientais decorreriam das atividades dos diversos segmentos industriais.

7.3 O QUE É CONSUMO RACIONAL DE ÁGUA NA INDÚSTRIA?

Definir padrões de consumo efetivo de água em processos industriais precede qualquer discussão sobre seu uso racional em cada unidade produtiva ou em segmentos industriais; lamentavelmente, isto não é uma tarefa fácil.

Na literatura técnica pode-se encontrar informações relacionadas a consumos relativos praticados por diversos segmentos industriais. Essas informações aportam uma ordem de grandeza de consumos praticados que podem auxiliar na implantação de novos empreendimentos e subsidiar estudos amplos de demanda de água; estudos

de caso detalhados, específicos de algumas indústrias, podem ser encontrados, ainda que raros; informações deste tipo, porém, não são muito úteis quando se trata de apontar para um padrão de consumo racional ou fixar metas de redução de consumo em plantas industriais em operação.

Apesar de ser difícil quantificar e generalizar, a experiência indica que uma parte considerável da água consumida na indústria é constituída de perdas e desperdícios, seja em razão de problemas operacionais e de manutenção ou pela falta de atualização tecnológica, motivo pelo qual é fundamental que as empresas mantenham programas permanentes de gestão da água, com metas progressivamente mais agressivas.

A quantidade de água fornecida pelas concessionárias de saneamento para os diversos fins industriais é variável. Devido aos diversos usos da água na indústria, estimativas das quantidades de água utilizadas das diversas fontes, bem como as perdas produzidas, devem ser cuidadosamente analisadas (Metcalf & Eddy, 1991). A água é comprada dos sistemas públicos de abastecimento ou suprida internamente nas empresas, por meio de unidades próprias de captação de origem tanto superficial como subterrânea. Devido ao autossuprimento de algumas indústrias, a contribuição percentual do setor industrial, comparado aos demais setores consumidores de água na região, torna-se menos expressiva, mesmo em regiões tipicamente industriais (Heller, 2006).

Por outro lado, a dificuldade de coletar dados de consumo de água e geração de efluentes nas indústrias, seja por falta de medição ou interpretação ou, ainda, pelas diferentes quantidades e diversos usos da água, o estabelecimento de consumos específicos por produto é uma tarefa difícil. Enquanto a demanda de água para uso agrícola e residencial tem sido bastante discutida na literatura, poucas publicações têm contemplado o uso da água na indústria (Reynaud, 2003).

De acordo com Almeida et al. (2005), enquanto o uso da água está cada vez mais sendo aceito como componente essencial para o gerenciamento sustentável dos recursos naturais, resultados práticos estão dependendo da implementação de diferentes mecanismos, abrangendo informação, educação, regulamentação técnica, padronização e incentivos econômicos, dentre outros. Para se colocar em prática o uso eficiente da água, são necessários uma legislação apropriada, padrões e regulamentos técnicos, de forma a permitir a implantação e evitar eventuais barreiras na aplicação de medidas adequadas.

Alguns dados sobre consumo de água de setores industriais podem ser encontrados, a exemplo da indústria têxtil, de bebidas, laticínios, avícola, papel e celulose, curtumes, petroquímicas e metalúrgicas, dentre outras. Nesses trabalhos, porém, nem sempre são identificadas as fontes consumidoras de água e geradoras de efluentes no interior dos processos, de forma a apontar possibilidades de minimização do consumo, eliminação de desperdícios e reúso. Consideráveis reduções vêm sendo obtidas mas nem sempre se consegue saber se estão próximas ou não do consumo mínimo necessário para este tipo de atividade industrial.

Em Kollar (1980), são apresentados dados de consumo de água para diversos setores industriais nos Estados Unidos. São considerados os consumos de água captada e total, incluindo a parte que é reutilizada. Os consumos são ainda divididos em percentuais que não entram em contato direto, a exemplo dos fluidos a serem resfriados/aquecidos; água de processo que pode ser insumo, incorporar-se ao produto ou vira efluente, e a água para outros fins, como sanitários. Esses consumos foram levantados até a década de 80, quando a questão do uso racional da água, apesar de já estar em discussão, não refletia a realidade atual frente à preservação deste recurso. Além disso, as características geográficas e tecnológicas daquela região e naquela época, não necessariamente traduziam as demais condições de indústrias mundo afora, nos dias atuais. Este estudo foi citado por Gleick (1993) e Mierzwa (2005), como referência de consumos específicos no debate do uso da água na indústria.

Analisando outros dados, como Metcalf & Eddy (1991), em que são apresentadas faixas de consumo para alguns setores industriais, o leitor já se depara com enormes variações para uma mesma atividade, fato já suficiente para o questionamento em até que ponto esta variação é aceitável; além disso, as condições em que referidos padrões foram estabelecidos, não estão claramente descritas.

No Brasil, em estudo feito por Heller (2006), o consumo de água para 156 indústrias do parque industrial da região de Belo Horizonte e Contagem, foi analisado; a dificuldade de obtenção de dados reais de consumo e a alta variabilidade obtida nos resultados são apontadas.

O cruzamento dos resultados dos três estudos anteriormente citados, para se chegar a um valor de referência de consumo para determinada atividade industrial, se vê prejudicado pela dispersão dos dados. O consumo de água na produção de enlatados, por exemplo, apresenta uma faixa de valores de $4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ a $80 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ indicando um consumo 20 vezes maior ou menor, a depender do produto enlatado.

Em relação aos petroquímicos, a variação vai de $17 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para fertilizantes nitrogenados a $227 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para químicos orgânicos industriais. Outras indústrias aparecem como grandes consumidoras de água, a exemplo das indústrias de papel e celulose, têxtil, fibras de celulose e orgânicas e pneus, dentre outras (Kollar, 1980).

A evolução dos consumos específicos verificada ao longo do desenvolvimento de alguns projetos desenvolvidos pelo TECLIM, é apresentada na parte final deste capítulo.

Outra fonte de informação são as consultorias pagas pelas empresas para comparar seus consumos com as de suas concorrentes. Esses estudos, além de onerosos para a indústria, não são abertos completamente para as empresas entre si nem mesmo parcialmente para a sociedade em geral.

Desta forma, surge a questão: pode-se confiar em valores de referência para se estabelecer critérios de outorga que estimulem o uso racional da água em regiões carentes deste recurso ou para orientar planos de gestão dentro de estabelecimentos industriais?

Entende-se que os consumos apontados na literatura, se bem que permitem uma ordem de grandeza quanto à demanda de alguns setores industriais, não devem ser tomados como padrão do uso otimizado da água na indústria nem no momento de outorga de água para novos empreendimentos nem, ainda, na racionalização de processos existentes.

O uso da água requer avaliação periódica; as necessidades devem ser revistas, perdas e desperdícios devem ser permanentemente combatidos, oportunidades de reúso devem ser levantadas e novas tecnologias desenvolvidas de forma a assegurar o uso eficiente deste recurso. Neste sentido, a definição da qualidade mínima aceitável para cada processo ou equipamento é fundamental para o estudo de alternativas de reúso. O aproveitamento da água de chuva pode minimizar a extração dos mananciais e o estudo hidrológico da região na qual a empresa está inserida, pode indicar novas alternativas para a captação.

7.4 ÁGUA E ENERGIA

A relação entre água e energia vem ganhando destaque em função do acelerado crescimento da consciência pública, em torno do problema das mudanças climáticas. De acordo com IWA (2009), água e energia estão fisicamente unidas e não podem ser separadas. O fornecimento de água requer energia e o tratamento de água e efluentes é um componente importante da demanda de eletricidade; desta forma, água e energia devem ser consideradas indivisíveis e de igual importância para a sociedade.

As alterações do clima apontam para um novo comportamento dos ciclos hidrológicos globais e regionais, o que requer um vigoroso esforço de adaptação da sociedade às novas condições. São imprescindíveis, mais do que nunca, a incorporação dos métodos de modelagem e a previsão climática e hidrológica no planejamento de uso dos recursos hídricos. A utilização apenas de registros históricos, não é mais suficiente; a metodologia consolidada de planejar e projetar empreendimentos hídricos a partir da análise das séries históricas de precipitação e vazões superficiais, não se sustenta mais.

Os modelos do clima já indicam variações que exigem uma adaptação das estruturas hídricas existentes, de barragens a sistemas de drenagem urbana. Entre as adaptações que já vêm ocorrendo ao redor do planeta, se destacam as que estão em andamento na Austrália, onde vêm sendo executadas desde grandes obras de transposição de bacias de reciclagem em nível regional e implantação de usinas de dessalinização, até medidas enérgicas de racionalização do consumo de água, tanto nas cidades como na agricultura e indústria (Hayward, 2008).

Existe, entretanto, uma grande diferença entre as duas primeiras e a última medida citada pois, enquanto obras voltadas para a gestão da oferta, como a transposição de bacias e a dessalinização, implicam em um uso radicalmente mais intensivo de energia e, conseqüentemente, em agravamento das causas das mudanças climáticas, ações

de gestão da demanda, tais como as medidas de conservação, que contribuem tanto com a adaptação como com a mitigação deste fenômeno, razão por que essas últimas devem ser preferidas; no entanto, não é isto que vem acontecendo nem parece provável que venha a acontecer a curto e médio prazos, a lógica tecnológico-econômica predominante privilegia a implementação de grandes obras em detrimento de pequenas ações que requerem mudanças comportamentais em larga escala.

O teor energético do metro cúbico de água utilizado deve passar a ser uma variável mais presente nos processos de tomada de decisão. O consumo específico de energia dos sistemas de distribuição de água, praticado pelas empresas de saneamento no Brasil, varia de 0,33 a 1,24 kW h m⁻³ (Gonçalves et al., 2009). Segundo Tambo (2005 e 2006), em Tóquio se praticam valores de 0,38 kW h⁻¹ m⁻³ nesses sistemas. Por sua vez, os sistemas de dessalinização de água do mar mais eficientes operando em larga escala no momento, praticam valores entre 3,6 (Kiperstok, 2008b) e 5 kW h m⁻³ (Tambo, 2005, 2006).

7.5 USOS DE ÁGUA NA INDÚSTRIA

O uso de água em empreendimentos industriais se dá principalmente em dois grandes grupos de uso: sistemas de transferência de energia, sobretudo a forma de calor e sistemas de transferência de massa além, evidentemente, dos casos em que a água faz parte substancial do próprio produto, como na indústria de bebidas, farmacêutica e de alimentos. Esses usos podem ocorrer tanto no interior dos processos propriamente ditos (reações químicas; processos de separação; procedimentos físico-mecânico, dentre outros), nas interfaces entre esses processos ou na sua periferia em atividades de apoio ao processo industrial. Os usos dados à água na indústria, assim como as quantidades requeridas, variam em função do tipo de indústria, rota tecnológica e tecnologias utilizadas; variam também em função do tipo e da qualidade da matéria-prima, das condições climáticas, da disponibilidade e custo da água e da cultura operacional; as variáveis são tantas que, conforme comentado, os dados apresentados na literatura técnica, referentes ao consumo específico de água, mesmo dentro de um mesmo segmento industrial, apresentam uma variabilidade enorme.

A transferência de energia é a função que mais consome água em boa parte das indústrias, em particular nas indústrias de processo, como a química, petroquímica, alimentos e refino de petróleo. A temperatura é uma variável fundamental nos processos de transformação e a água, por possuir alto calor específico em relação a outros fluidos relativamente abundantes, é utilizada como veículo para o seu controle. Esta transferência se faz não só no sentido do resfriamento mas também do aquecimento. Sistemas de resfriamento são também grandes consumidores de energia elétrica em função da utilização de grandes equipamentos de bombeamento para a água de recirculação e o uso de ventiladores de alta potência nas torres.

Os sistemas de resfriamento mais comuns que utilizam água como meio de transferência de calor, podem ser do tipo aberto sem recirculação (também chamados passagem única); abertos com recirculação (semiabertos) e fechados (exemplo: motores automotivos). Os sistemas abertos sem recirculação captam a água na natureza (rios, lagos ou mares), e a fazem circular nos trocadores de calor das plantas industriais e a retornam aos corpos d'água numa temperatura alguns graus mais alta do que a captada. O impacto ambiental desses sistemas pode ser muito grande no ponto de retorno da água à natureza, seja pelo aumento da temperatura ou pela ocorrência de contaminantes decorrentes da perda indevida de produto que acontece, com muita frequência, nas tubulações dos trocadores de calor; este tem sido um dos motivos para se reduzir drasticamente sua utilização. A principal medida de prevenção da poluição nesses sistemas se refere à qualidade dos equipamentos de troca térmica e à sua manutenção preventiva. A região de retorno da água à natureza deve ser objeto de atenção. Se os devidos cuidados são tomados, o uso de água nessas condições poderá ser classificado não consuntivo.

Pode-se considerar também como sistema aberto, o uso de água para o resfriamento de equipamentos através da sua aplicação em “sprays” nas suas paredes, já que a parte que não evapora desta água usualmente não retorna para o processo, sendo descartada como efluente.

Os sistemas abertos com recirculação são os mais encontrados nas indústrias (Figura 7.4) e neles a água que circula retirando calor dos processos através de trocadores de calor, é conduzida para torres de resfriamento onde se retira o calor anteriormente adquirido; os trocadores de calor mais utilizados são do tipo casco e tubo. A água circula dentro dos tubos organizados na forma de feixe e o produto a ser resfriado no seu exterior, dentro do casco. A troca térmica se dá em função das diferenças de temperatura, através das paredes dos tubos.

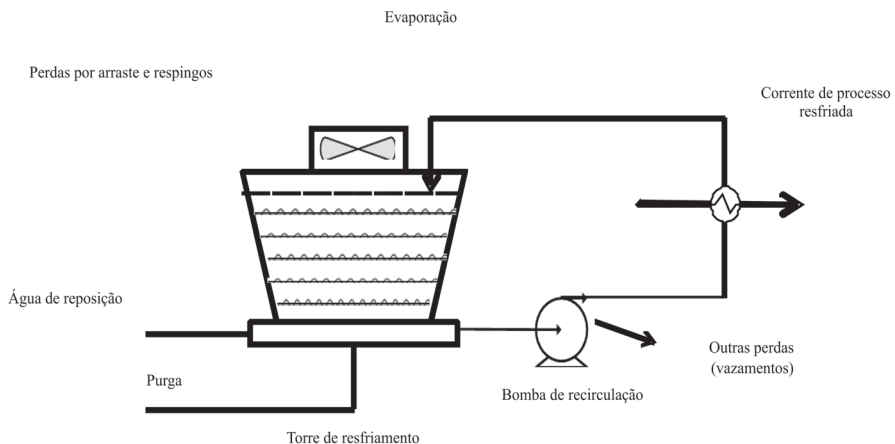


Figura 7.4 Sistema de resfriamento aberto com recirculação ou semiaberto

A remoção do calor da água é conseguida nas torres de resfriamento para onde a água aquecida é conduzida a partir da vaporização de gotículas de água e sua dispersão na atmosfera. Em virtude do alto valor de calor de vaporização, a água consegue transferir calor para o ar, relativamente com pouca perda de massa do corpo líquido; mas, como as vazões de recirculação da água de resfriamento são muito grandes, as vazões evaporadas também o são, transformando esses sistemas nos principais consumidores de água em boa parte das indústrias de processo. A água liberada para a atmosfera como vapor ou gotículas arrastadas, precisa ser reposta ao sistema. Uma vez que a água sai do sistema na forma de vapor quase não contém sólidos dissolvidos; ao contrário da água de reposição, ocorre uma concentração de sais na água de recirculação que precisa ser controlada para evitar a formação de depósitos ou corrosão nas superfícies internas das tubulações e trocadores de calor; por este motivo, os sistemas abertos com recirculação são purgados através de descargas eventuais ou contínuas; para se reduzir essas descargas se agregam produtos químicos à água, de forma que o sistema possa suportar concentrações de sais mais altas (aumentar o ciclo de concentração), o que permite reduzir as vazões de purga mas agrega cuidados ao seu descarte.

Segundo a EPA (2004), melhorias introduzidas nas torres nos últimos anos, têm permitido que elas operem evaporando apenas 1,75% da água de recirculação conseguindo reduções na sua temperatura, em torno de 6 °C; na realidade, as saídas de água dos sistemas e, conseqüentemente, sua reposição, se têm situado em ordens de grandeza superior a 5% da vazão de recirculação podendo variar em função da maior ou menor quantidade de perdas líquidas decorrentes de vazamentos, respingos e arraste de gotículas, o que depende da qualidade das torres e do sistema, como um todo (incluindo-se aqui a operação e a manutenção). A Figura 7.5, ilustra o estado em que se encontram torres de resfriamento em indústrias em operação. As situações mostradas não são incomuns, mesmo em empresas de grande porte. Entre as razões que podem ser apontadas se inclui a prática dominante na indústria de terceirizar o tratamento das águas de resfriamento a empresas especializadas, mas não definir as responsabilidades pela gestão do sistema, como um todo, gerando vácuos gerencias que permitem referidas situações.

Estudos desenvolvidos pelo TECLIM apontam que, a depender da intensidade das trocas térmicas nas plantas industriais, em algumas indústrias, como a siderúrgica/metalúrgica e a petroquímica, a água de reposição dos sistemas de resfriamento pode representar mais de 50% da demanda de água dessas indústrias.

Algumas melhorias nos sistemas de resfriamento, como melhor dimensionamento, operação e, principalmente, manutenção das torres, tal como a redução ou eliminação de extrações indevidas de água da rede de recirculação, podem reduzir as perdas no sistema; contudo, para se conseguir reduzir, de forma representativa, a demanda de água de resfriamento, deve-se agir no sentido de minimizar a carga térmica que precisaria ser removida; isto pode ser conseguido com maior integração energética do processo, como um todo, aproveitando-se o conteúdo de calor de correntes quentes para aquecer correntes frias; só então o calor, que antes teria que ser retirado com as águas de resfriamento, poderá ser aproveitado para aquecer, parcial ou totalmente, outras correntes que demandem disto, o que gera também significativa economia energética.



Figura 7.5 Exemplos de perda de água em torre de resfriamento industrial: vazamentos na torre de acesso (A) e na base (B); recheios inexistentes (C) e danificados (D) ocasionando acúmulo de água no pátio (E) e crescimento de plantas (F)

A água utilizada para alimentar o sistema de resfriamento normalmente requer uma qualidade que, quando vinda de fontes superficiais, pode ser conseguida através de processos de sedimentação/filtração convencional, porém ela recebe aditivos para evitar incrustações e deposição de sólidos nas tubulações e desenvolvimento de algas, fungos e bactérias nas torres, ensejando que águas residuais de baixa contaminação possam ser consideradas para repor as saídas do sistema, desde que feito de forma criteriosa.

Água industrial é muito usada, também, para levar energia, seja para o aquecimento de materiais e equipamentos, seja para o acionamento de turbinas e conseqüente geração de movimento e energia elétrica; para isto, tanto a água é aquecida em caldeiras para atingir altas temperaturas e pressões quanto é conduzida, já na forma de vapor, por um sistema de tubulações termicamente isolado até os pontos de aplicação.

A transferência de calor na indústria de processos pode se dar por contato direto ou indireto, em trocadores de calor e refeedores de colunas de destilação, onde o vapor não entra em contato com o produto aquecido, a não ser que venham ocorrer furos nas paredes dos feixes de tubulações que compõem os trocadores. Chama-se a atenção para isto, de vez que não é incomum acontecer, o que provoca a contaminação do vapor dificultando seu retorno ao sistema. O uso do vapor para movimentar turbinas tampouco implica em contato com os produtos movimentados por elas, desde que sejam mantidas condições adequadas de operação e manutenção².

Nos dois últimos usos, em que o vapor não deveria entrar em contato com os produtos movimentados ou aquecidos, em princípio poderia ocorrer em um sistema fechado, alimentado por vapor em alta pressão, saindo de caldeiras e a elas retornando na forma de condensado; na prática, isto não acontece porque falhas operacionais ou de manutenção resultam em quantidades consideráveis de vapor, perdidas através de purgadores (válvulas aliviadoras de pressão) ou contaminadas, conforme comentado anteriormente. Perdas de vapor representam grandes perdas econômicas e ambientais, em função da água e, sobretudo, da energia perdida, assim como do condensado contaminado, que se transforma em efluente.

Observe-se que, para a geração de vapor, no caso dos sistemas maiores e mais eficientes se utiliza água desmineralizada, com alto custo de produção e que implica também na geração de efluentes com altas concentrações de sais dissolvidos. No caso de haver fontes de água subterrâneas com baixos teores de salinidade, como as encontradas em formações sedimentares no semiárido, constituídas de camadas intercaladas de arenitos e folhelhos, seu aproveitamento é oportuno para a produção de água desmineralizada.

A utilização de água como veículo de transferência de massa ocorre de várias maneiras: no arraste de material, como no caso de lavagens e descarga de resíduos;

² Este uso da água é o utilizado nas usinas termelétricas para transferir a energia térmica gerada com a queima de combustível nas caldeiras, repassada para a água desmineralizada que é convertida em vapor, que move as turbinas geradoras de energia elétrica e retorna na forma de condensado para ser novamente aquecido nas caldeiras. Usinas deste tipo usam, contudo, muita água para alimentar o sistema de resfriamento

no uso como solvente em processos de separação e como diluidor de compostos, de forma a se gerar condições adequadas para reações químicas. O uso de água para lavagem de produtos e equipamentos é recorrente nos diversos segmentos industriais. Usa-se água na lavagem de gases para se absorver compostos emanados dos fornos de fundição, por exemplo, e impurezas na lavagem de ar para acondicionamento dos processos da indústria têxtil. Lavam-se com água, também, frutas e verduras na indústria de alimentos e se utilizam vapor e água quente para lavagem de vasos e recipientes diversos. Este último caso pode ser considerado um misto de transferência de massa e calor, o que também se dá no processamento de carcaças na indústria da carne. Trabalho da Nalco (Frank, 1988), cita que lavagens representam 50% da água de processo na indústria de alimentos; nesta categoria podem ser enquadrados, usos da água como fluidos de corte na indústria de pedras ornamentais e metal-mecânica; no caso, o fluido provê também funções de resfriamento e lubrificação.

Podem ser considerados, ainda, na função transferência de massa: preparo de soluções e extrações na indústria de alimentos em que a água participa como solvente; cortinas de água no setor de pintura de empresas metalúrgicas e oficinas e transporte de sólidos moídos na indústria de mineração e na alimentar.

Em muitas dessas atividades ocorrem grandes desperdícios em razão da falta de mecanismos e procedimentos adequados de controle das quantidades utilizadas; em outras, cabe até se questionar a própria utilização de água ou a qualidade da água utilizada. A Figura 7.6 ilustra a ocorrência frequente de lançamentos de água para canaletas, na maioria das vezes inadequadamente, inclusive em relação aos procedimentos operacionais das plantas industriais.

A água é utilizada, também, em funções auxiliares ou fora das áreas de produção, no combate a incêndios, para fins de paisagismo e no atendimento às necessidades pessoais dos funcionários. A mão-de-obra intensiva de determinadas empresas, bem pode representar o principal consumo de água.

No caso das empresas que captam e/ou processam a água utilizada nas suas dependências, isto ocorre dentro do denominado setor de utilidades que, comumente, agrega outras funções, como a geração de transformação e distribuição de energia, além de gases industriais.

Para o atendimento aos diversos usos industriais, a água produzida é geralmente gerenciada a partir de quatro sistemas: água clarificada, em geral tratada em nível de decantação seguida ou não de filtração convencional; água desmineralizada, da qual são removidos adicionalmente sólidos dissolvidos, seja por processo de troca iônica ou de membranas; água potável e água bruta, quando utilizada na qualidade original disponível nos mananciais.

Analisar a possibilidade de se usar água de qualidade inferior àquela convencionalmente utilizada, permite a redução das descargas de água dos processos de tratamento e, adicionalmente, a redução de gastos energéticos,

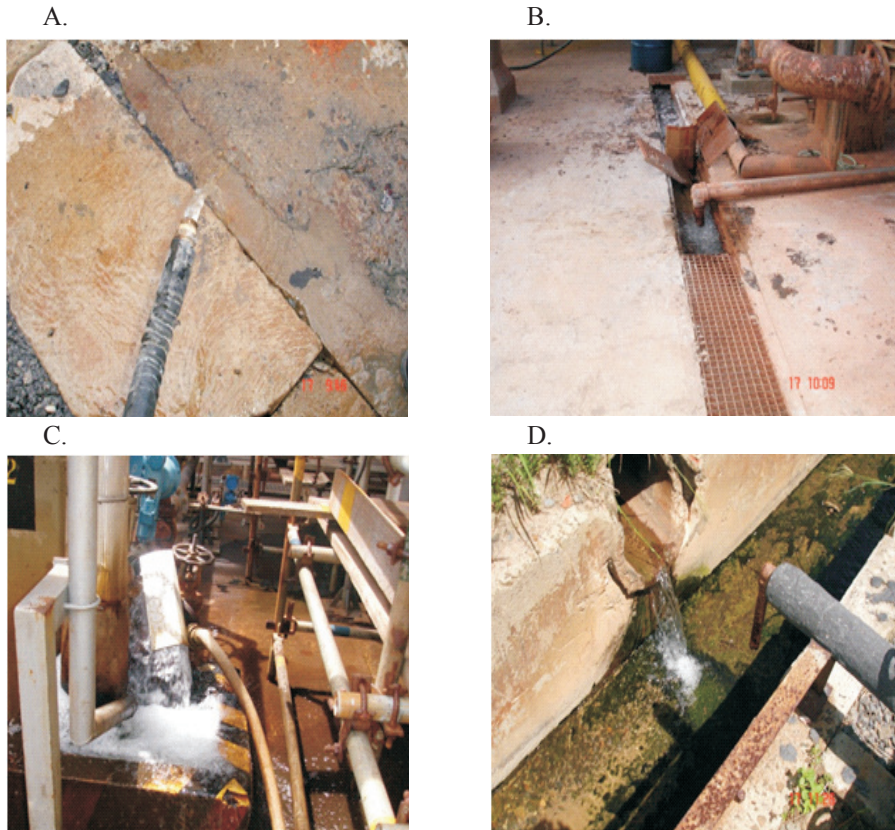


Figura 7.6 Exemplos de perda de água observada em plantas industriais

possibilitando, ainda, viabilizar reúsos com menores ou sem necessidade de tratamento.

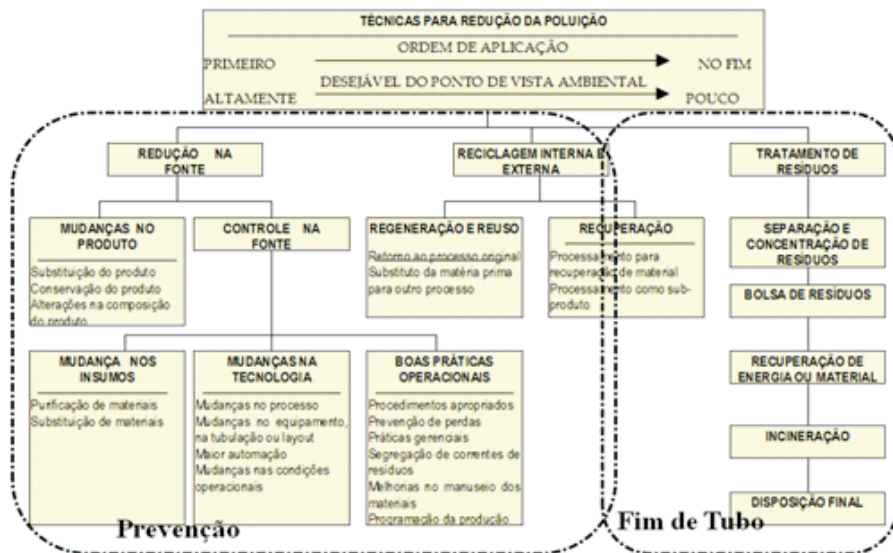
7.6 CONSUMO DE ÁGUA INDUSTRIAL SOB A ÓTICA DA PRODUÇÃO LIMPA

O conceito de produção limpa implica na busca permanente pelo resíduo zero em conjunto com a minimização do gasto energético. Este conceito se aplica sobretudo no interior dos processos produtivos; a demanda da sustentabilidade, entretanto, exige esforços mais amplos, como a articulação ambiental de cadeias produtivas e regiões geográficas, para o que se recorre aos instrumentos da ecologia industrial e da avaliação ambiental estratégica. Esta última permite levar tais abordagens para as fases de planejamento regional e definição das cadeias produtivas que melhor atendem às necessidades socioambientais de uma região específica; o que se propõe é evoluir além da lógica predominante no âmbito da engenharia ambiental onde se priorizam os

investimentos de proteção ambiental depois dos resíduos gerados. Passa-se, então, a procurar ações no interior dos processos, no sentido de eliminar as causas das perdas de materiais que acabam se transformando em efluentes, resíduos e emissões.

Segundo Baas (1996), a Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa descreve, em 1984, este redirecionamento, utilizando a denominação de tecnologia de baixo ou nenhum resíduo: “(...) um método de manufatura (processo, planta industrial, complexo industrial) onde a totalidade de matérias-primas e energia é utilizada da forma mais racional e integrada no ciclo produtivo: matérias-primas – produção – consumo – recursos materiais secundários, de forma a prevenir qualquer impacto negativo no ambiente, que possa afetar seu funcionamento normal. Num sentido mais amplo, a tecnologia de baixa poluição e sem resíduos se preocupa não apenas com processos produtivos mas também com o destino dos produtos, num tempo de vida mais longo, seu fácil conserto e o reciclo e transformação após uso, de forma a prevenir danos ecológicos. O objetivo é atingir um ciclo tecnológico completo para o uso dos recursos naturais, compatível ou similar aos ecossistemas naturais.”

No final da década de 80 a Agência Ambiental dos Estados Unidos propõe uma lógica para orientar as ações de redução da poluição para o interior dos processos. Esta lógica se encontra representada na Figura 7.7. O organograma visa estimular as ações de prevenção que nele se situam do lado esquerdo, antecipando-as àquelas denominadas “fim de tubo”, que seriam desenvolvidas após a geração dos resíduos (lado direito da figura).



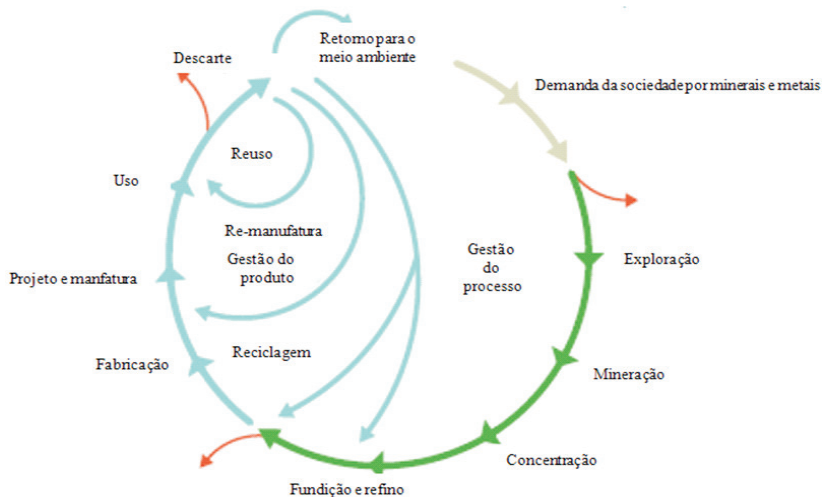
Fonte: Adaptado de La Grega et al. (1994)

Figura 7.7 Diagrama esquemático da ordem de prioridades sugeridas pela produção mais limpa

Observe-se que no extremo esquerdo se inclui a modificação do próprio produto, o que remete à discussão para fora do processo produtivo em si, na direção de um novo relacionamento com os elos à jusante da cadeia de produção e com o mercado consumidor.

No centro da figura se incluem as ações de reciclagem, no limite entre as de prevenção e as do tipo fim de tubo. Apesar de necessárias, as ações de reciclagem acabam estimulando certo relaxamento no sentido de minimizar as perdas no seio dos processos que levariam à manutenção da matéria-prima preservada, razão pela qual devem ser definidas com uma visão mais ampla dentro da denominada Análise de Ciclo de Vida (ACV) que procura quantificar os impactos ambientais de um produto ou processo, desde a extração da matéria-prima da natureza até o seu retorno final, após o fim da vida útil do produto fabricado (Lima & Kiperstok, 2007).

A Figura 7.8 permite enxergar os ciclos possíveis para os materiais usados nos processos produtivos. Salienta-se que os ciclos de menor raio tendem a ser mais eficientes no uso dos materiais levando a um uso mais eficiente da energia. O caso ilustrado se refere ao setor de mineração mas pode ser estendido a outros setores econômicos.



Fonte: Adaptado de Fivewinds (2004)

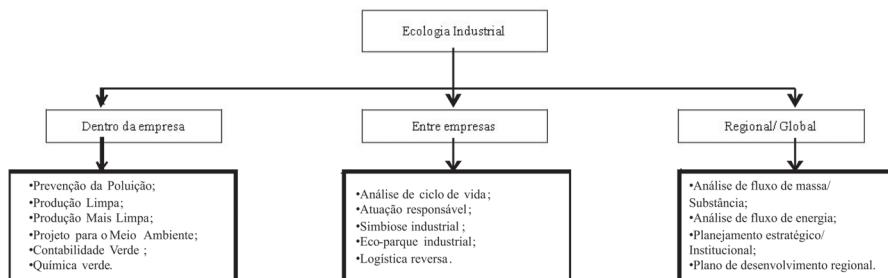
Figura 7.8 Ciclos possíveis para os materiais utilizados nos processos produtivos

Para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais devem ser implementados mecanismos que, além de promover a eficiência no uso desses recursos dentro das fábricas, apresentem propostas mais abrangentes visando às cadeias produtivas e sua relação com o consumidor.

A ecologia industrial e o projeto para o meio ambiente apresentam caminhos para esta avaliação. Segundo a Sociedade Internacional para a Ecologia Industrial

(www.yale.edu/is4ie), editora da revista *Journal of Industrial Ecology*, citado pela organização internacional, Fivewinds (2004): a Ecologia Industrial procura entender como o sistema industrial opera e é regulado, procurando articulá-lo com os ecossistemas nos quais se situam e as interações que neles ocorrem, incluindo-se: estudo dos fluxos de materiais e energia; desmaterialização; mudanças tecnológicas e sua relação com o meio ambiente; avaliação de ciclo de vida e planejamento e projetos desenvolvidos nesta base; extensão, ao produtor, da responsabilidade ambiental dos seus produtos, ao longo do seu ciclo de vida; implantação de eco-parques industriais; políticas ambientais orientadas para os produtos e busca de maior ecoeficiência.

Tanimoto (2004), cita os trabalhos de Chertow (2000) e Lowe (2001), para ilustrar os instrumentos utilizados pela Ecologia Industrial (Figura 7.9).



Fonte: Tanimoto (2004), adaptado de Chertow (2000) e Lowe (2001)

Figura 7.9 Áreas de abrangência da ecologia industrial

7.7 METODOLOGIA PARA A RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA INDUSTRIAL: A EXPERIÊNCIA DA REDE DE TECNOLOGIAS LIMPAS DA BAHIA – TECLIM

A Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM) da Bahia, coordenada pela UFBA, vem investigando, ao longo da última década, formas de contribuir com o aumento da ecoeficiência das indústrias, edificações públicas e residências.

Nos diversos projetos desenvolvidos com empresas da região, como observado em Bravo & Kiperstok (2005), Fontana et al. (2005) e Kiperstok et al. (2001a, 2003, 2006, 2008a), Oliveira-Esquerre et al. (2011), os estudos estão permitindo a consolidação de uma metodologia específica para a minimização do uso de água na indústria.

Esta metodologia se fundamenta na: a) construção de uma parceria entre universidade e indústria; b) inserção dos conceitos da Produção mais Limpa (P + L), através da capacitação e envolvimento permanente de todos os funcionários, líderes e a comunidade envolvida; c) construção de instrumentos de medição e controle do consumo de água no processo, por meio da implantação de um balanço hídrico detalhado

que considera incertezas de informações; d) implementação de um banco de idéias digital, que considera aspectos culturais, ambientais e econômicos na avaliação do potencial/dificuldade de uma oportunidade de racionalização do consumo de água; e) implantação de um sistema de informações geográficas (SIG) identificando as fontes produtoras (incluindo efluentes de cada processo) e consumidoras de água; f) aplicação de métodos matemáticos para a otimização de redes de transferência de massa; g) análise da inserção da empresa ou instituição no ciclo hidrológico regional; h) a elaboração de projetos conceituais de minimização do uso da água e geração de efluentes.

7.7.1 A parceria universidade-indústria

A Rede TECLIM/UFBA, foi implantada em 1997, com o intuito de estabelecer e dinamizar a cooperação interinstitucional para realização de estudos e experiências, no sentido de fomentar o conceito de Produção mais Limpa (P + L) e contribuir para o desenvolvimento sustentável da indústria no Estado da Bahia; constituída por diversos parceiros, organizações empresariais, universidades, fundações e agências de fomento, que atua sob a coordenação do grupo de tecnologias limpas do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

No final da década de 90 se consolidam, no Brasil, os denominados fundos setoriais de pesquisa, com o objetivo de financiar o desenvolvimento de projetos cooperativos entre universidades e setores produtivos. Este cenário fomentou novos relacionamentos entre os membros da academia e profissionais da indústria e começaram a se delinear novas rotas para a solução de problemas ambientais vivenciados nos processos produtivos (Kiperstok, 2000; Nascimento & Kiperstok, 2003). Cabe destacar, no tema em questão, a abertura de editais para projetos focados na gestão da demanda da água no âmbito do CTHidro (Fundo Setorial de Recursos Hídricos), Essas linhas de financiamento foram aproveitadas para o desenvolvimento de propostas visando atender à demanda ambiental, com foco na otimização do uso dos recursos hídricos e a minimização da produção de efluentes, dentro da ótica da P + L. Esses aportes viriam a financiar os projetos que, de acordo com o tamanho das companhias envolvidas, poderia chegar a 70% do orçamento total (Kiperstok, 2006).

Em 1998 foi criado o Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria na UFBA, em parceria com o Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro, CETIND, do SENAI/BA (Kiperstok, 2000), com uma visão ambiental do curso, orientada no sentido da P + L, passaram a surgir propostas de pesquisas focadas na redução e/ou eliminação da geração de resíduos na fonte; com o advento do mestrado profissionalizante em 2002, os trabalhos de pesquisa passaram a ter maior profundidade. Este mestrado se incorporou, em 2008, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, ampliando a possibilidade de pesquisa e o desenvolvimento, contando com um curso de doutorado. Destaca-se o papel fundamental desenvolvido pela pós-graduação profissional (especialização e

mestrados profissionais), no estreitamento dos laços entre a universidade e a indústria, favorecendo o desenvolvimento de inovação ambiental (Kiperstok, 2008a).

Todos os projetos de parceria desenvolvidos entre a Rede TECLIM/UFBA e as empresas, compartilham da mesma visão: fomentar a sustentabilidade ambiental a partir dos princípios da P + L, na empresa e em cada um dos seus colaboradores, alicerçada na cultura desta(es) visando ao conceito de efluente zero. As informações e posicionamentos abaixo apresentados foram embasados em amplas buscas bibliográficas e trabalhos de pesquisa cooperativa, em 12 projetos de pesquisa junto às empresas de grande porte localizadas na região metropolitana de Salvador. Referidas empresas detêm um padrão de consumo de água que vai de 100 a 3.500 m³ h⁻¹; cada projeto tem duração de um a dois anos e envolve entre 5 e 15 pesquisadores, de pós-doutorado a bolsistas de iniciação científica, incluindo-se profissionais com experiência tanto acadêmica quanto profissional.

A execução e a continuidade desses projetos permitiram o desenvolvimento de uma metodologia específica, cujos resultados alcançados desde o primeiro projeto vêm incentivando a continuidade da parceria universidade-empresa, através de novos financiamentos.

7.7.2 Conhecimento de como a água é utilizada nas plantas industriais

A necessidade de racionalização do uso da água começa a se manifestar em instrumentos econômicos e regulamentações ambientais mais exigentes (Goldblatt et al., 1993; Féres et al, 2008; Gwehenberger & Narodoslowsky, 2008). Esta tendência ocorre em maior ou menor grau, a depender das condições em que se estabelece a relação oferta-demanda hídrica em cada região e suas futuras perspectivas. Na Tabela 7.4 se apresenta uma síntese do diagnóstico atual sobre aspectos relacionados à gestão na indústria, abrangendo os relacionados à localização geográfica, cultura, critérios técnico/operacionais, tecnologias, custo, enfoque de gestão e legislação, baseados nas experiências do TECLIM.

Conceitos de P+L foram utilizados como base para orientar a identificação das oportunidades de melhoria assim, como a definição de uma metodologia que inclui os seguintes instrumentos desenvolvidos:

- I1) Aproximação dos saberes acadêmico, operacional e industrial;
- I2) Inserção dos conceitos de P + L, através da capacitação permanente e em larga escala;
- I3) Medição e conhecimento das vazões das correntes, através de balanço hídrico detalhado que considera incertezas de informações;
- I4) Implementação de um banco de idéias digital que considera aspectos culturais, ambientais e econômicos, na avaliação do potencial/dificuldade de uma oportunidade;
- I5) Implantação de um sistema de informações geográficas (SIG) identificando as fontes produtoras e consumidoras de água, dentro da empresa e no seu contexto regional;
- I6) Otimização, a partir da aplicação de conceitos e instrumentos, para a síntese de redes de transferência de massa;

Tabela 7.4 Diagnóstico da gestão de água na indústria, baseado na experiência do TECLIM

Item	Aspecto	Diagnóstico	Impacto	
			Positivo	Negativo
A1	Localização geográfica	D1.1 Visão de abundância de água está relacionada às características da região.		X
A2	Cultura	D2.1 Prevalece o conceito de água e efluente, a logística hoje existente, é que a água é a entrada e o efluente é a saída do processo.		X
		D2.3 Operadores e projetistas delegam a terceiros questões relacionadas ao consumo de água e à geração de efluentes.		X
		D2.4 Os valores ambientais começam a entrar na empresa. É percebida “simpatia” dos operadores pelo uso racional da água.	X	
		D2.5 Péssimo exemplo oferecido pela forma como as instituições públicas (empresas de saneamento e outras) desperdiçam água.		X
A3	Técnico operacional	D3.1 Água é muito pouco medida. Geralmente, mas nem sempre, na entrada e na saída da fábrica.		X
		D3.2 Não existe conhecimento do consumo específico por unidade de processo.		X
		D3.3 As águas na indústria são especificadas para, no máximo, quatro níveis de qualidade: bruta, clarificada, desmineralizada e potável. Efluente não é considerado água de processo.		X
		D3.4 Não há registro nem interpretação sistemática de eventos que ocasionem variação de consumo de água e geração de efluentes.		X
A4	Tecnológicos	D4.1 Processos projetados e construídos no passado não incorporam demandas ambientais atuais e, muito menos, previsões.		X
		D4.2 Avanços tecnológicos permitem a oferta de sistemas avançados de tratamento de água e efluentes.	X	
		D4.3 Custo das mudanças é fator limitante.		X
		D4.4 Atualização tecnológica limitada.		X
		D4.5 Cultura do tratamento descentralizado e reúso ainda incipiente.		X
A5	Custo	D5.1 Água é barata na medida em que não incorpora devidamente os custos ambientais atuais e futuros da carência deste recurso natural.		X
		D5.2 Pouco significativo o custo da água em relação a outros insumos.		X
A6	Gestão	D6.1 Não existem benchmarks de consumo a serem atingidos; no máximo, se combatem perdas e desperdícios visíveis.		X

Continua...

...Continuação da Tabela 7.4

Item	Aspecto	Diagnóstico	Impacto	
			Positivo	Negativo
		D6.2 Estabelecem-se metas de redução de efluentes com base em históricos de produção de efluentes estatisticamente pouco confiáveis.		X
		D6.3 Dificuldade interna de aprovação de projetos de redução de consumo de água, em função de retornos financeiros comparativamente pouco competitivos.		X
		D6.4 Algumas empresas já utilizam critérios baseados na responsabilidade ambiental corporativa para a aprovação de projetos internos de racionalização do uso da água.	X	
		D6.5 Critérios utilizados pelos órgãos gestores dos recursos hídricos para outorga de água, ainda são pouco consistentes no referente às qualidades das disponíveis na região e à necessidade real para seu uso.		X
		D6.6 Os conteúdos energéticos(2) e exergéticos(3) da água, não são levados em consideração.		X
A7	Legislação	D7.1 Os setores ambientais nas empresas tendem a focalizar o efluente final da empresa por ser ele o controlado e monitorado pelos órgãos ambientais.		X
		D7.2 Não há controle do consumo de água por parte dos órgãos responsáveis pelo controle e política dos recursos hídricos.		X
		D7.3 Foram criados comitês de bacias (Lei 7.663/91) para gerenciar a água de forma descentralizada, integrada e com a participação da sociedade.	X	
		D7.4 Não existe uma atuação efetiva por parte dos comitês e agências de bacias, que só agora estão sendo implantados. Tarifas cobradas muito baixas (quando o são).		X
		D7.5 Não são avaliadas com as devidas considerações técnicas, as implicações atuais e futuras das transposições de bacias existentes ou em implantação.		X

1) (-) Aspecto negativo. (+) Aspecto positivo, no fomento ao uso racional da água

2) Conteúdo energético – Considera o conteúdo de energia total alocado à água no ponto de utilização

3) Conteúdo exergético – Considera a qualidade da energia utilizada. Análise fundamentada na segunda lei da termodinâmica

I7) Análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional;

I8) Elaboração de projetos conceituais de minimização do uso da água e geração de efluentes;

I9) Auditoria de fontes de alimentação de efluentes

A Tabela 7.5 se apresenta as estratégias de otimização e os instrumentos desenvolvidos pela Rede TECLIM/UFBA, fundamentados no marco conceitual da produção limpa, anteriormente descrita.

Tabela 7.5 Estratégias de otimização e instrumentos desenvolvidos

Marco conceitual	Objetivos	Estratégias de otimização	Instrumentos utilizados								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Redução na fonte (M1)	Eliminar uso Reduzir consumo	Boas práticas operacionais	A	A	A	A	C	C	C	A	A
		Mudanças na tecnologia	B	B	B	B	C	B	B	A	B
		Mudança nos insumos ¹	B	C	B	B	C	B	A	A	C
Reciclagem interna (M2) e externa (M3)	Usar sem tratamento Usar após tratamento	Técnicas de recuo	A	B	B	A	A	A	C	A	B
		Técnicas de reciclagem	A	B	B	A	C	A	C	A	C
Tratamento (M4)/ descarte (M5)	Controlar o descarte (fim de tubo)	Separação de correntes	B	B	C	B	A	A	B	A	A
		Disposição final	C	C	C	C	C	B	A	A	A

¹ Insumos e produtos considerados se referem à água captada e produzida pelas empresas, respectivamente

A - Fortemente relacionados

B - Moderadamente relacionados

C - Fracamente relacionados

7.7.3 Aproximação dos saberes acadêmico, operacional e industrial

A cultura do meio industrial e a do meio acadêmico apresentam, obviamente, diferenças, em função dos seus objetivos e condições de desenvolvimento, tanto do ponto de vista mais geral quanto da busca da sustentabilidade ambiental. Enquanto a primeira enfrenta demandas de muito curto a médio prazo, para o que se conduz seguindo práticas e procedimentos existentes e consolidados, a segunda pode permitir expectativas de mais longo prazo; enquanto da primeira são exigidas respostas imediatas, a academia procura o desenvolvimento de novas formulações teóricas; não é difícil perceber que a aproximação desses dois tipos de saberes pode render frutos valiosos para ambos os seguimentos, desde que existam respeito mútuo e vontade de promovê-la.

Por sua vez e conforme mencionado por vários autores (Deul, 2002; Rosain, 1993; Smith & Petela, 1992; Zver & Glavic, 2005), práticas de minimização do uso de recursos demandam mudanças tanto comportamentais quanto tecnológicas.

A aproximação de saberes é promovida a partir de uma coordenação operacional conjunta, entre a universidade e a empresa, concretizadas em reuniões semanais de acompanhamento dos projetos; por sua vez, reuniões com um conselho consultivo, com a participação de níveis de decisão mais elevados na empresa, permitem aproximar as proposições desenvolvidas pelos pesquisadores do projeto às áreas operacionais estudadas. Num projeto de dois anos de duração, por exemplo, tipicamente ocorrerão 6 reuniões do conselho consultivo.

7.7.4 Inserção dos conceitos de produção mais limpa (P+L) através da capacitação permanente e em larga escala

A diretriz apontada pela P + L e comentada nas Figuras 7.7, 7.8 e 7.9, direciona o trabalho, em cada empresa, para a identificação, prioritariamente dentro do processo

e não apenas na sua periferia, das causas do consumo de água e de geração de efluentes. Tal atividade busca a sensibilização de operadores e projetistas quanto à forma como a água é gerida na indústria, exigindo que os mesmos deixem de delegar, a terceiros, questões relacionadas ao consumo de água e à geração de efluentes. Os funcionários são colocados frente ao desafio, que representa a construção da sustentabilidade ambiental, utilizando-se os conceitos de fatores de ecoeficiência (Fator 10, Fator 4, Fator X) (Kiperstok 2001a, 2001b, 2008a). Esta abordagem permite vislumbrar a insuficiência associada às soluções de fim de tubo, apontando para a necessidade de soluções que observem o “próprio umbigo”, a fonte da perda. Somente após a identificação das medidas de redução na fonte é que se procuram oportunidades de reúso e reciclo de efluentes. Para tanto, é conveniente que o efluente que não será eliminado, passe a ser enxergado como uma corrente aquosa que, mesmo de qualidade inferior, faz parte do processo produtivo. Alternativas de tratamento e descarte são também consideradas, mas em última instância.

Na metodologia TECLIM/UFBA, o conceito e métodos da P + L são inicialmente transmitidos em cursos com duração de 12 horas, ministrados em duas etapas. O curso é oferecido para todo o grupo de operadores e engenheiros, embora possa e deva ser estendido a todos os colaboradores (incluindo-se as empresas terceirizadas) da empresa.

Na primeira etapa do curso busca-se sensibilizar os participantes em relação ao consumo dos recursos naturais e transferir seu olhar, das denominadas tecnologias fim de tubo para a fonte das ineficiências nos próprios processos e suas relações com outros, à montante e jusante da cadeia produtiva. Uma versão conceitual e simplificada da metodologia para P + L da UNEP/UNIDO/CNTL (FIESP, 2004) é repassada; para isto, após dividir os participantes em equipes heterogêneas (com relação aos setores de trabalho), formadas por quatro a cinco pessoas, cada equipe é incentivada a aplicar os conceitos recebidos, identificando oportunidades que contribuam para a melhoria do desempenho ambiental da empresa, incluindo áreas operacionais e administrativas. As equipes têm o prazo de um mês para realizar esta atividade e, em seguida, apresentar os resultados na segunda etapa do curso. Pesquisadores do projeto participam do curso e apoiam as equipes na estruturação das oportunidades identificadas.

Após as equipes apresentarem suas idéias e sugestões, aspectos ambientais, operacionais e econômicos são levantados, tais como área e equipamentos envolvidos, perda de água estimada e investimento necessário para a implementação de cada idéia. As idéias são cadastradas e organizadas em um banco digital de idéias, que é periodicamente analisado quanto à viabilidade técnica e financeira das idéias selecionadas e cujo aprofundamento pode gerar projetos conceituais desenvolvidos pelos pesquisadores, conjuntamente com o corpo técnico da empresa. Procura-se, também, com esse treinamento, a mudança de postura dos colaboradores no sentido da busca da ecoeficiência, tanto no trabalho como na vida particular.

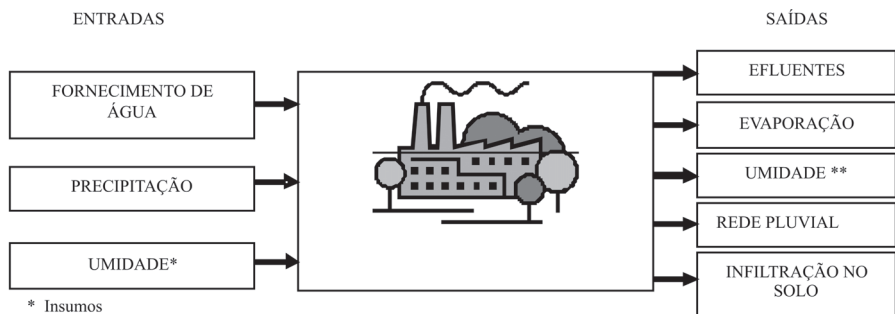
7.7.5 Balanço hídrico com dados reconciliados

A falta de medições ou interpretações relacionadas ao consumo de água e à geração de efluentes nos processos, tem sido uma constante em plantas industriais, em decorrência da falta de medidores ou pelo fato desses não terem uma manutenção adequada. Para fazer face a esta realidade, se constroem balanços hídricos agregando-lhes, aos poucos, valores medidos, valores de vazões estimadas.

Esta ferramenta consiste na representação dos fluxos hídricos de entrada e saída de água de um empreendimento em torno dos vários volumes de controle (regional, planta industrial, áreas e unidades de produção).

O estudo dos fluxos de massa, compostos pelas correntes aquosas, seja na forma de águas de abastecimento (bruta, clarificada, desmineralizada e potável), vapor (em diversas pressões), condensados (limpos ou contaminados) e efluentes (com as mais diversas qualidades) permite traçar o perfil dos fluxos de água que circulam na fábrica e, conseqüentemente, possibilitam melhor gestão deste recurso; para tanto, quaisquer dados de vazão são aproveitados, sejam eles oriundos de sistemas de medição calibrados ou não, estimativas de vazão obtidas por meio de balanço de massa, medições expeditas pontuais, dados de projeto, estimativas teóricas, simulação ou, até mesmo, informações coletadas na unidade, através de entrevistas com operadores. Esta busca de informações junto à operação complementa o esforço de capacitação e o envolvimento dos colaboradores da empresa com o esforço de minimização do uso da água, constituindo-se em uma das etapas mais importantes do processo.

A cada fonte de informação é atribuída uma nota (QI – Qualidade da Informação, proporcional à confiança a ela atribuída. Do balanço hídrico global se obtém uma visão macro, a qual considera as correntes de entrada e saída do volume de controle mais abrangentes: da planta industrial (Figura 7.10). Visões mais específicas são obtidas através da identificação das correntes de entrada e saída de cada unidade. Procura-se atingir, desde o conhecimento das quantidades de água manipuladas por cada operador (mesmo sem medição), até o ciclo hídrico regional.



* Insumos

**Produto(s), Subproduto(s), Co-produto(s), Resíduo(s)

Fonte: Kiperstok (2008a)

Figura 7.10 Balanço Global e por volumes de controle internos - Principais correntes de entrada e saída. Procura-se aproximar o conhecimento sobre o consumo de água e produção de perdas de cada empresa para o interior das áreas operacionais

Todos os dados de vazão que compõem os balanços hídricos (visão geral e por unidade de operação) são compilados em planilhas eletrônicas e representados na forma de diagrama de blocos, em que cada bloco representa uma das unidades de produção ou mesmo cada equipamento (identificado através do seu código de identificação na empresa); cada linha que conecta esses blocos indica o fluxo de correntes aquosas que entram ou saem dos volumes de controle e as setas indicam o sentido do fluxo.

A cada informação de vazão é associada uma qualidade dessa informação (QI); a incerteza da informação, que é inversamente proporcional à QI, é relacionada com o método pelo qual esta informação foi obtida. Inicialmente, atribui-se uma QI entre 0,4 e 10 para cada corrente aquosa considerada, em que a nota 0,4 se refere a uma estimativa grosseira e a nota 10 é atribuída nos casos em que existe sistema de medição calibrado (Martins et al., 2009).

Para melhorar a distribuição das incertezas existentes utilizam-se técnicas de reconciliação de dados das vazões mapeadas (Romagnoli, J.A. e Sánchez, M.C., 1998). A partir dos dados de vazão associados à sua qualidade (QI), a reconciliação de dados busca novos valores de vazão que possam satisfazer as equações de balanço de massa por meio de técnicas de otimização matemática, as quais minimizam a diferença entre os valores originais e os valores reconciliados de vazão.

7.7.6 Implementação de um banco digital de idéias

A otimização ambiental de indústrias envolve um extenso e contínuo trabalho de identificação de oportunidades de melhoria nos processos produtivos; consequentemente, a gestão dessas oportunidades se torna atividade decisiva para o aproveitamento do potencial criativo e inovador de pesquisadores e funcionários. Um banco digital de idéias foi desenvolvido para possibilitar um fluxo contínuo de registros e a posterior análise do potencial de idéias/propostas, facilitando a participação dos colaboradores das empresas no processo de racionalização do uso de água.

A estruturação do banco de idéias ocorre sobre formulários eletrônicos na internet, acessíveis de forma controlada, que se comunicam com uma base de dados, onde as informações de cada idéia e usuário ficam armazenadas. A operação desse banco pode ser dividida em dois momentos: no primeiro referente ao registro das sugestões por parte dos usuários e, no segundo, ao gerenciamento realizado por uma equipe. Os atributos dos usuários consistem no cadastramento de suas idéias e na verificação periódica do seu estado, cobrando da equipe gestora o andamento dos estudos; por outro lado, a equipe gestora deve fazer a divulgação do banco, identificar e corrigir falhas nas idéias já registradas, promover e publicar a avaliação das idéias e seus resultados, e identificar fontes de melhorias neste processo, viabilizando-as.

Na etapa de avaliação são identificadas as idéias com maior potencial de implementação; para isto, inicialmente elas são agrupadas de acordo com a área da

empresa à qual se referem. Paralelamente, a equipe gestora seleciona funcionários da empresa e se formam grupos que avaliarão as idéias concernentes às suas respectivas áreas. Quando a idéia se refere a mais de uma área da planta industrial ou é aplicada à empresa, como um todo, o grupo de avaliadores é composto de pesquisadores integrantes do projeto e funcionários da empresa que tenham conhecimento integral dos processos produtivos.

Um formulário de avaliação foi estruturado para dar suporte à etapa de avaliação das idéias sugeridas e no qual são apreciados quatro aspectos referentes a cada idéia: o primeiro consiste nos aspectos ambientais referentes à contribuição da idéia, por exemplo, na redução do consumo de água. O segundo avalia a operacionalidade ou risco operacional da idéia, depois de implantada; já o terceiro envolve aspectos culturais e psicossociais, relacionados as mudanças de atitude e ao comportamento dentro e fora da planta industrial. Aspectos econômicos/financeiros são considerados no quarto tópico e se referem aos valores estimados de retorno financeiro associados à implementação da oportunidade.

7.7.7 Implantação de sistema de informações geográficas (SIG)

A representação espacial da área em estudo é fundamental para subsidiar não apenas a tomada de decisão para o aproveitamento de correntes aquosas de saída de um processo mas também o delineamento de estratégias visando ao melhor uso dos recursos hídricos disponíveis no entorno de cada empresa e região.

O sistema de informações geográficas (SIG) é implantado com a finalidade de proporcionar uma visão integrada da área de atuação de cada projeto e, mais especificamente, vincular as fontes e os consumidores de água representados por coordenadas geográficas a fim de servir de base para a avaliação dos custos de interligação das correntes de efluentes com suas destinações; ele permite, ainda, verificar os locais mais adequados para a implantação de equipamentos com vista à recuperação da qualidade das correntes aquosas a serem reusadas. Através da agregação da representação espacial e seus respectivos atributos de dados alfanuméricos vinculados a um banco de dados, esta ferramenta possibilita a realização de análises exploratórias das informações, apontada para as ações que nortearão decisões, permitindo a confecção de novos cenários e, conseqüentemente, facilitando tomadas de decisão.

7.7.8 Otimização das redes de transferência de massa

A proposta técnica inclui a otimização do uso da água a partir da síntese de redes de transferência de massa (mass exchange network, MEN), seja usando métodos de otimização generalizados (El-Halwagi & Manousiouthakis, 1989; Papalexandri et al., 1994; Sharratt & Kiperstok, 1996) ou o método de análise “water pinch”, como apresentado por Alva-Argáez et al. (2007), Smith & Petela (1992), Wang & Smith (1994).

De acordo com Smith & Petela (1992), procedimentos tradicionais de minimização do uso de água como mudanças de operações de lavagens, quando complementados com a metodologia de “water pinch” têm alcançado uma redução de 30 a 60% de água bruta em aplicações industriais. Outra possibilidade é utilizar o diagrama de fontes de água - DFA (Pessoa, 2008 e Moreira, 2009) para propor, às redes de equipamentos, que minimizem o consumo de água ou a geração de efluentes.

Durante os estágios iniciais foram contatados grupos de pesquisa que trabalham diretamente com otimização, através do uso de diagrama de fontes de água (Queiroz et al., 2006). Uma das razões para isto foi facilitar o entendimento e a transferência do método para os engenheiros das plantas.

Alguns trabalhos foram realizados usando-se a metodologia DFA resultando, inclusive, numa dissertação de mestrado sob orientação conjunta de professores da rede Teclim UFBA e de grupos externos (UFRJ). Apesar da dificuldade de se trabalhar com casos reais, multicomponentes, com medição precária e séries de dados históricos não consolidados, a aplicação da metodologia possibilitou a identificação de inúmeras possibilidades de reúso de correntes intermediárias e de utilização de fontes externas, o que acarretará aumento da eficiência hídrica, caso as recomendações finais sejam implantadas.

Até o momento a síntese MEN não tem sido implementada plenamente nas plantas industriais em que se tem trabalhado; as três razões principais para isto, são: a falta de informação adequada relacionada aos fluxos aquosos, a nível de processo, dificuldade de atribuir valores às concentrações máximas de determinado poluente a ser considerado na água que entra nos processos e, finalmente, ao desenvolvimento ainda incipiente de metodologias, considerando-se processos multicomponentes.

7.7.9 Análise da inserção da empresa no ciclo hidrológico regional

As atividades de estudo da inserção da empresa no ciclo hídrico regional têm, como principal objetivo, avaliar ações efetivas de proteção, preservação e remediação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região. Tais atividades consideram a avaliação das características hidrológicas e hidrogeológicas da região, permitindo equacionar os impactos que qualquer redução do consumo da água e geração de efluentes possa causar, além dos limites da empresa. Adicionalmente, o levantamento do potencial hídrico da região possibilita delinear estratégias de melhor uso da água, considerando-se sua qualidade e aspectos de logística de utilização, tal como identificar fontes alternativas de abastecimento e descarte no âmbito do pensamento de ciclo de vida promovido pela Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental (SETAC) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

A análise de inserção da empresa no ciclo hidrológico regional nos projetos já realizados, contemplou estudos de fontes alternativas de abastecimento de água da região do Polo Industrial de Camaçari, destacando-se os estudos de aproveitamento das águas captadas em três bacias de contenção de efluentes pluviais e inorgânicos (Oliveira-Esquerre et al., 2011).

7.7.10 Elaboração de projetos conceituais

Os projetos conceituais refletem os resultados da inserção dos conceitos de P + L na empresa, gerados a partir das ideias cadastradas no banco de ideias e que passaram por uma análise preliminar e levam em conta a representação espacial da área em estudo.

A formação de uma equipe multidisciplinar e sua capacitação, são imprescindíveis nesta etapa, frente às diferentes exigências técnicas de cada empresa na elaboração de um projeto conceitual. Referidas exigências envolvem, dentre outros, a elaboração de estratégias de implantação da ideia, o estudo de viabilidade de investimento, o estudo de perigo (HAZOP e FMEA, do inglês Hazard and Operability Analysis e Failure Mode and Effect Analysis, respectivamente) e a revisão de dados de consumo de utilidades e matéria-prima, efluentes gerados e sistemas de despejo.

Projetos de redução e reúso de água e efluentes dentro das unidades de produção, são baseados em dados de projeto, manuais de operação, vazões extraídas do balanço hídrico e qualidade da água e efluentes, além de informações geradas em diversas discussões, com engenheiros e operadores.

7.7.11 Auditoria de fontes de alimentação de efluentes

A atividade de auditoria de fontes de alimentação pretende definir, no “chão da fábrica”, ações e procedimentos para a redução do volume de efluentes pontuais dentro de cada unidade da empresa, busca, ainda, a remoção de contaminantes através da minimização da perda de produtos para as linhas de efluentes.

O desenvolvimento desta atividade segue as seguintes etapas: identificação das regiões próximas às fontes geradoras; avaliação das condições de amostragem quanto aos distúrbios que possam falsear resultados; levantamento das vazões medidas e estimadas de efluentes; amostragem nas canaletas e bacias do sistema de efluentes orgânicos; análises dessas amostras; realização de balanço de massa das correntes; cálculo do acúmulo de orgânicos e sólidos na bacia de efluentes e análise de dados e elaboração de programas de ação.

7.8 RESULTADOS ALCANÇADOS

Alterações no consumo de água em indústrias, principalmente de grande porte, obedecem a um grande número de fatores, o que se constitui em uma das dificuldades que se colocam quando se procura avaliar a eficácia da metodologia utilizada nos projetos cooperativos de pesquisa; dificilmente se consegue correlacionar, de forma inequívoca, uma mudança no consumo com uma ação específica; feita esta ressalva, algumas observações podem ser apresentadas quanto aos resultados obtidos.

A empresa A de um setor que faz uso intensivo da água no seu processo, procurou a TECLIM após o desenvolvimento de um primeiro esforço para a redução

do consumo de água no período 2002 – 2003. Nesta fase, perdas de grande porte foram eliminadas (Figura 7.11). Após uma forte redução (de 179 para 106 $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ de produto), o consumo específico de água se estabilizou. Por sugestão de ex-alunos do Curso de Especialização em Gerenciamento de Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo da UFBA, o TECLIM foi procurado para desenvolver um projeto visando à retomada da queda do consumo da empresa. Cabe citar que no processo de renovação da sua licença de operação o Centro de Recursos Ambientais, denominação na época da agência ambiental da Bahia, estimulou a empresa a procurar meios para reduzir ainda mais seu consumo de água; o projeto foi iniciado em dezembro de 2004 e concluído em fevereiro de 2007 (seta indicativa na Figura 7.11) contando com o aporte de recursos financeiros do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, FINEP/CTHidro; nos meses iniciais do projeto em 2005 foram iniciados a montagem do balanço hídrico e os treinamentos em produção limpa. Salienta-se a intensa e dedicada participação dos colaboradores da fábrica, da alta gerência até os operadores dos processos.

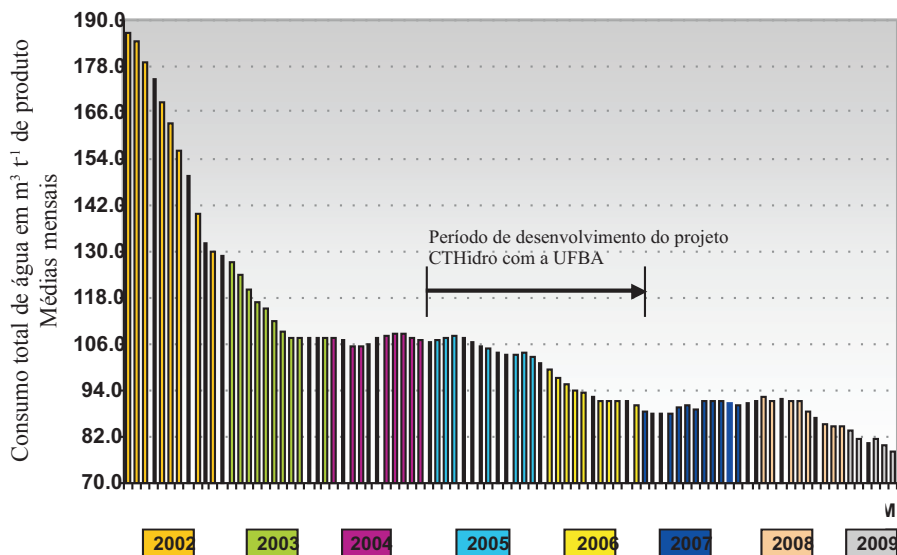


Figura 7.11 Evolução do consumo de água na empresa A

Os levantamentos de dados e as discussões sobre as vazões atribuíveis às centenas de correntes aquosas identificadas, enfatizaram a participação de cada processo no consumo total; a esta tomada de consciência, dirigida para o interior de cada processo, assim como para o sistema de utilidades, pode ser atribuída à retomada da queda no consumo específico da fábrica que começa a acontecer no meio do ano de 2005. Ao longo dos meses seguintes se aprimoraram os balanço hídrico e o sistema de informações geográficas, enquanto iam sendo coletadas e desenvolvidas ideias

que seriam detalhadas em projetos conceituais; ao final do projeto com o Teclim/UFBA, o consumo específico de água já se encontrava em torno de 86 m^3 por tonelada de produto, 20% abaixo do consumo de dois anos antes; ao longo do projeto foram compiladas mais de 50 idéias, dezesseis das quais foram apresentadas e discutidas com todas as gerências e com o corpo técnico da fábrica, em evento especificamente convocado para tanto, visto que elas são a base para o desenvolvimento de projetos conceituais.

O esforço, contudo, não cessou com o final do convênio; conforme o gráfico apresentado, o consumo específico continuou a cair após um período de estagnação da queda e continua caindo, em parte como reflexo da implantação dos projetos desenvolvidos a partir das idéias levantadas junto com o pessoal da fábrica; em meados de 2009 a fábrica já atingia um consumo específico inferior a 80 m^3 por tonelada de produto, isto é, em torno de 42% do consumo praticado 7 anos antes; trata-se de caso muito comentado no âmbito da matriz da corporação internacional a qual pertence atualmente à fábrica.

A experiência desenvolvida com a fábrica B também contou com o aporte de recursos dos fundos setoriais, no caso do CT-Petro, ao longo de três períodos de dois anos cada um, conforme ilustrado na Figura 7.12.

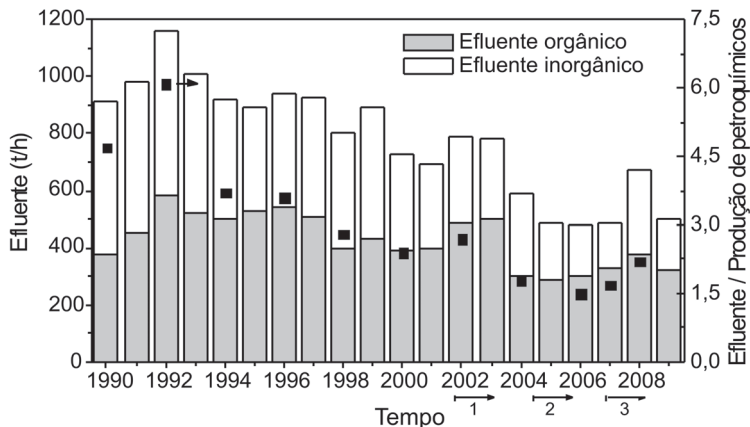


Figura 7.12 Evolução da produção de efluentes na empresa B

Apresenta-se, neste caso, uma redução da produção de efluentes inorgânicos mas sem o mesmo sucesso no caso dos orgânicos. Nesta empresa o processo de capacitação em larga escala para a produção limpa não pode ser desenvolvido a contento devido a dificuldades no agendamento dos cursos.

O levantamento de dados para alimentação do balanço hídrico permitiu, contudo, uma forte aproximação dos pesquisadores do projeto com os técnicos e operadores das diversas áreas industriais (as setas na Figura 7.13 indicam o início do trabalho dos pesquisadores do projeto dentro da fábrica, no levantamento de dados junto à

operação). Este contato entre pesquisadores e operadores colocou em evidência a questão das perdas e desperdícios que poderiam ser facilmente evitáveis.

A queda do volume de efluentes gerados observada na Figura 7.13 se deveu, em parte, a uma atenção maior com práticas então corriqueiras na empresa, como a de lançamentos desnecessários de água nas canaletas das áreas produtivas. Além da redução do indicador volume de efluente por unidade de matéria-prima consumida, a figura indica também maior estabilidade do mesmo, tanto para os efluentes orgânicos como para os inorgânicos; a instabilidade das vazões de efluentes pode ser considerada um indicador de falta de cuidado com o uso da água industrial

Observa-se ainda, na Figura 7.12, a retomada do indicador de produção específica de efluentes no período final do projeto. Isto se deve, provavelmente, à queda na produção da fábrica e instabilidades operacionais vivenciadas nesse período. Ao

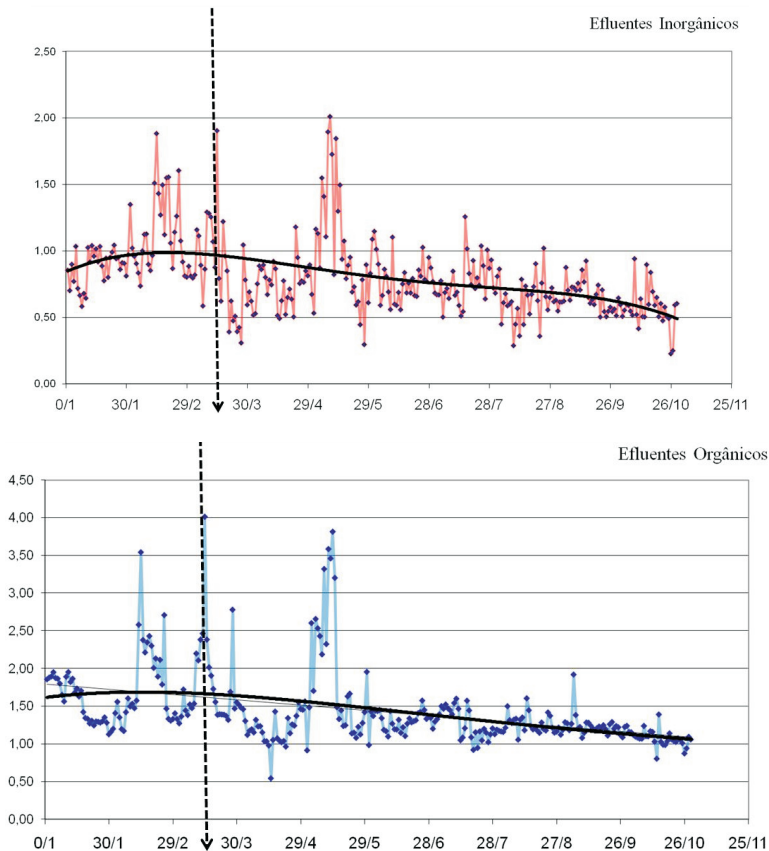


Figura 7.13 Queda verificada na produção de efluentes em m^3 por tonelada de matéria-prima utilizada na empresa B, no início do projeto cooperativo com o Teclim/UFBA

longo do projeto foi possível verificar que existe uma forte correlação entre estabilidade operacional de uma fábrica e a produção de efluentes. Quanto maior a instabilidade do processo maiores também o consumo de água e a produção de efluentes.

No caso do projeto cooperativo com a empresa C, também desenvolvido no âmbito de um edital do fundo setorial CTHidro, de junho de 2003 a agosto 2004, são observadas tendências de queda, tanto no consumo de água como de produção de efluentes; na Figura 7.14 a curva representativa do consumo de água clarificada, referenciada no eixo esquerdo do gráfico, indica uma redução do consumo de 4,8 para 4 m^3 por tonelada de produto, isto é, uma redução de 17% em apenas um ano; as curvas de consumo de água potável e vapor, da mesma forma que as de produção de efluentes, se referem ao eixo direito do gráfico; no caso do vapor não se observa qualquer modificação, até porque não foram modificadas as demandas térmicas dos processos; já no caso da produção de efluentes, como de consumo de água potável, as reduções são mais significativas.

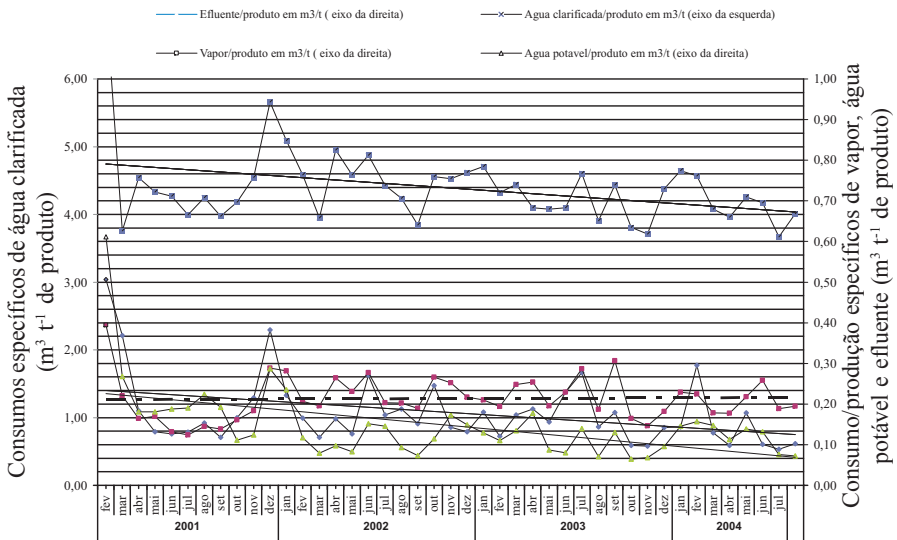


Figura 7.14 Evolução do consumo de água e produção de efluentes na empresa C

No período citado ocorreu redução da produção específica de efluentes, de 0,23 para $0,13 \text{ m}^3$ por tonelada de produto (43%) e, no consumo de água potável, de 0,12 para $0,07 \text{ m}^3$ por tonelada de produto (42%). O caso da água potável considerando-se que não houve flutuação significativa no número de funcionários da empresa, denota que os esforços desenvolvidos atingiram também o consumo humano.

Mesmo não se referindo a um caso industrial nem tendo sido aqui referida a metodologia utilizada, é interessante ilustrar os resultados obtidos na redução do

consumo de água da UFBA, com o programa AGUAPURA (www.teclim.ufba.aguapura). Mais detalhes sobre a abordagem para redução do consumo de água em prédios públicos utilizada pelo TECLIM/UFBA, podem ser encontrados em Gonçalves et al. (2009) e Nakagawa & Kiperstok (2009).

Observa-se, na Figura 7.15, redução do consumo de água na UFBA, a partir de 2000; no período 2000 – 2004, a redução pode ser atribuída à implantação de esforços de manutenção corretiva convencionais; a depleção verificada no ano de 2004, mais do que um avanço na racionalização do uso da água denota a redução do consumo durante a última greve de estudantes na universidade. Conforme indicado na figura, em 2005 se iniciou o acompanhamento diário do consumo, em algumas unidades da UFBA e sua divulgação online pelo site do ÁguaPura, acima citado. Os efeitos da divulgação dos consumos diários por unidade e sua influência no aumento da capacidade de resposta do sistema de manutenção corretiva, tal como em prováveis mudanças de hábito do público universitário, começam a ser sentidos mais claramente no primeiro trimestre de 2006; observe-se, também, a estabilização do consumo, ocorrida após o início do acompanhamento e divulgação do consumo. Ocorreu um fenômeno semelhante ao verificado na empresa B, apesar dos mecanismos de divulgação e conscientização terem sido diferentes.

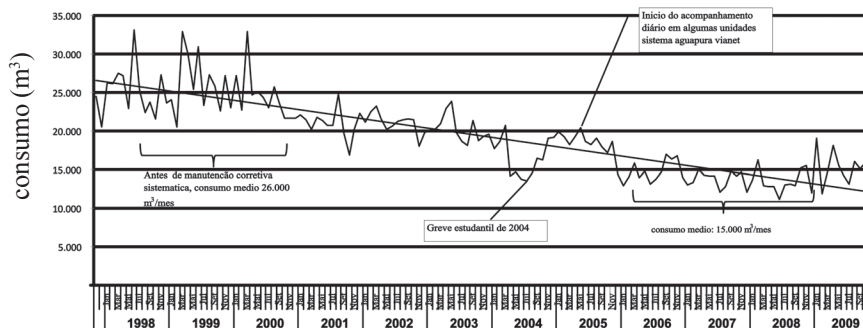


Figura 7.15 Evolução do consumo de água nos campi de Salvador da UFBA, sem incluir o consumo dos hospitais universitários

O crescimento do consumo constatado em 2009 pode ser atribuído ao já forte acréscimo de alunos e professores, em virtude de implementação do REUNI, e ao plano de expansão física deste programa com a construção e reforma de diversos prédios.

7.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água tem sido colocada como limitação para o desenvolvimento econômico e social do semiárido brasileiro; mesmo assim, o uso que dela se faz nos mais diversos

segmentos da vida nordestina, apontam para altos níveis de perda e desperdício; entre as razões apontadas se inclui a falta de cultura gerencial e produtiva para a gestão da demanda da água. Esta linha de raciocínio se aplica perfeitamente ao setor industrial, que representa menos de 9% dos usos consuntivos da região. Este setor, contudo, se caracteriza por dispor de forte influência política, o que facilita o atendimento às suas demandas hídricas mas, por outro lado, é visto com desconfiança pela opinião pública, no referente à sua participação nos problemas ambientais. A crise de disponibilidade de recursos naturais gerada pelo forte crescimento do consumo, demanda novos modelos gerenciais e tecnológicos. Os autores deste capítulo apontam para a necessidade de se promover mudanças na lógica de atuação, tanto do setor governamental como do produtivo, redirecionando esforços que privilegiem a gestão da demanda de água e a adoção de mecanismo de produção mais limpa.

Urge se sair do paradigma “fim de tubo” vigente, para uma busca sistemática de níveis maiores de ecoeficiência. Para tanto, deve-se praticar melhor os instrumentos da produção mais limpa e da ecologia industrial, o que pressupõe, inclusive, um enfoque mais abrangente e esclarecido da relação água-energia em todas as atividades produtivas. Deve-se redirecionar os esforços de racionalização para o interior dos processos produtivos, por um lado e por outro compreender melhor as relações entre os diversos elos da cadeia produtiva, incluindo a relação entre parque produtivo e mercado consumidor, que influenciam no consumo dos recursos naturais.

A Universidade Federal da Bahia vem desenvolvendo intenso trabalho de articulação com o setor industrial, através da Rede de Tecnologias Limpas – TECLIM, da Escola Politécnica. Uma década de inserção no tema, seja através do ensino de graduação e pós-graduação, ou no desenvolvimento de projetos de pesquisa cooperativa com a indústria, permite delinear uma metodologia para a racionalização do uso da água industrial.

Aspectos comportamentais e tecnológicos são trabalhados em conjunto para se conseguir resultados significativos. Entre os instrumentos utilizados e aprimorados se inclui a ampliação do conhecimento sobre a forma como se dá o consumo de água dentro das plantas industriais, utilizando-se instrumentos matemáticos para melhorar a qualidade da informação disponível. Desta maneira, pode-se alicerçar o desenvolvimento de oportunidades para a eliminação de perdas e desperdícios. Os instrumentos desenvolvidos favorecem um amplo envolvimento de toda a fábrica com o objetivo da racionalidade no uso da água, agregando mecanismos tecnológicos para a identificação das melhores oportunidades; os resultados apontam para reduções significativas de até 60 % no consumo de água e produção de efluentes industriais.

No referente à relação entre os órgãos reguladores e os empreendedores, sugere-se a inclusão, na outorga de água, de mecanismos crescentemente mais exigentes, de forma a se gerar a cultura de uma permanente busca por consumos de água por unidade de produto, cada vez menores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. do C.; Vieira, P.; Ribeiro, R.; Andrade, M. Needs and barriers in technical regulations and standards for the efficient use of water: situation in Portugal and Brazil. *Water Science and Technology: Water Supply*, v.5, n.3-4, p.209-217, 2005.
- Alva-Argáez, A.; Kokossis, A. C.; Smith, R. The design of water-using systems in petroleum refining using a water-pinch decomposition. *Chemical Engineering Journal*, v.128, p.33-46, 2007.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009*. Agência Nacional de Águas. Brasília : ANA, 2009. 204p.
- Bass, L. W. An integrated approach to cleaner production. Misra, K. B. (ed.). Misra, K.B. *Clean production, environmental and economic perspectives*. 1. ed. Berlin, Springer, 1996. p.211-226.
- Bravo, J. L. R.; Kiperstok, A. Studies on water conservation at a primary copper metallurgy. In: *European Metallurgical Conference - EMC 2005*, Dresden, Germany, 2005.
- Chertow, M. R. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review Energy Environment*, n.25, p. 313-337, 2000.
- Deul, A. S. Systematic approach to water resource management in industry. In: P. Lens (ed.). *Water recycling and resource recovery in industry: Analysis, technologies and implementation*, Netherlands: IWA Publishing, 2002. p.252-270.
- El-Halwagi, M.M.;Manousiouthakis,V. Synthesis of mass exchange networks. *AIChE Journal*. v.35, n.8, p.1233-1244, 1989.
- EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse , September, 2004. <http://epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf>. 21 jan. 2010.
- Féres, J.; Reynaudb, A.; Thomasb, A.; Motta, R. S. Competitiveness and effectiveness concerns in water charge implementation: A case study of the Paraíba do Sul River Basin. *Water Policy, Brazil*, v. 10, p.595-612, 2008.
- FIESP - Federação da Indústria do Estado de São Paulo. *Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial*. v.1. 2004. p.90.<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>. 25 jan 2009.
- Five Winds International. *Industrial ecology – Environmental concepts and tools*. http://www.fivewinds.com/uploadedfiles_shared/IndustrialEcology040127.pdf. 21 jan. 2010.
- Fontana, D.; Kalid, R.; Kiperstok, A.; Silva, M. A. S. Methodology for wastewater minimization in industries in the Petrochemical Complex. In: *Mercosur Congress on Chemical Engineering, 2 and Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 4*. 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2005. 10p.
- Frank, K. *Nalco, the Nalco water handbook*. 2. edition. New York: McGraw-Hill, 1988.

- Gleick, P. H. Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources. In: Peter, H. G. (ed.). USA: Oxford University, 1993. 473p. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Stockholm Environmental Institute.
- Goldblatt M. E.; Eble K. S.; Feathers J. E. Zero discharge: What, why and how. *Chemical Engineering Progress*, v.89, n.4, p. 22-27, 1993.
- Gonçalves, R.F. (coord). Programa de Pesquisa em Saneamento Básico-PROSAB. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, v.5, 2009.
- Gwehenberger, G.; Narodoslowsky, M. Sustainable processes: The challenge of the 21st century for chemical engineering. *Process Safety and Environment Protection*, 2008. doi:10.1016/j.psep.2008.03.004
- Hayward, K. Climate change and water supply. *Water 21*, IWA Publishing, 2008, p.12-14.
- Heller, L.; Pádua, V. L. (org.). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p.
- IWA - International Water Association. Water and energy declaration. http://www.iwaterandenergy2009.org/upload/iwa_declaration_final_december_09.pdf. 29 Jan 2010.
- Lima, A.M.F.; Kiperstok, A. Avaliação do ciclo de vida (ACV) no mundo e no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. Belo Horizonte: ABES, 2007.8p.
- Kiperstok, A. Implementation of cleaner production practices with the support of a diploma course. *Journal of Cleaner Production*, v.8, p.375-379, 2000.
- Kiperstok, A. Pesquisa realizada junto com a CDN consultoria (não publicado). 2004
- Kiperstok, A. Visita realizada às instalações da usina de dessalinização em Ashkelon em viagem de estudos organizada pelo Ministério da Integração Nacional e a Agência Mashav do Governo de Israel. Israel. 2008b.
- Kiperstok, A.; Agra Filho, S.; Andrade, J.C.S.; Figueirôa, E.; Costa, D.P. Inovação e meio ambiente: Elementos para o desenvolvimento sustentável na Bahia. Salvador: CRA - Centro de Recursos Ambientais, 2003.
- Kiperstok, A.; Kalid, R.; Sales, E. Development of water and wastewater minimization tools for the process industry: The experience of the clean technology network of Bahia, Brazil. In: Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, 4, São Carlos, 2006.
- Kiperstok, A.; Marinho, M. O desafio desse tal desenvolvimento sustentável: O programa de desenvolvimento de tecnologias sustentáveis da Holanda. *Bahia Análise e Dados*, Salvador-BA, v.10, n.4, p.221-233, 2001b.
- Kiperstok, A.; Silva, M.; Kalid, R.A.; Sales, E. A.; Pachego Filho, J.G.A.; Oliveira, S.C.; Galvão, C. P. L.; Fontana, D. Uma política nacional de meio ambiente focada na P + L: elementos para discussão. *Bahia, Análise & Dados*, Salvador-BA v.10, n.4, p. 326-332, 2001a.

- Kiperstok, A.; Tanimoto, A. H.; Fontana, D.; Silva, E. H. B. C.; Mendonça, J.; Lacerda, L. P.; Pustilnik, L.; Cardoso, L. F.; Kalid, R. A.; Teixeira, A. Fundamentos da produção limpa. Prata da casa: Construindo produção limpa na Bahia. Teclim/UFBA, Bahia, 2008a, p.19-42, cap. 1.
- Kollar, K. L., Patrick MacAuley. Water Requirements for industrial development. Management and operations. Journal of American Water Work Association, 1980.
- Lagrega, M. D.; Buckingham, P. L.; Evans, J. C. The environmental resources management group: Hazardous waste management. Singapore: McGraw-Hill, 1994, 1146 p.
- Lowe, E. A. Eco-industrial park handbook for Asian Developing Countries.2001. Disponível em: <<http://www.indigodev.com>>. Acesso em: Jun.2002.
- Martins, M.; Souza, L.; Amaro, C.; Kiperstok, A.; Kalid, R. New objective function to data reconciliation of water balance. Submitted to Journal of Cleaner Production in 2009.
- Metcalf & Eddy Inc. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. 3. ed. Revised by George Tchobanoglous, Frank Burton. Singapore: McGraw-Hill, 1991. 1331p.
- Mierzwa, J. C. Água na indústria: uso racional e reuso/ José Carlos Mierzwa, Ivanildo Hespagnol. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- Moreira, R. C. Minimização de efluentes em uma unidade de tratamento de água industrial. Salvador: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2009. 117p. Dissertação Mestrado.
- Nakagawa, A.K.; Kiperstok, A.; Oliveira-Esquerre, K.P.; Quadros, A.dos S. Água pura-Programa de uso racional da água em uma universidade: Metodologia e resultados. In: Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25. Recife/PE: ABES, 2009. http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art92.pdf. 28 jan 2009.
- Nascimento, L.F.M.; Kiperstok, A. Two new innovative environmental academic programs in Brazil. In: Full paper available at the website of World Resources Institute, Bell Conference, 17-19 July 2003, Fort Lauderdale, USA, 2003.
- Oliveira-Esquerre, K.P.; Kiperstok, A.; Mattos, M.C.; Cohim, E.; Kalid, R.; Sales, E.A.; Pires, V.M. Taking advantage of storm and waste water retention basins as part of water use minimization in industrial sites. Resources, Conservation and Recycling, v.55, n. 3, p.316-324, 2011.
- Papalexandri, K.P.; Pistikopoulos, E.N.; Floudas, C.A. Mass exchange networks for waste minimization: A simultaneous approach. Chemical Engineering Research and Design v.72, p.279-294, 1994.
- Pessoa, F. L. P. Diagrama de Fontes de Água (DFA). Apostila do Curso sobre Metodologia TECLIM para Otimização Ambiental - Ferramentas para Minimização do Uso de Água em um Ambiente Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- Queiroz, E. M.; Pessoa, F. L. P. Water source diagram procedure: Wastewater reduction for single contaminant. In: CHISA 2006 - International Congress of Chemical and Process Engineering, 17. Praga. Proceedings CHISA/2006, v. T847, 2006.

- Reynaud, A. An econometric estimation of industrial water demand in France. *Environmental and Resources Economics*, v.25, p213-232, 2003.
- Romagnoli, J.A.; Sánchez, M.C. *Data processing and reconciliation for chemical process operations*, New York: Academic Press, 1988.
- Rosain, R.M. Reusing water in CPI plants. *Chemical Engineering Progress* v.89, n.4, p. 28–35, 1993.
- Sharatti, P.N. and Kiperstok, A. Environmental optimisation of releases from industrial sites into a linear receiving body. *Comp Chem. Eng*, 20, p.1413-1418, 1996.
- Smith, R.; Petela E. *Water minimisation in the process industries: Parts 1/5*, Chemical Engineer. Springer, p.211-226, 1992.
- Tambo, N. *Technology in the high entropy world*. Conference slides. Xian and Sapporo: may/jun 2005.
- Tanimoto, A. H. *Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari*. Salvador: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2004. 169p. Dissertação Mestrado
- Wang, Y. P.; Smith, R. Wastewater minimisation. *Chemical Engineering Science*, v. 49, p.981–1006, 1994.
- Zver, Z. L.; Glavic, P. Water minimization in process industries: Case study in beet sugar plant. *Resources, Conservation and Recycling*, v.43, p. 133-145, 2005.

Águas superficiais no semiárido brasileiro: Desafios ao atendimento aos usos múltiplos

José Nilson B. Campos¹

¹ Universidade Federal do Ceará

- 8.1 Introdução
- 8.2 O semiárido e as águas
 - 8.2.1 Aspectos físicos
 - 8.2.2 Aspectos culturais
 - 8.2.3 Aspectos políticos
- 8.3 Os potenciais hidráulicos
 - 8.3.1 Estimativa do potencial hidráulico
 - 8.3.2 Estimativa dos potenciais hidráulicos para a bacia do rio Jaguaribe
- 8.4 O aproveitamento do potencial hidráulico
 - 8.4.1 O aproveitamento do potencial hidráulico móvel
 - 8.4.2 O aproveitamento do potencial hidráulico fixo
- 8.5 Desafios ao aproveitamento múltiplo
 - 8.5.1 Alocação das águas entre usos competitivos
 - 8.5.2 Gerenciamento da planície de inundação
 - 8.5.3 Manutenção de uma vazão mínima nos rios
 - 8.5.4 Suprimento de água em populações rurais e coleta das águas residuárias
 - 8.5.5 Sistemas urbanos de água
 - 8.5.6 Manutenção da qualidade das águas
- 8.6 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Águas superficiais no semiárido brasileiro: Desafios ao atendimento aos usos múltiplos

8.1 INTRODUÇÃO

Em seus primórdios, as sociedades se instalavam, preferencialmente, em locais com recursos hídricos naturais em quantidade suficiente para atender às suas necessidades. A seca, como fenômeno social, era evento raro para as populações que habitavam regiões úmidas. Em situações de escassez as pessoas se mudavam para locais onde encontrassem recursos naturais. Em um mundo com muitas terras, água abundante e populações rarefeitas, o nomadismo era a solução de períodos de carência.

Em regiões semiáridas, tal como em uma grande porção do Nordeste brasileiro, mesmo no início da colonização os problemas de escassez já atingiam as populações com maior gravidade. Ressaltam-se, aqui, as citações de Fernão que, ao se referir à seca de 1583, disse: “houve uma grande seca e esterilidade na Província (Pernambuco) e desceram do sertão, socorrendo-se aos brancos, cerca de quatro ou cinco mil índios.” (Sousa, 1979).

Mais recentemente e mesmo em regiões úmidas, com o agravamento da escassez as águas passaram a ser objeto de disputa intensa; em consequência, as sociedades passaram a organizar os direitos sobre os usos dos recursos hídricos inserindo o conceito de usos múltiplos. A demanda por água se dá em um tempo específico por uma quantidade específica, em determinado local e com certo padrão de qualidade, isto é, a demanda se atém a quatro dimensões para análise: ao espaço, ao tempo, às disponibilidades em volume e à qualidade. Essas dimensões podem ter estudos específicos porém é essencial uma visão integradora das mesmas.

Na análise conjunta das quatro dimensões estão inseridos os desafios ao atendimento dos usos múltiplos; o espaço de análise é o semiárido brasileiro (Figura 8.1) com suas especificidades hidrológicas e climáticas.

A região Nordeste, especificamente a porção semiárida, é considerada uma região problema no aspecto relativo à escassez dos recursos naturais e particularmente no recurso água. Vieira et al. (2000), apresentam as principais características do Nordeste brasileiro, relativas à água:



Fonte: ANA (2006)

Figura 8.1 Mapa do Nordeste brasileiro com delimitação da região semiárida

- rios intermitentes;
- secas periódicas e cheias frequentes;
- uso predominante das águas para abastecimento humano e agropecuário;
- águas subterrâneas limitadas em razão da formação cristalina que abrange cerca de 70% do semiárido;
- precipitação e escoamento superficiais pequenos se comparados com o restante do Brasil;
- eficiência hidrológica dos reservatórios, extremamente baixa;
- conflitos de domínio entre União e Estados em trechos de rios estaduais perenizados com reservatórios da União;
- necessidade de uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas aos aluviões que se estendem ao longo dos rios com reservatórios à montante;
- ampla infraestrutura hidráulica construída ao longo dos anos com problemas de segurança, manutenção e operação.

Neste capítulo se apresentam os desafios ao atendimento dos usos múltiplos, a partir dos potenciais hídricos de superfície. Inicialmente, discorre-se sobre a questão das águas no semiárido, com abordagens relacionadas aos aspectos físicos, culturais e políticos; em seguida se avaliam os potenciais hidráulicos da região com comparações com outras regiões do mundo; depois se discorre sobre o aproveitamento do potencial hidráulico, com ênfase nas águas superficiais. Trata-se, finalmente, dos desafios relacionados ao uso múltiplo e se conclui com síntese do tema abordado.

8.2 O SEMIÁRIDO E AS ÁGUAS

O gerenciamento de águas está inserido em áreas do conhecimento das ciências exatas, necessárias para a determinação das potencialidades e das ciências humanas, importantes para a busca do entendimento entre pessoas na distribuição das disponibilidades. Neste contexto, a gestão de águas é consequência das condições físicas, da cultura da sociedade e dos aspectos políticos.

8.2.1 Aspectos físicos

O Nordeste brasileiro é composto de três grandes regiões fisiográficas e climáticas bem distintas: a Zona da Mata, formada por uma estreita faixa costeira que se estende do norte do Estado do Rio Grande do Norte até o sul do Estado da Bahia; a formação geológica principal é constituída de arenitos e argilas arenosas de origem continental, chamada “barreira”; o clima é tropical quente e úmido, influenciado pelos ventos alísios; a pluviosidade média anual varia de 1.200 acerca de 2.500 mm e a estação das chuvas se estende de março a setembro (Cadier, 1994).

A Zona do Agreste se situa imediatamente a oeste da Zona da Mata; é uma zona intermediária entre a zona úmida e o Sertão, mais seco, na qual se cultivam frutas e legumes e se pratica a pecuária bovina; passa-se das florestas do litoral às formações herbáceas e arbustivas; a formação geológica sedimentar barreira precedente, vai diminuindo em direção ao oeste, desaparece e afloram as rochas cristalinas; os solos, do tipo Podzólico de espessura mediana a espesso sobre os solos sedimentares, são substituídos por solos pouco espessos, mais ricos em minerais sobre o embasamento cristalino (Cadier, 1994).

Na terceira zona o sertão semiárido, a vegetação original, a caatinga, é composta de espécies xerófilas e espinhosas de estrato herbáceo gramíneo raro ou ausente; o relevo pouco ondulado é, às vezes, dominado por inselbergs e com raras planícies interiores sobre o embasamento pré-cambriano, em forma de grandes tabuleiros constituídas de formações sedimentares; o clima semiárido é caracterizado por uma pluviometria média anual que varia de 400 a 800 mm; a criação de gado bovino é a atividade dominante no sertão (Cadier, 1994).

O semiárido, tema do presente capítulo, possui basicamente dois sistemas sinóticos que ocasionam as precipitações pluviiais da região: os Vórtices Ciclônicos do Ar Superior (VCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); o sistema VCAS provoca, geralmente, as chuvas de janeiro a fevereiro, as quais são denominadas de pré-estação; a ZCIT, principal sistema para a agricultura de sequeiro dos sertões, se desenvolve de março a junho.

As chuvas dos VCAS, embora de menor importância para a agricultura dos sertões, podem ser de grande significância para o escoamento dos rios; em alguns anos, como em 2003, acontecem grandes vazões que resultam no enchimento da rede de reservatórios da região; na maioria dos anos as chuvas de janeiro e fevereiro são insuficientes para gerar escoamentos relevantes nos rios, porém executam a função

hidrológica de umedecer os solos e proporcionar condições para que as chuvas da ZCIT produzam vazões nos rios, a partir de março.

Neste ambiente se formam os rios intermitentes, com duas estações bem definidas e que podem ser bem retratados pela hidrograma médio anual do Rio Jaguaribe, em Iguatu (Figura 8.2); no semiárido há dois grandes rios perenes: o São Francisco e o Parnaíba; boa parte das áreas vizinhas a esses rios, apresenta problemas semelhantes aos dos rios intermitentes.

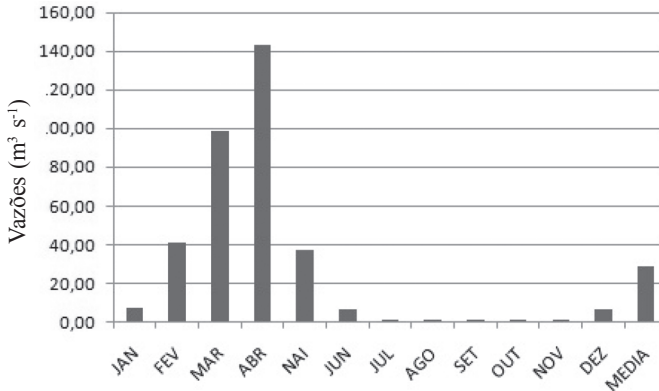


Figura 8.2 Hidrograma médio anual do rio Jaguaribe, em Iguatu, que representa bem os rios intermitentes do semiárido brasileiro

8.2.2 Aspectos culturais

As secas recorrentes no Nordeste brasileiro criaram uma sociedade que valoriza, com muita ênfase, os reservatórios. Entre os estudiosos do semiárido existem muitos que consideravam que os rios deveriam ser barrados, até prender a última gota de água; um açude era considerado um templo; ter um açude era mais importante do que ter uma barragem, do que ter um palácio. Veja-se a colocação de Felipe Guerra, publicada no Diário de Natal, em julho de 1902 (Guerra & Guerra, sem data):

É pela construção de açudes que devemos pugnar, bradar, erguer uma propaganda tenaz, ampla, até levar a convicção aos que duvidam, energia aos fracos, estímulo aos descuidosos.

- Qual a única medida capaz de salvar o sertão?
 - A açudagem.
 - Qual o emprego de capital de renda certo e infalível?
 - O açude.
 - Como nos garantir contra as secas? Construindo açudes.
 - Qual a fortuna material que deveremos legar aos filhos?
- Um bom açude.

No sertão, vale mais deixar à família um bom açude do que rico e belo palácio. Dessas verdades estão todos mais ou menos convencidos.

O poeta popular cearense Patativa do Assaré¹ (Figura 8.3) é um símbolo da cultura nordestina de desafio e convivência com as secas. Patativa colocou, em suas poesias, as duas faces dos fenômenos das chuvas: as secas e as cheias. O Poeta é associado à vida do sertanejo na expectativa de chuvas e receios de uma seca. Em homenagem a ele foi erguida sua estátua com as mãos estendidas para o Céu, como que pedindo chuva. A Figura 8.3 mostra uma foto que captura o momento no qual a natureza parecia prestes a atender às preces de Patativa, porém nesse atendimento da natureza às preces, por vezes acontecem os fenômenos das cheias, os quais Patativa coloca nos versos: Pedi pra chover, mas chover de mansinho; pra ver se caía uma gota no chão; se eu não rezei direito o Senhor me perdoei; esse pobre que não sabe fazer oração.



Foto de Ricardo Ribeiro Campos (<http://www.flickr.com/photos/ricardor/>)

Figura 8.3 Imagem de compositor popular Patativa do Assaré, que simboliza a esperança de boas chuvas

Foi nesse ambiente que os governantes empreenderam ações políticas para a formação de uma infraestrutura hídrica no Nordeste brasileiro. Foi construída, então, uma significativa rede de açudes que mudaram o quadro das disponibilidades hídricas da região. Atualmente, no contexto da nova política de águas em prática no Brasil, a participação dos usuários em decisões relacionadas à alocação de águas representa o ponto de inflexão na cultura do semiárido. Os comitês de bacias hidrográficas são os lugares para a formação dessa nova cultura.

¹ Patativa do Assaré, poeta e repentista cearense, autor de A Triste Partida, poema sobre a saga das secas que se transformou em música

8.2.3 Aspectos políticos

As ações políticas no semiárido brasileiro foram, durante um longo período e ainda o são, em menor escala, conduzidas em função da ocorrência das secas. Sempre que ocorria uma seca os políticos anunciavam a intenção de programas de obras, principalmente estruturas hidráulicas, como reservatórios e poços e a implantação de áreas irrigadas. Na maior parte das vezes, as obras não eram realizadas ou somente realizadas apenas parcialmente; nesse contexto, a infraestrutura foi executada lentamente; mesmo assim, ao longo do século passado uma significativa rede de reservatórios foi construída.

Logo após a seca de 1877-79, que causou grande comoção nacional, o Imperador D. Pedro II, chocado com as visões da mortandade humana, disse a histórica frase: “Eu venderei a última pedra da minha coroa antes que um nordestino morra de fome”; porém, com toda boa vontade política e sinceridade do Imperador, o problema era bem maior que a Coroa Imperial. Foi ainda no império que começou a política de açudagem no Nordeste com início da construção do açude Cedro, em Quixadá, Ceará (Figura 8.4).



Fonte: Cirilo (2008)

Figura 8.4 Açude Cedro, que teve sua construção iniciada no tempo do Império, é símbolo das ações políticas na construção da infraestrutura hidráulica da região Nordeste

No ano de 1909, já na República, foi criada a Inspetoria de Obras Contra as Secas (atualmente Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS) e teve início uma política de ações contra as secas, com maior base técnica. Na época se trava um debate centrado na solução hídrica, do que seria a melhor solução para o Nordeste: a açudagem ou a transferência de águas do Rio São Francisco para perenizar rios intermitentes do Nordeste Setentrional; o Engenheiro Arrojado Lisboa, primeiro Diretor Geral do DNOCS, defendeu a açudagem e liderou o Departamento na prática de uma política mais estruturada da construção de açudes e perfuração de poços. Foi uma decisão sábia que delineou a formação da infraestrutura hidráulica da região;

somente, no século XXI, um século depois, a Transposição do Rio São Francisco teve suas obras iniciadas; mesmo assim, com as potencialidades hídricas locais próximas a se esgotar e dentro de um contexto de segurança hídrica.

Nas décadas de 1950 e 1960 ocorre uma mudança na visão das políticas para o desenvolvimento do Nordeste, particularmente nos aspectos institucionais; foram criados, então, a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB). A CHESF tinha a função de aproveitar o potencial hidrelétrico do Rio São Francisco, o BNB de Banco de Desenvolvimento e a SUDENE realizava o planejamento da região, dentro de uma concepção mais abrangente.

No campo dos recursos hídricos a SUDENE elaborou, com a participação de empresas estrangeiras da França, de Israel, de Portugal e da Espanha, planos de aproveitamento hidroagrícola dos potenciais hidráulicos; nos quais estavam inseridas novas técnicas para a realização de estudos hidrológicos de reservatórios; a partir daí, há uma melhoria significativa em recursos humanos especializados em recursos hídricos.

A partir da década de 1980, com o plano estadual de recursos hídricos do Estado do Ceará, a visão do aproveitamento múltiplo com participação dos usuários nas decisões, começa uma nova fase na gestão das águas do semiárido. A Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) foi de fundamental importância na formulação e implantação dessa nova política, que resultou na criação de instituições gestoras de água nas esferas estaduais (COGERH, AESA, IGARN) e nacional (ANA). Na fase de criação e fortalecimento dos comitês houve ação cooperativa entre instituições, técnicos e a sociedade em geral. A ANA, resultado de idéias debatidas nos simpósios da ABRH foi, durante muito tempo, uma boa parceira da ABRH na construção desses novos conceitos de gestão de águas.

A análise do processo das mudanças políticas na gestão de águas no Brasil, particularmente nos estados do Ceará, Paraná e Rio Grande do Sul, foi objeto de uma tese de doutorado na Universidade John Hopkins (Gutierrez, 2006). O autor buscou explicar como especialistas, normalmente apolíticos, foram capazes de iniciar e manter um processo de reforma política na gestão de águas na ausência de fortes demandas políticas ou sociais.

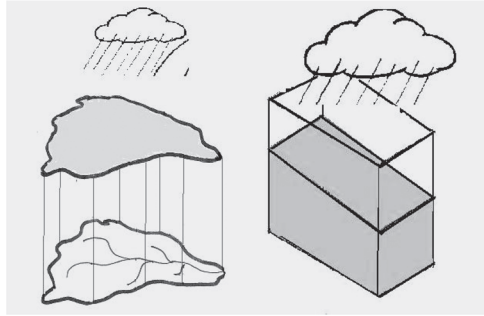
8.3 OS POTENCIAIS HIDRÁULICOS

As precipitações pluviais podem ser consideradas a fonte primária para a formação do potencial hídrico de uma região fechada. Neste contexto, o volume médio anual de chuva representa o máximo teoricamente possível de água de que se poderia dispor para usos com fins utilitários, isto na suposição de um sistema com 100% de eficiência; todavia, para a região semiárida as adversidades climáticas limitam muito a eficiência do sistema hídrico, como: alta taxa de evaporação, elevada variabilidade interanual e anual.

Nesta seção se apresentará uma metodologia para avaliação dos potenciais hidráulicos e estimativas realizadas para a região do Jaguaribe, no Nordeste, e para duas outras regiões do mundo.

8.3.1 Estimativa do potencial hidráulico

Considerar-se-á um sistema fechado, formado por uma bacia hidrográfica, o qual recebe uma precipitação média P ; o termo P , única fonte de alimentação do sistema, é denominado potencial hidráulico da bacia (Figura 8.5).



Adaptado de Campos (2009)

Figura 8.5 Representação esquemática de um sistema para a elaboração de um balanço hídrico de longo horizonte

O sistema efetua as seguintes transformações da precipitação média:

- Uma parte (E_v) permanece na superfície em depressões do solo e é retida nas folhas das vegetações; essas águas logo são evaporadas e retornam à atmosfera;
- Outra parte esco superficialmente (E_{sup}) formando os rios e riachos e a outra parte deixa a bacia na foz do rio principal;
- O restante se infiltra no solo (I) e se divide em duas partes:
 - As águas retidas nas camadas superiores dos solos são consumidas através da evaporação da superfície dos solos, aos quais chegam por capilaridade ou através das plantas, por sucção do sistema radicular (ET);
 - As águas que percolam em profundidade alimentam os lençóis freáticos e se deslocam sob a forma de escoamento subterrâneo (E_{SUB}). Essas águas podem reaparecer mais a jusante, na forma de escoamento superficial.

Tem-se a equação:

$$P = E_v + E_{SUP} + I = E_v + E_{SUP} + (E_{SUB} + ET)$$

que pode ser reescrita na forma:

$$P = (E_v + ET) + (E_{SUP} + E_{SUB})$$

Os dois primeiros termos da equação, E_v e ET , se referem às águas que se fixam no solo e retornam à atmosfera do mesmo local em que precipitaram. Por este motivo, tal conjunto é denominado Potencial Hidráulico Fixo (PHF); por outro lado, os dois últimos termos são águas que se movimentam ao longo da bacia, na superfície e no subsolo; essas águas podem ser usadas em qualquer ponto da bacia, desde que haja uma estrutura hidráulica para movimentá-las. A esse termo se denomina Potencial Hidráulico Móvel (PHM).

8.3.2 Estimativa dos potenciais hidráulicos para a bacia do rio Jaguaribe

Como representativo dos potenciais hidráulicos do regime do semiárido brasileiro estimar-se-ão os potenciais hidráulicos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, no Estado do Ceará.

O potencial hidráulico (P): Com área da bacia de 72.000 km² e uma precipitação média anual de 700 mm, o volume médio anual precipitado (P) é de:

$$P = 72.000 \times 106 \times 0,70 = 50,4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$$

Assim, a bacia do rio Jaguaribe recebe $50,4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, valor que representa o máximo possível de água que pode ser apropriada pela sociedade para usos diversos.

O potencial hidráulico móvel (PHM): O PHM pode ser estimado pela soma de suas partes: o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo.

Termo E_{sup} (Escoamento superficial)

Selecionaram-se três áreas, nas quais se dispõe de vazões naturais observadas e, a partir delas, se estima o escoamento para toda a bacia. Dispõe-se, também, de dados observados para o Rio Jaguaribe, acima do reservatório Orós, para a bacia do rio Salgado e para a bacia do rio Banabuiú.

Bacia do Jaguaribe, em Orós: os estudos da bacia do Rio Jaguaribe, elaborados pela Hidroservice com base em medições de vazões no período 1922 a 1960, estimaram uma lâmina média anual de 37,4 mm de escoamento superficial. Considerando a grande quantidade de pequenos açudes que já naquela época havia na bacia, a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), estimou a lâmina média anual escoada em 45,0 mm, caso não existissem os pequenos açudes.

Bacia do Salgado, em Icó: com os dados fluviométricos de 1913 - 1963 do Rio Salgado, em Icó, a SUDENE (op.cit.), estimou a lâmina média escoada em 66 mm. Considerando os consumos e as retenções em açudes, o valor para vazões naturais foi estimado em 70 mm ano⁻¹.

Bacia do Banabuiú: a SUDENE (op.cit.) estimou a lâmina escoada em 60 mm, com base nos dados fluviométricos do rio Banabuiú, em Senador Pompeu.

Bacia do Jaguaribe: com base nesses estudos, a SUDENE (op.cit., p. 27) estimou o escoamento médio para a bacia do rio Jaguaribe, em 0,055 m. Desta forma, o volume médio de escoamento superficial na bacia do Jaguaribe é de:

$$E_{\text{sup}} = 72.000 \times 106 \times 0,055 = 3,96 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Termo E_{sub} Escoamento subterrâneo.

A bacia do rio Jaguaribe é muito pobre, em termos de potencial de águas subterrâneas; grande parte de subsolo é cristalino, com alguns poucos sedimentos ao sul (Chapada do Araripe), próximo à embocadura (Chapada do Apodi), algumas áreas aluviais, nas áreas de dunas em Aracati e Fortim e outras pequenas manchas.

O estudo hidrogeológico da SUDENE (op.cit., p. 28), estimou esse termo em cerca 100 milhões de metros cúbicos.

$$E_{\text{sub}} = 100 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Desta forma, o Potencial Hidráulico Móvel (PHM) pode ser estimado pela soma dos escoamentos superficial e subterrâneo:

$$\text{PHM} = E_{\text{sup}} + E_{\text{sub}} = 4,06 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Termo $E_v + ET$

O termo $E_v + ETP$, que representa o Potencial Hidráulico Fixo (PHF), é estimado pela diferença entre o Potencial Hidráulico e o Potencial Hidráulico Móvel:

$$E_v + ETP = P - \text{PHM} = 50,4 - 4,06 = 46,34 \text{ bilhões de metros cúbicos}$$

Em termos percentuais conclui-se que 92% do volume precipitado no vale do Jaguaribe são alocados pela natureza no potencial hidráulico fixo e apenas 8% podem ser utilizados no potencial hidráulico móvel.

Para a região Nordeste o último grande estudo abrangente foi desenvolvido pela SUDENE, na década de 1970; o balanço hídrico regional de longo horizonte apresentou os seguintes resultados (Vieira et al., op.cit. p. 24):

- $1.730 \times 10^9 \text{ m}^3$, correspondentes ao volume precipitado;
- $1.523 \times 10^9 \text{ m}^3$, em termos de evapotranspiração real;
- $149 \times 10^9 \text{ m}^3$ de escoamento superficial;
- $58 \times 10^9 \text{ m}^3$ de escoamento subterrâneo

No Nordeste 88% do volume precipitado se transformam em evapotranspiração, 9% em escoamento superficial e apenas 3% se transformam em escoamento

subterrâneo; esses números significam que 88% são o potencial hidráulico fixo e 12%, o potencial hidráulico móvel.

Estudo semelhante feito para a bacia Parisiense e para a Tunísia, chegou aos seguintes resultados (SUDENE op.cit.):

Região Parisiense – PHM = 25×10^9 (53,3%); PHF = 22×10^9 (46,7%).

Tunísia: PHM = $2,6 \times 10^9$ (8%); PHF = $2,6 \times 10^9$ (8,0%).

Em termos percentuais a Tunísia tem comportamento semelhante ao do Nordeste brasileiro, enquanto na região parisiense há um percentual bem maior de volume escoado.

8.4 O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL HIDRÁULICO

O potencial hidráulico localizado como definido, consiste na parte da precipitação pluvial que fica retida contra a ação da gravidade, nas camadas superficiais do solo, no nível do sistema radicular das culturas, sob a forma de umidade. Este potencial só pode ser utilizado através do processo de sucção das raízes vencendo as forças que mantêm as águas nos vazios do solo.

Analisando a evolução do teor de umidade no solo ao longo de uma estação de chuvas, nota-se que existem períodos em que o mesmo mantém um teor de umidade acima do ponto de murchamento, alternando com períodos em que a umidade fica igual ou abaixo desse teor de umidade. Desta maneira, para gerenciar o potencial hidráulico localizado é importante que se conheçam, no sentido estatístico, datas de início e duração dos períodos úmidos; tal conhecimento proporciona elementos para melhor selecionar culturas e datas de plantio que a eles se adaptem pois, quanto mais eficiente for o gerenciamento, menores serão os efeitos negativos dos períodos deficitários ou secas.

8.4.1 O aproveitamento do potencial do potencial hidráulico móvel

Os rios, segundo seus regimes de escoamento, podem ser classificados em perenes, intermitentes e efêmeros; os perenes são aqueles que apresentam escoamento o ano todo e todos os anos; os intermitentes são os que escoam durante uma parte do ano em que ocorrem as chuvas e os efêmeros são os de pequeno porte, nos quais o escoamento só ocorre logo após um evento de chuvas.

Nos rios perenes as disponibilidades são estudadas a partir do regime de vazões mínimas; estudam-se, nesses rios, sequências de vazões mínimas decendiais, semanais ou de outro número de dias; a demanda nesses rios se estabelece em função desse regime de vazões mínimas; os reservatórios superficiais são introduzidos como forma de elevar essas vazões mínimas.

Nos rios intermitentes em condições naturais, pouca demanda pode ser estabelecida; as águas remanescentes da estação úmida para a estação seca se resumem àquelas armazenadas nos pacotes aluviais; nas regiões com substrato cristalino, onde as disponibilidades hídricas ficam restritas às reservas acumuladas

nos pacotes aluviais, somente a construção de reservatórios superficiais plurianuais permite o atendimento nessas regiões em que a seca passa a ser decorrência de um sobreuso ou mau uso dos açudes ou de sequência de anos secos não previstos quando do estabelecimento das regras de operação dos reservatórios.

Por sua pequena importância, os rios efêmeros não permitem que se estabeleçam, em suas margens, demandas importantes; a ocupação dessas áreas com atividades consumidoras de água só é justificável no sentido econômico, caso haja um potencial que justifique a importação de água de bacias vizinhas; nessas regiões a seca passa a ser uma condição crônica (anual) ou como decorrência de secas na região exportadora de água.

8.4.2 O aproveitamento do potencial do potencial hidráulico fixo

As águas retidas nas camadas superiores dos solos somente podem ser utilizadas nos locais onde ficam retidas. Para o semiárido estima-se que 88% do potencial hidráulico da região se referem ao potencial hidráulico fixo, isto é, só pode ser utilizado no local em que se dá a precipitação; essas águas são aproveitadas com as tradicionais culturas de sequeiro; contudo, as grandes irregularidades intra-aneais e interanuais, fazem com que a eficiência do uso dessas águas seja extremamente baixa; ademais, o uso agrícola desse potencial não tem atratividade econômica.

Em essência, o potencial de águas fixas é utilizado, em sua maior parte, para culturas de subsistência pelos estratos mais pobres da sociedade. É neste uso onde ocorrem as tradicionais secas agrícolas que podem resultar em desastres sociais; caso houvesse condições de se usar esse potencial com produção agrícola rentável, uma grande parte do potencial hidráulico móvel, utilizado com irrigação, poderia ser realocada para outros usos, como abastecimento de centros urbanos e produção industrial.

Não se vislumbra, no atual estágio do conhecimento, uma solução de curto prazo para aumentar significativamente a eficiência desse grande potencial o qual, do ponto de vista científico, é o maior desafio para o aproveitamento das águas precipitadas no semiárido.

8.5 DESAFIOS AO APROVEITAMENTO MÚLTIPLO

O aproveitamento múltiplo das águas deve ser avaliado em duas dimensões: na quantitativa e na qualitativa. Não significa que essas análises sejam estanques e independentes, mesmo porque um dos princípios da gestão de recursos hídricos é a visão conjunta e integrada dos aspectos qualitativos e quantitativos.

Prover água em quantidade suficiente para todos os usos possíveis pela sociedade é um objetivo das políticas de recursos hídricos. Na primeira parte do Século XX foi praticada a construção de grandes, médios e pequenos reservatórios, no sentido de aumentar a oferta de água e, a partir da segunda metade do Século XX, alguns países iniciaram novas práticas de gerenciamento de água com ênfase na demanda e na

preservação dos sistemas hídricos, cuja nova ótica os principais desafios relacionados à quantidade de águas são:

- Alocação das disponibilidades entre usos competitivos;
- Gerenciamento das planícies de inundação;
- Manutenção de uma vazão mínima nos rios;
- Suprimento de água em populações rurais e coleta das águas residuárias
- Sistemas urbanos de água
- Manutenção da qualidade das águas.

8.5.1 Alocação das águas entre usos competitivos

O problema central está em como proceder a alocação de águas entre usos como irrigação, suprimento industrial e municipal, geração de energia elétrica, recreação, navegação e outros usos. Há algumas décadas a alocação das disponibilidades em água era entendida como problema de pesquisa operacional na qual se aplicavam técnicas como programação linear, programação dinâmica ou outros algoritmos de otimização.

Embora ainda haja muitas situações às quais essas técnicas devam ser aplicadas em alocação, o problema é visto, hoje, em sua completude e incorpora a participação dos usuários nas decisões. Técnicas de alocação, como a centralizada no Governo (comando e controle), o mercado de águas e a alocação negociada, são estudadas e debatidas nas sociedades. A alocação negociada já é praticada no estado do Ceará desde meados da década de 1990, pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH).

No Brasil alguns estudos analisam as diferentes técnicas. O grande desafio para pesquisadores e teóricos de gestão das águas é a formulação de modelos de alocação dentro do contexto político, social e econômico brasileiro. A fase do controladorismo burocrático, que ganha corpo no atual momento, tende a dificultar a cooperação entre pesquisadores, associações técnico-científicas e instituições públicas, especialmente as federais.

8.5.2 Gerenciamento da planície de inundação

O cerne dos problemas nas planícies de inundação decorre da ocupação desordenada das margens dos rios e, em casos extremos, do próprio leito do rio. Alguns reservatórios de múltiplos usos executam as funções de regularização de vazões e de proteção contra as cheias. As vazões regularizadas atendem aos objetivos como: irrigação, sistemas urbanos, geração de energia elétrica; esses são usos de conservação nos quais as águas são mantidas no reservatório até o momento em que são utilizadas. A proteção contra as cheias está relacionada diretamente com a proteção das áreas de jusante ou, mais especificamente, com o gerenciamento das planícies de inundação.

O desafio é, neste caso, a divisão do reservatório em duas zonas: de conservação e de proteção contra as cheias (Figura 8.6). Quando o nível das águas estiver na zona

de conservação, se liberam, quando solicitadas, as vazões para atendimento às vazões; na zona de proteção contra as cheias as águas são liberadas o mais rápido possível, desde que não causem grandes cheias a jusante; entretanto, existe um dilema entre a segurança da obra e as cheias a jusante, e este é ainda um grande desafio para a criação de conhecimentos hidrológicos. A grande maioria dos estudos e da prática no Brasil foi desenvolvida pelo setor elétrico; todavia, há muitas diferenças conceituais entre as operações de reservatórios em rios perenes e rios intermitentes, sobretudo nos de acentuada sazonalidade.

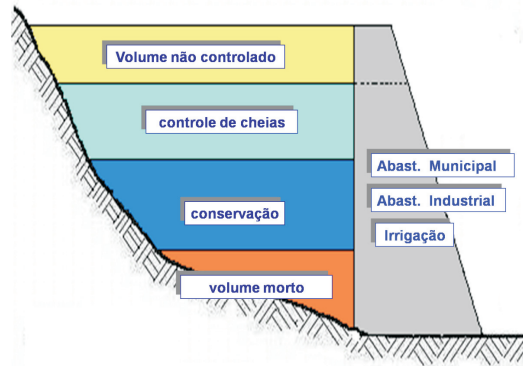


Figura 8.6 Divisão de um reservatório em zonas para múltiplos usos

No Estado de Pernambuco a operação dos reservatórios Tapacurá, Carpina, Goitá e Jucazinho, é um grande desafio para técnicos e para a sociedade local; as grandes cheias de 1985, em Recife, e a prolongada escassez na década de 1990, geram um dilema para a busca de solução de compromisso entre usos conflitantes; no Ceará os reservatórios Castanhão e Banabuiu também necessitam de criação de conhecimentos e modelos matemáticos para o desafio em gestão de usos múltiplos.

Nas decisões de como operar os reservatórios para a proteção contra as cheias, inúmeros são os riscos envolvidos; as decisões são tomadas em ambientes de grandes incertezas e podem ter consequências trágicas, ocasionadas por manobras inapropriadas das comportas, quer seja pelo desconhecimento natural do futuro, quer seja por deficiência técnica do operador. Existe uma questão sistêmica na dimensão política a ser considerada: um bom modelo político remunera bem os técnicos que operam sistemas complexos de alto risco, como é o caso; a mudança política nesse aspecto ainda é um enorme desafio para a operação dos usos múltiplos das águas do semiárido.

8.5.3 Manutenção de uma vazão mínima nos rios

Segundo Benetti et al. (2003), as funções realizadas pela água podem ser divididas em quatro categorias: 1) na manutenção da saúde pública; 2) no desenvolvimento

econômico; 3) na recreação e 4) na preservação do equilíbrio ecológico. Os autores consideram que, para realizar as funções da água, é oportuna a manutenção de uma vazão mínima que dê suporte aos ecossistemas aquáticos; essas vazões mínimas são denominadas vazões remanescentes, vazões residuais, vazões ecológicas e vazões ambientais. Na literatura inglesa e segundo os mesmos autores usa-se, para vazões mínimas, “instream flows minimum requirements”, que pode ser traduzido para “requerimento de vazões mínimas no curso de água.”

É importante observar diferenças nas conotações dos termos residual, remanescente, ambiental e ecológico; os dois primeiros estão relacionados ao “que sobra” e os dois últimos ao “que queremos”. Por sua vez, a definição da língua inglesa está relacionada aos objetivos, os quais podem ser ecológicos ou outros e, portanto, mais abrangente.

Há um aspecto cultural interessante quanto à vazão ecológica para o semiárido; em certo momento da história havia um consenso de técnicos e políticos de que todas as águas dos rios intermitentes do semiárido deveriam ser controladas por reservatórios. Nenhuma gota de água devia escoar para o mar. Vale referenciar o Senador norte-rio-grandense, Francisco de Brito Guerra, ao proclamar que ficaria muito feliz se as águas dos sertões não mais chegassem ao oceano (Guerra, op. cit. p. 120)

Em um ambiente no qual os rios podem permanecer secos por mais de 18 meses em condições naturais, não há sistemas aquáticos a dar suporte; no sistema antropogênico, em consequência das mudanças no regime fluvial decorrentes das ações com construção e operação de reservatórios, os rios deixam de ser intermitentes e passam a perenizados e, no novo ambiente, onde as cidades têm sistema contínuo de fornecimento de água e geram seus efluentes de águas usadas, há de se dispor de vazões para diluição; em outras palavras, há necessidade de se compreender e agir no sentido de definir as vazões mínimas nos leitos dos rios, requeridas para um meio ambiente saudável, isto é, uma questão local e específica para a qual ainda não há consenso.

A construção de um modelo teórico, de consenso, que permita estabelecer bases conceituais para a determinação da vazão mínima a ser liberada pelos rios, é um grande desafio.

8.5.4 Suprimento de água em populações rurais e coleta das águas residuárias

A Declaração do Milênio emanada de uma reunião da Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2000, aceita como premissa que a humanidade já dispõe de conhecimentos e tecnologias para solucionar os graves problemas sociais e ambientais enfrentados principalmente pelos países pobres. Na Declaração foram estabelecidos oito objetivos de desenvolvimento do milênio (ODMs), quais sejam: 1) erradicar a extrema pobreza e a fome; 2) atingir o ensino básico universal; 3) promover a igualdade de gêneros e a autonomia das mulheres; 4) reduzir a mortalidade infantil; 5) melhorar a saúde materna; 6) combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças; 7)

garantir a sustentabilidade ambiental e 8) estabelecer uma parceria mundial para o desenvolvimento; o abastecimento de água de qualidade contribui significativamente em três dos oito ODMs: na erradicação da pobreza e fome, na redução da mortalidade infantil e na sustentabilidade ambiental.

No texto da Lei 11.445/2007, a universalização do saneamento básico é um compromisso de todos, governo e sociedade. No Nordeste, o Estado de Pernambuco inseriu a universalização do saneamento como compromisso político do atual Governo e o Plano de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco contempla muitas ações para atingir este objetivo.

A universalização do saneamento básico para as populações do semiárido é, na verdade, um grande desafio, por vários motivos, como: 1) em consequência da intermitência dos rios; 2) dos custos envolvidos com coleta, tratamento e disposição final das águas usadas, as quais tendem a se acumular em reservatórios usados para abastecimento de centros urbanos; em secas mais intensas esses reservatórios podem passar mais de 18 meses sem renovação de suas águas e as consequências, em termos de qualidade e de saúde pública, podem ser desastrosas; daí, o grande desafio conseguir recursos financeiros para um sistema bem projetado e operado que não ponha em risco a saúde pública.

8.5.5 Sistemas urbanos de água

O desafio ao atendimento às necessidades em água dos grandes centros urbanos, está na garantia hídrica. Cidades situadas próximas aos grandes rios perenes não têm maiores problemas, em termos de quantidade de água; todavia, algumas cidades com populações acima de 10.000 habitantes têm como fonte de água reservatórios de médio porte, que não conseguem alta garantia.

Não é raro se encontrar no Nordeste, na mídia, que cidades médias são abastecidas por carros-pipa; cidades pequenas, que têm pequenos reservatórios como fontes de água, dependem, quase todos os anos, de carros-pipa.

Para as grandes cidades o abastecimento de água é feito com garantia para a atual demanda; apesar disto, o desenvolvimento da região Nordeste depende do suprimento de água com boa garantia; então, qual seria a melhor estratégia para uma região de regime hidrológico altamente variável? Campos (2006) relata o exemplo de San Diego, na Califórnia, que pode ser seguido futuramente no Nordeste; na década de 1990 a região passou por um período de seis anos de seca; as reservas locais se exauriram e a cidade passou a conviver com 95% de águas de outras bacias; foi construída, então, uma usina de dessalinização de águas do mar para suprir o déficit; com as águas de março, as reservas locais foram recompostas e a usina foi paralisaada devido aos altos custos operacionais.

A sequência natural de prover água em quantidade pode ser inferida do exemplo; primeiramente, usam-se as reservas locais com a construção e operação de reservatórios; em seguida, se importam águas de outras bacias hidrográficas; nas grandes crises onde as reservas locais falham e a importação é insuficiente, são

consumidas as águas dessalinizadas de custos elevados; em uma etapa mais no futuro, pode-se chegar ao usos contínuos de águas dessalinizadas; no Nordeste, as águas dessalinizadas ainda estão a um custo fora do alcance da economia local; as águas do São Francisco podem realizar as funções realizadas pelo rio Colorado, no Oeste americano; entretanto, deve ser feito com base em estudos e projetos bem elaborados e debatidos com a sociedade.

8.5.6 Manutenção da qualidade das águas

Segundo Grigg (1996), um sistema de gerenciamento de qualidade de águas inclui o controle das águas para consumo humano, das águas dos rios, das águas subterrâneas, dos efluentes de indústrias e, ainda, o controle das fontes de poluição difusa. Várias tarefas são relevantes para a construção de um sistema de qualidade de águas, como: o estabelecimento de critérios e padrões, o monitoramento da qualidade das águas, a implantação de estações de tratamento de efluentes, a criação de bases de dados de qualidade de águas e a modelagem matemática de processos qualitativos (Campos & Sousa Filho, 2006); o desenvolvimento do sistema se dá em cinco dimensões: 1) no sistema normativo; 2) nos sistemas de planejamento; 3) no licenciamento; 4) no monitoramento e controle e 5) no sistema de financiamento.

A situação em que se dá a retirada da água do manancial após algum tipo de tratamento, requer que a análise se estenda à dimensão econômica; nessas regiões, quando da ocorrência de sequência de anos secos as águas dos reservatórios passam por um período, tempo este em que a qualidade das águas é sempre declinante, visto não haver renovação e rios secos, e a evaporação não retira poluentes; assim, ao final de um período seco o nível de concentração dos poluentes fica em um patamar bastante superior ao que se encontrava no início do período. Por exemplo, Franco (2000), estudou variabilidade da concentração de cloretos no açude Pentecostes e mostrou que, mesmo que o reservatório não receba efluentes com sais, a concentração de cloretos em determinados períodos ultrapassa os limites estabelecidos pelo CONAMA, para a classe especial; sem dúvida, a situação é bem pior no caso real, quando os corpos de água recebem efluentes com cargas poluidoras.

Como proceder, então, nesses casos? Em situações de grande variabilidade dos padrões de qualidade em decorrência de secas prolongadas, a inserção em padrões rígidos de enquadramento se torna complicada; o enquadramento em uma classe inferior, determinada pelas condições críticas, poderia levar a um relaxamento nos períodos normais e a um agravamento da situação nas épocas críticas. Por outro lado, o enquadramento no padrão desejado de qualidade seria feito sabendo-se, de antemão, que mesmo em condições ideais haveria épocas em que o mesmo não seria atendido.

A solução poderia estar no estabelecimento de um enquadramento condicional. Em épocas normais, o enquadramento seria feito como desejado e, em épocas de crise, seriam feitos planos operacionais específicos para a situação e o nível de tratamento poderia ser aumentado; os usos no corpo de água, se houvessem, seriam

proibidos, etc., situação em que um monitoramento criterioso da qualidade das águas é fundamental; o uso de modelos matemáticos procurando antever a evolução dos padrões de qualidade, também é indispensável.

8.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desafios ao atendimento dos múltiplos usos no semiárido brasileiro têm sido enfrentados pela sociedade brasileira, desde os tempos do Império; o problema decorre do regime climático irregular e com balanço hídrico negativo (precipitação 0- evaporação) durante a maior parte dos meses; do volume médio precipitado na região (1730 bilhões de metros cúbicos), 88% ficam retidos nas camadas superficiais e somente podem ser utilizados na agricultura de sequeiro ou em complemento à agricultura irrigada; apenas 12% são transformados em águas móveis, que são efetivamente gerenciados pela sociedade, de maneira mais eficiente.

O atendimento aos múltiplos usos tem sido suprido com alguma eficiência, graças à grande rede de reservatórios construída ao longo do Século XX; na fase atual, a sociedade tem trabalhado e pesquisado o gerenciamento das águas estocadas nos açudes, no contexto de uma política participativa e com preservação ambiental; enfim, em uma gestão equilibrada nos aspectos sociais e ambientais.

Em termos de oferta há, ainda, algumas possibilidades de novos reservatórios e de movimentação espacial das águas, ao longo do território; o Projeto São Francisco para o Nordeste Setentrional, é a principal obra no sentido de prover maior segurança hídrica para a região dos rios intermitentes.

Os desafios futuros são a busca de novas fontes de água e o manejo ambiental dos efluentes; a utilização da dessalinização das águas do mar pode ser uma alternativa em um futuro de médio e longo prazos; os empecilhos ainda são os custos envolvidos com o processo e o manejo dos resíduos. Há, também, para cidades não litorâneas, custos com transporte das águas dessalinizadas.

A experiência mundial mostra que a sequência natural para o fornecimento de água do mar, na atual tecnologia, é: 1) águas locais; 2) águas de transposição de bacias e 3) dessalinização das águas; no Nordeste Setentrional os usos de águas locais estão bem avançados e se inicia o processo transposições. Estudos e práticas na gestão da demanda estão sendo realizados por universidades, centros de pesquisa, instituições públicas e privadas e pela sociedade. No avanço equilibrado dessas várias dimensões, reside a síntese dos desafios ao suprimento das múltiplas demandas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas Nordeste – Abastecimento urbano de água. Brasília, DF. 2006. 96p.
- Benetti, A.D., Lanna, A.E., Cobalchini, M.S., Metodologia para vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.2, p.149-160, 2003.

- Cadier, E. Hidrologia de pequenas bacias do nordeste brasileiro semi-árido. Recife: SUDENE 1994, 448p.
- Campos, J. N. B. A água e a vida: Textos e contextos. Fortaleza: ABC Fortaleza, 1996. 142p.
- Campos, J. N. B. O admirável mundo neo: Crônica e críticas. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda. 2006. 190p.
- Campos, J. N. B.; Sousa Filho, F. A. Water quality management in Ceará, Brazil. In: Biswas, A. K.; Tortajada, C.; Braga, B.; Rodriguez, D. J. Water quality management in the Americas. New York: Springer, 2006, p.107-117.
- Campos, J. N. B. Lições em modelos e simulação hidrológica. Fortaleza: ASTEF/ Expressão Gráfica Editora. 2009, 166p.
- Cirilo, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. Estudos avançados. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, v. 22, n.63. 2008
- Franco, S. R. Estudos probabilísticos de concentração de cloretos no açude Caxitoré usando o método de Monte Carlo. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2000. 65p. Dissertação Mestrado
- Guerra P.; Guerra, T. Secas contra as secas. Mossoró: Fundação Guimarães Duque/ ESAM. 3 ed. sd. 313p. Coleção Mossoroense
- Grigg, N. Water resources management, principles, regulations and cases. New York: McGraw Hills Company. 1996. 540p.
- Gutierrez, R. Between knowledge and politics: State water management reform in Brazil. Baltimore: John Hopkins University, 2006.368p. PhD Thesis
- Sousa, J. G. O nordeste brasileiro: Uma experiência de desenvolvimento regional. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. 1979. 410p.
- Vieira, V. P. P. B.; Mota, F. S. B.; Gondim Filho, J. G. C. G.; Campos, J. N. B.; Campelo Netto, M. S. C.; Pereira, P. J. P. S.; Souza, R. O.; Costa, W. D.; Ferreira Filho, W. A. A água e o desenvolvimento sustentável do Nordeste. Brasília: Instituto de Pesquisas econômicas Aplicadas. 2000, 264p.

Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil

Fernando A. C. Feitosa¹ & Edilton C. Feitosa²

¹ Serviço Geológico do Brasil

² Universidade Federal de Pernambuco

- 9.1 Introdução
 - 9.2 Aspectos básicos da hidrogeologia
 - 9.2.1 Ocorrência da água subterrânea
 - 9.2.2 Fluxo da água subterrânea
 - 9.3 Água subterrânea na região semiárida brasileira
 - 9.3.1 Terrenos cristalinos versus bacias sedimentares no semiárido brasileiro
 - 9.3.2 Terrenos cristalinos
 - 9.3.3 Bacias sedimentares
 - 9.3.4 Bacias interiores
 - 9.3.5 Bacia do Urucuia
 - 9.3.6 Bacia do Recôncavo/Tucano
 - 9.3.7 Bacia de Jatobá
 - 9.3.8 Bacia Potiguar
 - 9.3.9 Bacia do Parnaíba
 - 9.4 Considerações sobre o uso racional de água subterrânea
 - 9.4.1 Reservas versus recursos de água subterrânea
 - 9.4.2 Reservas de água subterrânea
 - 9.4.3 Recursos de água subterrânea
 - 9.4.4 Recursos mobilizáveis ou potencialidade
 - 9.4.5 Recursos disponíveis ou disponibilidade
 - 9.4.6 Recursos exploráveis
 - 9.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil

9.1 INTRODUÇÃO

Praticamente, todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades, seja no atendimento total ou suplementar do abastecimento público, seja em outras atividades como irrigação, produção de energia, indústria etc. O início dessa utilização se perde no tempo e seu crescimento tem acompanhado o desenvolvimento do homem na Terra. Consistia, inicialmente, no aproveitamento da água em nascentes e em lençóis freáticos rasos captados através de escavações rudimentares que, com o tempo, evoluíram para cacimbas revestidas de pedra e, posteriormente, de tijolo. Com o advento da Era Industrial, tornou-se possível a construção de poços de melhor qualidade técnica em tempo cada vez menor e com profundidades cada vez maiores.

A UNESCO tem registrado um crescimento acelerado na utilização das águas subterrâneas e, conseqüentemente, problemas decorrentes da má utilização dos aquíferos em várias partes do planeta. Estima-se em mais de 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas últimas três décadas. A relação em termos de demanda quanto ao uso, varia entre os países e nesses constituindo, de região para região, o abastecimento público de modo geral, a maior demanda individual. A partir da década de 50 tem-se atribuído, aos reservatórios hídricos subterrâneos, em todo o mundo, papel de destaque no equacionamento do problema de água em regiões áridas e semiáridas, como o Nordeste do Brasil e a Austrália, e mesmo desérticas, como a Líbia.

No Nordeste brasileiro, embora se perfurem poços desde o século passado, é notório que só a partir da década de 60, com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), a água subterrânea começou a ser tratada como ciência. A SUDENE promoveu o reconhecimento hidrogeológico pioneiro, materializado pelo Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, cujas informações são referências até hoje. Esses estudos, que abriram as portas para a visualização do potencial hidrogeológico da região, foram paralisados no início da década de 70 em função da desmobilização da SUDENE, como órgão executor.

A utilização da água subterrânea, por sua vez, cresceu vertiginosamente e de forma descontrolada, em função das demandas e das necessidades de aumento da oferta. O reflexo disto, hoje, se por um lado é a contribuição da água subterrânea em parcelas significativas tanto para o abastecimento público como para usos diversos, por outro lado é o desconhecimento das condições hidrogeológicas dos sistemas aquíferos explorados e problemas relacionados à sobre-exploração e poluição/contaminação em algumas regiões (Picos, Mossoró, Natal, Recife, Maceió etc.).

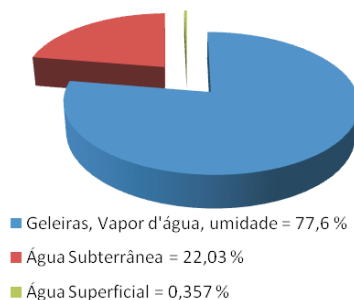
O uso racional ou, em outras palavras, a gestão das águas subterrâneas, é uma questão complexa e envolve variáveis técnicas, econômicas, sociais e políticas. De modo geral, a gestão se apóia num tripé indissociável para que possa funcionar adequadamente: base legal, estrutura institucional e conhecimento técnico-científico. O tema em questão é, portanto, muito amplo e multidisciplinar.

Considerando que o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos é uma condição básica e imprescindível à sua gestão, o capítulo aqui apresentado terá um enfoque prioritariamente técnico e será iniciado com uma síntese dos aspectos básicos da hidrogeologia, fundamentais ao entendimento das questões que serão apresentadas e discutidas.

9.2 ASPECTOS BÁSICOS DA HIDROGEOLOGIA

Embora os mananciais hídricos subterrâneos sejam frequentemente omitidos nos planos de gerenciamento de recursos hídricos, constituem o maior volume de água doce líquida que ocorre na Terra (Figura 9.1).

Numa analogia simplista e caso se considere o total de água do planeta expresso por 1 L (1.000 mL), a água doce existente seria algo em torno de 28 mL, o que seria muito pouco, embora seja um volume que ultrapassa os $38 \times 10^6 \text{ km}^3$; indo um pouco mais além, verifica-se que, desses 28 mL, cerca de 21,73 mL (quase $30 \times 10^6 \text{ km}^3$) estão indisponíveis ao homem, retidos nas geleiras, atmosfera e na forma de umidade do solo (Figura 9.1). Assim, utilizando a analogia proposta de 1.000 mL de água existente



Fonte: Peixinho & Feitosa (2008)

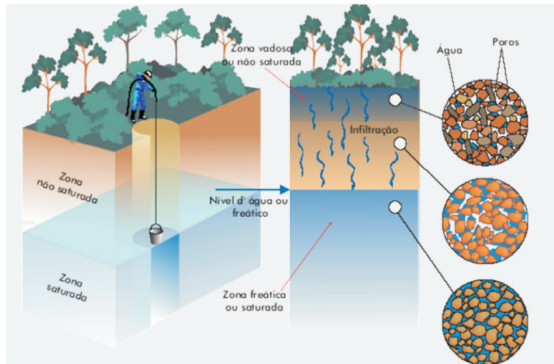
Figura 9.1 Total de água doce no planeta Terra

no planeta, a humanidade dispõe apenas de 6,27 mL de água doce em fase líquida para sua sobrevivência. Ressalta-se, ainda, que desses 6,27 mL, a água visível ao homem, representada pelos rios, lagos, lagoas, açudes etc., não passa de 0,1 mL (algo em torno de 120.000 km³), volume que poderia ser materializado na analogia utilizada, por apenas duas gotas. O restante, 6,17 mL (cerca de 8,4 x 10⁶ km³), está invisível aos olhos, escondida em subsuperfície e constitui a água subterrânea.

É claro, entretanto, que este volume imenso de água não está todo disponível para uso; logo, existe a difícil tarefa da definição da quantidade e do ritmo de exploração dessa água em cada aquífero, ação que oferece os subsídios necessários para garantir o uso racional.

9.2.1 Ocorrência da água subterrânea

A distribuição da água em subsuperfície ocorre como ilustrado na Figura 9.2; existem duas zonas distintas: a zona não saturada e a zona saturada.



Fonte: Teixeira et al. (V2000)

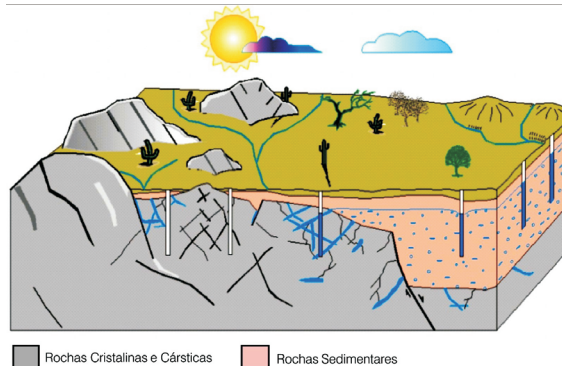
Figura 9.2 Distribuição vertical da água em subsuperfície

Na zona não saturada os poros estão preenchidos com água e com ar, constituindo duas faixas distintas: a faixa de água do solo, que vai até a profundidade onde as raízes das plantas conseguem captar água, e a faixa intermediária, indo desde o limite inferior da faixa de água do solo até o topo da zona saturada.

É considerada água subterrânea apenas aquela que ocorre abaixo da superfície, na zona de saturação, onde todos os poros estão preenchidos por água. A formação geológica que tem capacidade de armazenar e transmitir água, é denominada aquífero. Em relação à geologia, podem ser considerados dois grandes domínios principais de ocorrência das águas subterâneas: as rochas cristalinas e cársticas (condições anisotrópicas) e as rochas sedimentares intergranulares (condições “isotrópicas” - as aspas indicam que essas condições isotrópicas são consideradas em comparação com a alta anisotropia das rochas cristalinas e cársticas mas que, na verdade, existem aquíferos sedimentares, estratificados e interdigitados, anisotrópicos).

Nas rochas cristalinas e cársticas onde praticamente não existe porosidade primária, a água se acumula nos espaços vazios gerados por quebramentos, descontinuidades, alterações e dissoluções, formando reservatórios subterrâneos descontínuos e irregulares, que podem apresentar de baixo a alto potencial, em função de suas dimensões. Neste domínio, a qualidade da água subterrânea está intimamente associada ao clima apresentando, em geral, água com salinidade elevada nas regiões semiáridas, com excesso de cloretos no cristalino e de bicarbonatos/carbonatos nos cársticos (águas duras). No domínio das rochas sedimentares, onde as formações geológicas apresentam porosidade primária intergranular, a água preenche os poros em toda a extensão de ocorrência da rocha, formando grandes aquíferos regionais.

A Figura 9.3 ilustra, de forma clara e esquemática, a diferença entre a ocorrência da água nos domínios das rochas cristalinas, mostrando a descontinuidade e a heterogeneidade dos reservatórios com a existência de poços secos, e das rochas sedimentares, mostrando, ao contrário, continuidade e homogeneidade.



Fonte: Ribeiro & Feitosa (2000)

Figura 9.3 Ocorrência da água subterrânea em rochas cristalinas e sedimentares

Nas rochas cársticas a ocorrência da água subterrânea é similar à das rochas cristalinas; entretanto, em função dos processos de carstificação, que podem ser bastante acentuados em determinadas regiões (formação de cavernas), os reservatórios subterrâneos são, em geral, de maior porte e permitem a extração de vazões mais elevadas. Um exemplo no Nordeste é a intensa exploração do calcário Jandaíra, na bacia sedimentar Potiguar, entre Mossoró, RN, e Quixerê, CE, utilizada para irrigação.

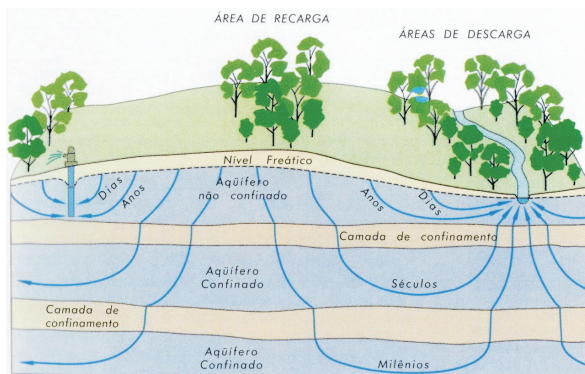
No domínio das rochas sedimentares é que está armazenada a quase totalidade dos cerca de 10 milhões de km³ de água subterrânea existentes no planeta. Neste domínio, os aquíferos são classificados em dois tipos: confinados e livres.

Os aquíferos confinados são aqueles onde, em qualquer ponto, a água está submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica, em função de que, ao se

perfurar poços, se observa uma ascensão rápida da água até sua estabilização em determinada posição, fenômeno conhecido como artesianismo. Assim, de acordo com a posição topográfica da boca do poço, consideram-se poços artesianos surgentes ou jorrantes aqueles em que a água ascende até uma posição superior à superfície do terreno e, simplesmente, poços artesianos, são aqueles cujo nível da água não ultrapassa esta superfície. A posição de estabilização da água nos poços materializa uma superfície virtual que representa o nível da pressão hidrostática do aquífero, conhecida como superfície potenciométrica. O confinamento de um aquífero é feito através de limites geológicos bem definidos, representados, geralmente, por camadas pelíticas no topo e na base. O aquífero é dito não drenante quando essas camadas são impermeáveis ($K = 0$). Quando elas são semipermeáveis ($K > 0$), o aquífero é dito drenante ou semiconfinado, como se lê mais frequentemente na literatura. Como exemplos, é possível citar, dentre outros, os aquíferos Cabeças e Serra Grande, na Bacia Sedimentar do Parnaíba; Beberibe, na Bacia Costeira PE/PB/RN; Botucatu (atualmente conhecido como Guarani), na Bacia do Paraná, e Açu, na Bacia Potiguar. Salienta-se a importância desse tipo de aquífero já que, entre os mananciais subterrâneos, se destacam como grandes produtores de água, responsáveis por uma parcela significativa do abastecimento público de grandes cidades.

Os aquíferos livres, freáticos ou não confinados são aqueles em que o limite superior de saturação está submetido à pressão atmosférica; nesse tipo de aquífero o nível da água em cada poço representa uma superfície real coincidente com o limite superior de saturação, denominada superfície freática; pode-se citar, como exemplo desse tipo de aquífero, os depósitos arenosos mais recentes, representados pelas dunas costeiras e aluviões, o sistema Poti-Piauí, na Bacia do Parnaíba; o aquífero Urucuia, na província do São Francisco; as áreas de recarga dos grandes aquíferos confinados etc.

Na Figura 9.4 se visualizam, esquematicamente, a forma de ocorrência desses dois tipos de aquífero e as condições de fluxo da água subterrânea.



Fonte: MMA (2001)

Figura 9.4 Condições de fluxo da água subterrânea

9.2.2 Fluxo da água subterrânea

As condições de fluxo da água subterrânea são controladas por condicionantes geológicos e hidráulicos dos aquíferos. Em condições normais, a água penetra nos aquíferos por infiltração, nas zonas de recarga, e flui em função dos gradientes hidráulicos existentes, na direção dos exutórios, de onde retorna à superfície em nascentes, rios, lagos, oceano, etc.

O fluxo da água subterrânea é muito lento, da ordem de cm dia^{-1} , e o tempo de residência da água nos aquíferos muito variável, podendo ser dias, meses, anos, séculos e até milênios, conforme ilustrado na Figura 9.4. O tempo de residência aumenta com a profundidade; portanto, nos aquíferos confinados as águas são bem mais antigas.

Em qualquer dimensionamento para extração de água subterrânea um dos principais aspectos abordados é a definição de volumes de recarga. Em geral, esses volumes embasam avaliações de vazões explotáveis, consideradas sustentáveis mas é necessário se estar atento para a variável tempo, envolvida no problema.

No caso de aquíferos livres, rasos, em franca comunicação com a superfície, cujos fluxos são locais e relativamente rápidos, observam-se os reflexos das recargas e descargas dentro de determinado período hidrológico, casos em que a água subterrânea está integrada ao ciclo hidrológico dentro de uma escala de tempo passível de observação e as quantificações relativas a descargas de exploração são mais consistentes. No caso de aquíferos confinados, profundos, ao contrário, os fluxos são regionais podendo durar décadas, séculos e até milênios e a água subterrânea, nesses casos, está desconectada dos períodos hidrológicos atuais; nesses casos, a quantificação de vazões de exploração é uma tarefa bem mais complexa.

Fica claro, portanto, com base no exposto acima, que a definição da exploração racional de água subterrânea deve ser abordada de forma diferenciada, considerando-se as condições hidrogeológicas de cada tipo de aquífero, como será discutido adiante.

9.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

O conhecimento científico hidrogeológico, alicerce fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, tem por base várias ciências das quais se destacam a Geologia e a Hidrologia. Enquanto a Geologia determina a ocorrência da água subterrânea, definindo limites e a compartimentação tridimensional das unidades aquíferas, a Hidrologia estuda o movimento da água dentro dos aquíferos, recargas, descargas, variações de nível, etc.

Na Geologia, quando já determinados o arcabouço estrutural e os limites de um reservatório, esta condição não vai variar no tempo (considerando-se a escala de tempo da vida humana). Serão feitos apenas ajustes ao modelo inicial, à medida em que aumente o conhecimento geológico do local; ao contrário, as condições hidrológicas são dinâmicas, ou seja, o tempo é uma variável do problema. Portanto,

da mesma forma que na Hidrologia de Superfície, na Hidrologia Subterrânea (ou Hidrogeologia) o comportamento hidráulico dos aquíferos só pode ser entendido corretamente mediante a análise de séries históricas; em outras palavras, o controle da exploração da água subterrânea e o monitoramento da repercussão desta exploração nos aquíferos, são ferramentas essenciais para o gerenciamento desses recursos.

Pode-se considerar que, atualmente, existe um bom conhecimento geológico de superfície na escala 1:250.000 na região Nordeste, sendo possível individualizar a área de ocorrência de praticamente todos os aquíferos existentes; entretanto, o conhecimento de subsuperfície desses reservatórios, baseado em prospecção direta (poços estratigráficos) e indireta (geofísica) ainda é pequeno na maioria dos casos e praticamente inexistente em alguns. Nas bacias sedimentares maiores (Parnaíba, Potiguar, Araripe, Tucano-Recôncavo-Jatobá), a Petrobras detém excelente conhecimento mas os dados não são disponibilizados para a sociedade nem para instituições; nos últimos anos, alguns trabalhos científicos publicados em revistas e anais de congressos por técnicos da própria Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS), estão trazendo informações novas e enriquecendo o conhecimento de algumas bacias. Em parceria com Universidades Federais da região e com a iniciativa de algumas Secretarias de Recursos Hídricos Estaduais, a atuação do Serviço Geológico do Brasil vem dando frutos bastante positivos e passos decisivos para o aumento do conhecimento de aquíferos importantes nas bacias do Rio do Peixe, Potiguar, Araripe, Jatobá e Urucuia.

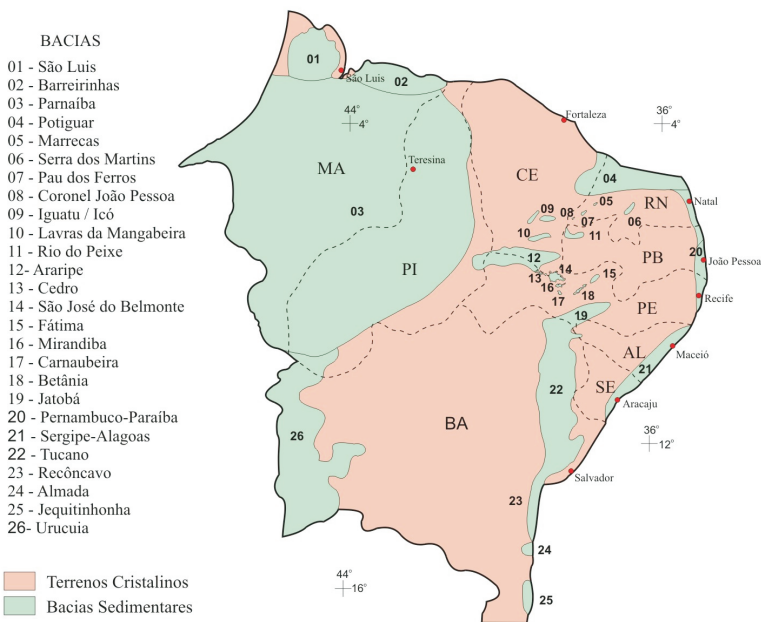
Ao contrário, pode-se considerar o conhecimento da hidrologia subterrânea no Nordeste e até mesmo no Brasil, próximo da estaca zero. Não há dados significativos de monitoramento de água subterrânea; os dados existentes são poucos e restritos a projetos de pesquisa desenvolvidos por Universidades e outras instituições federais, dentre as quais se destaca o Serviço Geológico do Brasil. Referidos dados são pontuais e de curta duração e, regra geral, focados nos objetivos das pesquisas realizadas não constituindo, porém, séries históricas confiáveis. Comumente, as companhias de saneamento realizam só o monitoramento de seus poços de bombeamento visando apenas ao controle operacional. Há, também, algumas poucas informações confiáveis sobre parâmetros hidráulicos (transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica) dos principais aquíferos, obtidas em testes de aquíferos corretamente aplicados no âmbito dos projetos e estudos realizados na região. Portanto, a abordagem sobre a água subterrânea na região Nordeste brasileira, aqui apresentada, será mais rica e mais consistente em seu aspecto geológico.

9.3.1 Terrenos cristalinos versus bacias sedimentares no semiárido brasileiro

Na região Nordeste do Brasil, em função de suas características geológicas, cronológicas e similaridades na ocorrência de água subterrânea, na região podem ser individualizados quatro grupos de rochas que constituem províncias hidrogeológicas denominadas, na literatura: Escudo Oriental Nordeste, São Francisco, Parnaíba e Costeira. Ressalve-se que esta classificação foi adotada quando da elaboração do Mapa Hidrogeológico do Brasil, na escala 1:5.000.000 (BRASIL.DNPM/CPRM, 1981)

e espelha as províncias estruturais brasileiras. Hoje, em função do avanço do conhecimento geológico, esta divisão tende a sofrer alterações. O Serviço Geológico do Brasil apresentou, em 2007, o mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), que adotou uma abordagem diferente para agrupar formações geológicas com similaridade na ocorrência de água subterrânea, baseada no conceito clássico de litopermeabilidade utilizado mundialmente.

Aqui será considerada, de forma simplista, a ocorrência da água subterrânea dividida em dois grandes domínios: rochas cristalinas e rochas sedimentares. Na Figura 9.5 é apresentado, para efeito de ilustração, um mapa esquemático simplificado mostrando a área de ocorrência dos terrenos cristalinos e a localização das ocorrências sedimentares existentes no Nordeste.



Fonte: Feitosa et al. (2004)

Figura 9.5 Terrenos cristalinos e bacias sedimentares do nordeste brasileiro

9.3.2 Terrenos cristalinos

A região Nordeste tem seu subsolo constituído, em torno de 50%, de rochas ígneas e metamórficas, precambrianas, genericamente chamadas cristalinas. Nesta região a pouca cobertura vegetal e a pequena espessura do solo resultam num ecossistema frágil cujas características físicoambientais reduzem substancialmente seu potencial produtivo. A pequena disponibilidade de água superficial aliada à baixa e irregular pluviosidade, explica a grande dependência dos habitantes e dos rebanhos

da região em relação à água subterrânea, mesmo sendo esta, na maior parte, uma alternativa ténue pela sua reduzida disponibilidade. No cristalino, a água subterrânea ocorre em sistemas interconectados de fendas, fraturas e descontinuidades da rocha, formando reservatórios descontínuos e com extensão limitada (Figura 9.3). Na verdade, considerando-se um volume de rocha representativo das características do cristalino, existem n sistemas de descontinuidades, independentes entre si, com capacidade de acumular e transmitir água. Manoel Filho (1996) introduziu o termo Condutor Hidráulico (CH), para definir o conjunto de fendas e fraturas interconectadas entre si e associadas a determinado poço, que representa mais realisticamente as condições de armazenamento e produção nas rochas cristalinas; assim, o “aquífero fissural” seria o somatório de todos os condutores hidráulicos existentes numa área, representado como:

$$\sum_{i=1}^n CH_i(X, Y, Z)$$

para cada área de estudo considerada, X e Y são as coordenadas do ponto e Z , a profundidade do poço.

Nas rochas cristalinas as abordagens usualmente utilizadas para prospecção de água subterrânea ainda carecem de fundamentação técnico-científica tendo, como reflexo, uma grande quantidade de poços improdutivos e/ou salinizados. Ainda não são conhecidos modelos totalmente eficientes para subsidiar a locação e a exploração de poços e, muito menos, os condicionantes que controlam a qualidade e o fluxo da água.

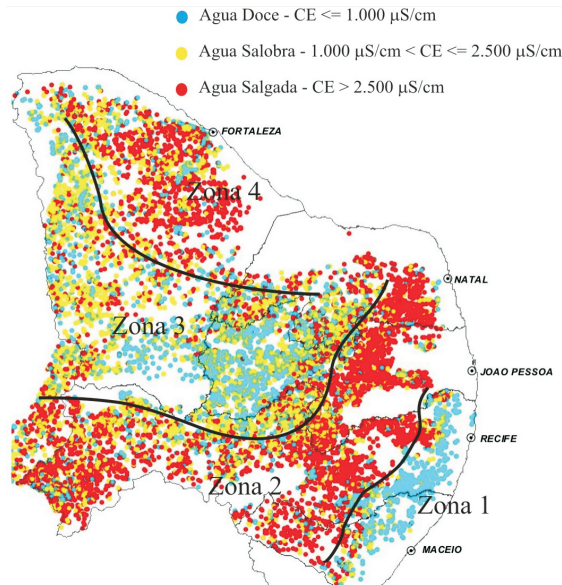
A utilização desses mananciais está sempre associada a um fator de risco, na medida em que não se pode determinar com segurança uma vazão de exploração sustentável e muito menos reservas. Entretanto, este recurso é utilizado no Nordeste desde o início do século XX e existem poços que produzem ininterruptamente, desde a perfuração; nesses casos, as características de aquíferos livres (em geral) e as altas condutividades hidráulicas associadas às descontinuidades (fraturas, fendas, etc.) permitem uma recarga direta e rápida, proporcionando condições permanentes de exploração, que só são alteradas em períodos muito longos de estiagem.

O maior fator restritivo, portanto, ao uso desses recursos, é a qualidade da água; em geral, as águas são cloretadas sódicas e apresentam, em grande parte, sólidos totais dissolvidos acima do limite de potabilidade.

A questão do comportamento heterogêneo e anisotrópico na hidrogeologia dos meios fissurados, está ligada diretamente à escala de observação. Na escala pontual, praticamente cada poço representa um “aquífero” diferente, com características próprias. As diferenças de produtividade e qualidade de água de poços muito próximos entre si, porém captando condutores hidráulicos diferentes são, muitas vezes, surpreendentes; sendo assim, não é consistente fazer regionalizações utilizando-se dados de poços em rochas cristalinas; entretanto, para escalas pequenas ($\geq 1:000.000$)

talvez seja possível definir grandes áreas ou zonas que apresentem tendência em relação a determinado parâmetro analisado.

Na Figura 9.6 estão representados 18.600 valores de condutividade elétrica de águas de poços localizados no cristalino dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Os pontos estão distribuídos em três classes de valores de condutividade, escolhidos para expressar a qualidade, em termos de água doce ($CE \leq 500 \mu\text{S cm}^{-1}$), salobra ($1.000 \mu\text{S cm}^{-1} < CE \leq 2.500 \mu\text{S cm}^{-1}$) e salgada ($CE > 2.500 \mu\text{S cm}^{-1}$).



Fonte: Feitosa (2008)

Figura 9.6 Qualidade da água subterrânea no domínio das rochas cristalinas nos Estados do CE, RN, PB e PE

A observação desta figura permite verificar, com bastante nitidez, a existência de zonas com predominância de água salgada e zonas com predominância de água doce. É possível notar também que, aparentemente, a água classificada salobra forma faixas de transição entre a água doce e a água salgada. Uma simples análise visual sugere a inferência de quatro grandes zonas, conforme discriminado abaixo:

- Zona 1 – Predominância de Água Doce (Litoral Sudeste)
- Zona 2 – Predominância de Água Salgada (Faixa Nordeste-Sudoeste)
- Zona 3 – Predominância de Água Doce (Centro-Oeste)
- Zona 4 – Predominância de Água Salgada (Norte-Noroeste)

Os condicionantes desta provável compartimentação ainda não são conhecidos e estão sendo estudados no âmbito de uma tese de doutorado, em desenvolvimento

pelo primeiro autor deste capítulo, na Universidade Federal de Pernambuco. Espera-se que os resultados possam apresentar subsídios para orientação e planejamento de futuros programas de aproveitamento desses recursos, visando ao atendimento da população difusa e rebanhos que ocupam esta imensa região.

No aspecto quantitativo qualquer tentativa de avaliação de reservas passaria muito perto da especulação mas se acredita que a quantidade de água que se pode extrair dessas rochas, seja suficiente para atender pelo menos, parte da população difusa do semiárido.

A área de ocorrência das rochas cristalinas no Nordeste se situa próximo a 750.000 km². Se se considerar apenas o Polígono das Secas, esta área seria de aproximadamente 600.000 km². Considerando a hipótese da existência de um poço em funcionamento a cada 5 km², ter-se-ia o total de 120.000 poços captando o cristalino do Polígono das Secas. Em termos estatísticos, a distribuição de vazão de exploração dos poços no cristalino é log-normal, com a mediana oscilando entre 1 e 2 m³ h⁻¹. Möbus et al. (1998) avaliaram, em 1,7 m³ h⁻¹, a mediana da vazão dos poços do cristalino cearense. Adotando-se o limite inferior da mediana, 1 m³ h⁻¹, e um regime de bombeamento de 6/24 horas (considerado baixo), a quantidade de água diária produzida seria de 720 milhões de L dia⁻¹, o que daria para atender a 3,6 milhões de pessoas a uma taxa de 200 L habitante⁻¹ dia⁻¹; a questão é que, segundo estatística obtida no Programa de Cadastramento de Poços do Serviço Geológico do Brasil, materializada na Figura 9.7, o percentual de água doce nesta região seria de apenas 20 a 30%, o que reduziria significativamente a produção de água que poderia ser utilizada sem processos de dessalinização. Portanto, o grande fator limitador para utilização da água subterrânea das rochas cristalinas é a qualidade e esta é condicionada pelas condições climáticas regionais.

A locação de poços orientada para áreas com tendência de água de melhor qualidade pode até vir a diminuir os índices de salinização, mas é notório que a utilização racional desses recursos está associada a programas eficientes de dessalinização.

Destaque-se, no âmbito dos terrenos cristalinos, a existência, no centro-oeste do estado da Bahia, do sistema aquífero Salitre-Jacaré. Trata-se de um aquífero cárstico-fissural composto de rochas carbonáticas associadas ao Grupo Bambuí, que apresenta um potencial alto a médio, chegando a produzir, excepcionalmente, vazões muito elevadas (200 m³ h⁻¹) em zonas com acentuado grau de carstificação; entretanto, as vazões mais frequentes são inferiores a 10 m³ h⁻¹. Na região de Irecê, BA, em função das condições favoráveis de carstificação dos calcários, a exploração é muito intensa, existindo hoje mais de 6.000 poços ativos. Sendo um aquífero com características anisotrópicas, tornam-se inconsistentes valores de parâmetros hidráulicos obtidos pontualmente e, em consequência, quantificações de reserva; suas características de aquífero livre permitem uma recarga direta e rápida, o que garante, até certo ponto, a sustentabilidade da exploração.

9.3.3 Bacias sedimentares

Ao contrário das rochas cristalinas as bacias sedimentares apresentam ótima vocação hidrogeológica e são responsáveis pelos maiores volumes de água subterrânea armazenados no semiárido; em seguida, far-se-á uma síntese de algumas características e conhecimento hidrogeológico das principais ocorrências sedimentares, ilustradas na Figura 9.5. Embora citadas, não serão abordadas as bacias da faixa costeira (São Luís, Barreirinhas, Pernambuco-Paraíba, Sergipe-Alagoas, Almada e Jequitinhonha), em função de seu afastamento e pouca contribuição para a região semiárida. Serão consideradas, portanto, as seguintes: Bacias Interiores; Uruçuia; Recôncavo-Tucano; Jatobá; Potiguar e Parnaíba.

9.3.4 Bacias interiores

Espalhadas na extensa região dos terrenos cristalinos do semiárido nordestino existem pequenas ocorrências de rochas sedimentares que podem acumular água de forma bem mais expressiva que as rochas cristalinas que as rodeiam. Tendo em vista as condições favoráveis de ocorrência de água subterrânea, essas pequenas bacias se tornam imensas em importância, quando se consideram o aspecto recurso hídrico e o contexto climático da região. Elas têm apresentado bons potenciais hidrogeológicos que vêm, em alguns casos, sendo explorados para atendimento de demandas locais. As bacias e manchas sedimentares aqui abordadas são as seguintes: Araripe; Iguatu/Malhada Vermelha/Lima Campos/Icó e Lavras da Mangabeira, no Ceará; Cel. João Pessoa, Marrecas, Pau dos Ferros e Serra dos Martins, no Rio Grande do Norte; Rio do Peixe, na Paraíba; Cedro, São José do Belmonte, Mirandiba, Carnaubeira, Betânia e Fátima, em Pernambuco.

Bacia do Araripe: localiza-se nos limites dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí e tem uma área de 11.000 km². Dentro do Escudo Oriental é a bacia que apresenta o maior potencial hidrogeológico; abastece com água subterrânea, dentre outros, os municípios de Crato, Juazeiro e Barbalha; pode ser dividida, morfológicamente, em duas partes bem distintas: Chapada do Araripe e vale do Cariri; praticamente, toda a exploração de água subterrânea é concentrada no vale, sendo raros os poços existentes na chapada; o potencial está centrado em dois aquíferos principais: Mauriti e o sistema Rio da Batateira/Abaiara/Missão Velha; o aquífero Mauriti é constituído por uma sequência monótona de arenitos de granulação média a grosseira, geralmente silicificados; nesta formação e em função da silicificação, os arenitos apresentam redução significativa da porosidade primária, sendo a ocorrência e a circulação da água subterrânea controladas mais fortemente pela porosidade secundária (falhas, fraturas etc.). Em geral, tem um potencial variando entre baixo e médio, com espessuras em torno de 100 m e poços com baixas vazões (< 5 m³ h⁻¹), exceto nas zonas de falha nas quais as vazões podem aumentar acentuadamente; o sistema Rio da Batateira/Abaiara/Missão Velha é constituído por sequências de arenitos grosseiros, finos e médios, com alternância de siltitos, argilitos e folhelhos, na zona intermediária e no topo,

chegando a atingir 500 m de espessura; atualmente, é o aquífero mais perfurado e explorado da região, com vazões que alcançam até $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Estudos recentes desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil em parceria com a Universidade Federal do Ceará (CPRM/UFC, 2008a) propuseram, para o vale do Cariri (incluindo os dois aquíferos) as seguintes quantificações: reservas renováveis de $360 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$; reservas permanentes (excluindo o Mauriti) de $14 \times 10^9 \text{ m}^3$; recursos exploráveis de $450 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e disponibilidade total de $54 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

Bacias de Iguatu/Malhada Vermelha/Lima Campos/Iço: na região sudeste do Ceará existe um conjunto de quatro pequenas bacias situadas entre os municípios de Iguatu e Icó, ocupando uma área aproximada de 1.000 km^2 . Os sedimentos que preenchem essas bacias são formados por clásticos com intercalações pelíticas, constituindo três unidades aquíferas: Icó, Malhada Vermelha e Lima Campos. Recobrimo esses sedimentos existem formações areno-argilosas inconsolidadas (Moura, Coberturas Recentes e Aluviões) que também exibem possibilidades para armazenamento de água. A perfuração de poços tubulares é realizada indiscriminadamente em todas essas unidades litológicas, em geral com profundidades inferiores a 100 m; entretanto, a exploração dessas bacias ainda pode ser considerada pequena, em virtude da grande oferta hídrica da região, materializada pelo lago do açude Orós; não há informações acerca do comportamento das formações geológicas como aquífero, além dos 100 m de profundidade. Nunca foi perfurado um poço stratigráfico, sendo as informações restritas à profundidade e litologias em subsuperfícies estimadas a partir de levantamentos geofísicos. Em síntese, até os 100 m as três unidades geológicas captadas como aquíferos apresentam potencial hidrogeológico baixo, com poços exibindo vazões médias da ordem de $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O potencial maior reside nos aluviões do rio Jaguaribe, que chegam a apresentar largura de até 500 m e espessuras que atingem os 25 m. As altas condutividades hidráulicas desses aluviões permitem a extração de vazões significativas, utilizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgotos (SAAE) para abastecimento da cidade de Iguatu.

Bacia de Lavras da Mangabeira: constitui um conjunto de três pequenas bacias situadas na região sudeste do estado do Ceará, com área aproximada de $60,27 \text{ km}^2$. As formações Serrote do Limoeiro e Iborepi representam potencial para a ocorrência de água subterrânea. Estudos executados pelo Serviço Geológico do Brasil em parceria com a Universidade Federal do Ceará (CPRM/UFC, 2008b), indicam uma potencialidade de $4,6 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e uma disponibilidade instalada de cerca de $1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. A quase totalidade da água extraída é usada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), para abastecimento.

Bacias de Coronel João Pessoa/Marrecas/Pau dos Ferros: essas pequenas bacias, com dimensões de 16, 27 e 65 km^2 , respectivamente, estão localizadas na porção oeste do estado do Rio Grande do Norte, sendo preenchidas com sedimentos da formação Antenor Navarro constituídos de arenitos finos a grossos, siltitos e

argilitos. Apesar da inexistência de estudos e de dados de poços, considera-se que nas zonas arenosas, a exemplo de outras bacias, esses reservatórios podem apresentar potencial hidrogeológico entre baixo e médio, restrito em função de suas dimensões.

Cobertura Serra dos Martins: esses sedimentos não são mapeados como bacia sedimentar mas, sim, como cobertura terciária. Localizada na porção centro-sudoeste do estado do Rio Grande do Norte, recobre uma área de 405 km², é constituída de arenitos de granulometria média a conglomerática e configura boas condições litológicas para acúmulo de água subterrânea; apesar disto, as prováveis espessuras reduzidas minimizam seu potencial. Embora tendo mais de 130 poços cadastrados (CPRM/SIAGAS, 2009), não existem informações sobre vazões de exploração, qualidade da água etc.

Bacia do Rio do Peixe: esta bacia está localizada no extremo noroeste do estado da Paraíba e ocupa uma área aproximada de 1.300 km²; é preenchida pelas formações Antenor Navarro, constituída por arenitos finos a grossos; Sousa, constituída por siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos calcíferos; e Rio Piranhas, constituída por arenitos finos a conglomeráticos. Esta estratigrafia condiciona a existência de dois aquíferos: Rio Piranhas e Antenor Navarro, separados pelo aquífero Souza. Estudos recentes desenvolvidos pela Universidade Federal de Campina Grande, em parceria com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM/UFCG, 2008), ensejaram avanços significativos para compreensão da ocorrência e fluxo da água subterrânea na bacia; em função, entretanto, de inconsistências quanto ao arcabouço estrutural que controla a configuração tridimensional do reservatório, não foram avaliadas as reservas. Numa aproximação considerada grosseira, baseada em avaliações de recarga durante dois anos (2005 e 2006), foram indicadas uma potencialidade de $55 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e uma disponibilidade entre 27 e $33 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (caso em que os conceitos de potencialidade e disponibilidade representam recursos renováveis e exploráveis, respectivamente, como definidos mais adiante, neste capítulo).

Bacia de Cedro: esta bacia é localizada na porção noroeste do estado de Pernambuco e sua área é de 168 km². O potencial aquífero é representado pela Formação Mauriti, cujo comportamento hidrogeológico foi descrito anteriormente. Não existem informações mais detalhadas sobre esta bacia e se supõe que apresente baixo potencial.

Bacia de São José do Belmonte: está localizada na porção centro-norte do estado de Pernambuco e sua área é de 755 km². O aquífero predominante é a formação Tacaratu, constituída por arenitos médios a grosseiros, heterogêneos, com níveis caulínicos e forte diagênese; apresenta comportamento hidrodinâmico muito heterogêneo, com predominância da porosidade secundária sobre a porosidade primária, refletindo na extrema variação de produtividade dos poços perfurados neste aquífero (de menos de 1,0 a mais de 50,0 m³ h⁻¹). Embora já exista uma intensa exploração (mais de 1.000 poços cadastrados pela CPRM), o nível de informações e conhecimento sobre a hidrogeologia da bacia ainda é baixo. Segundo Costa (2005), a reserva renovável varia em torno de $2,6 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e a reserva permanente chega a casa dos $10 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Bacias de Mirandiba/Carnaubeira/Betânia/Fátima: estas bacias estão localizadas na porção central do estado de Pernambuco e apresentam as seguintes dimensões: 143, 136, 280 e 270 km², respectivamente; o potencial hidrogeológico, em todas elas, está representado pela Formação Tacaratu. Esta unidade geológica é constituída de arenitos médios a grosseiros, heterogêneos, com níveis caulínicos e forte diagênese e comportamento similar ao aquífero Mauriti, em termos de ocorrência e fluxo da água subterrânea. O conhecimento ainda é incipiente e se pode considerar um potencial de baixo a médio. Em alguns casos, é possível obter poços com boas produtividades; um exemplo são os poços da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), locados e perfurados pelo Serviço Geológico do Brasil na bacia de Fátima, com profundidades variando de 300 a 418 m e produtividade em torno de 30 m³ h⁻¹ poço⁻¹.

9.3.5 Bacia do Urucuia

A bacia do Urucuia se distribui por seis estados da Federação (Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Piauí, Maranhão e Goiás) e ocupa uma área estimada em 120.000 km², dos quais aproximadamente 90.000 km² se situam na região oeste da Bahia. Durante muito tempo e devido à falta de conhecimento, o Urucuia foi considerado uma cobertura de baixo potencial hidrogeológico; entretanto, informações recentes mostram ser comum a existência de poços com 250 a 300 m de profundidade produzindo vazões de até 500 m³ h⁻¹ com capacidades específicas da ordem de 10 a 12 m³ h⁻¹ m⁻¹. Caracteriza-se, litologicamente, por uma sucessão de leitos de arenitos finos a grossos, friáveis e caulínicos, com níveis argilosos e conglomeráticos e se estimam, por estudos geofísicos, espessuras que podem atingir até 600 metros. Serve de divisor de águas entre o Rio São Francisco, a leste, o Rio Tocantins, a oeste, e as cabeceiras do Rio Parnaíba, ao norte. Nessas condições suas águas subterrâneas têm importante papel na alimentação desses rios, o que torna particularmente importante a gestão integrada dos recursos hídricos na região. Nos últimos anos a exploração vem aumentando vertiginosamente, em função da expansão acentuada da agricultura irrigada porém o conhecimento ainda é muito pequeno e restrito a pequenas áreas piloto de estudo, desenvolvidas pela Secretaria de Recursos Hídricos da Bahia, Universidades Federais e pelo Serviço Geológico do Brasil; suas características de aquífero livre elevam o Urucuia à condição de maior reservatório de água subterrânea do estado da Bahia e um dos maiores do Brasil. Gaspar (2006), estimou reservas permanentes em torno de 3 x 10¹² m³, reservas reguladoras em 3 x 10⁹ m³ ano⁻¹ e uma reserva explotável de 4 x 10⁹ m³.

9.3.6 Bacia do Recôncavo/Tucano

As bacias sedimentares do Recôncavo e Tucano cobrem uma área de cerca de 50.000 km², distribuída desde o litoral baiano (bacia do Recôncavo), até o limite estadual entre a Bahia e Pernambuco (bacia de Tucano). Nessas duas bacias podem

ser considerados três sistemas aquíferos: superior, representado pelas formações Marizal e São Sebastião; médio, representado pelo Grupo Ilhas e a formação Candeias e o sistema inferior, constituído pelas formações Sergi e Aliança. O sistema aquífero superior é o mais explorado, sendo a Formação São Sebastião a de maior potencial, com poços que atingem até $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e espessura estimada em cerca de 3.000 m. Este sistema é responsável pelo abastecimento do Polo Petroquímico de Camaçari, que faz um rígido controle da qualidade da água, através de monitoramento. Não há informações consistentes referentes aos volumes armazenados, principalmente nos sistemas médio e inferior que ocorrem na bacia de Tucano. Em geral, pode-se considerar o potencial variando de médio a elevado, com poços apresentando capacidade específica média em torno de $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$; até a profundidade 800 m a água é de boa qualidade.

9.3.7 Bacia de Jatobá

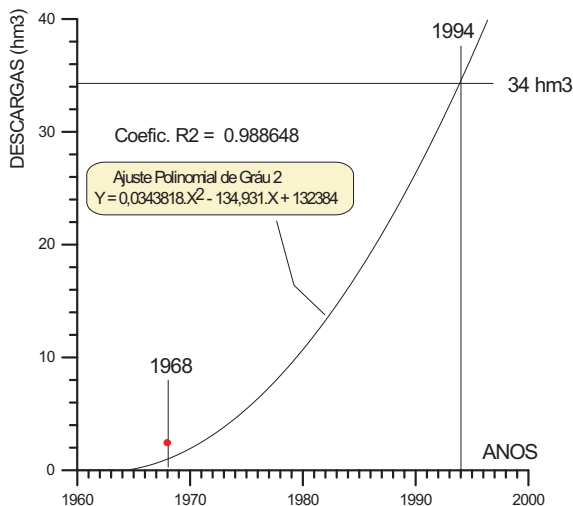
A Bacia do Jatobá está localizada nas porções central do estado de Pernambuco, e noroeste do estado de Alagoas, totalizando 5.941 km^2 ; apresenta excelente potencial hidrogeológico, representado pelo sistema aquífero indiviso Inajá/Tacaratu, constituído por sequência de arenitos grosseiros, conglomeráticos com intercalações pelíticas na base (formação Tacaratu) e arenitos finos, ferruginosos, apresentando intercalações de siltitos no topo (formação Inajá). Estimam-se espessuras da ordem de 500 m para todo o pacote sedimentar, sendo 350 m referentes à formação Tacaratu e 150 m à formação Inajá. Estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (CPRM/UFPE, 2008) estimam os seguintes quantitativos para o sistema Inajá/Tacaratu na bacia do Jatobá: reservas em torno de 6.192 Hm^3 (apenas para a área onde o sistema apresenta condições de aquífero livre); recursos renováveis da ordem de $3,1 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$; potencialidade de $12,4 \text{ Hm}^3 \text{ ano}^{-1}$; disponibilidade instalada de $0,7 \text{ Hm}^3 \text{ ano}^{-1}$ e recursos exploráveis de $9,3 \text{ Hm}^3 \text{ ano}^{-1}$ para os próximos 50 anos. Salienta-se que essas avaliações foram realizadas utilizando-se os conceitos apresentados mais adiante, neste capítulo.

A água vem sendo utilizada tanto para o atendimento de demandas locais como para o abastecimento de cidades próximas situadas no domínio das rochas cristalinas (Sertânia e Arcoverde, em Pernambuco). O aumento da exploração está sendo acompanhado por estudos hidrogeológicos, atualmente em desenvolvimento pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco.

9.3.8 Bacia Potiguar

A bacia localiza-se na margem costeira norte do estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará; sua extensão total abrange uma área que pode variar entre 41.000 e 60.000 km^2 , englobando suas porções emersas e imersas. Os principais aquíferos são representados pelas formações Jandaíra e Açú; o aquífero Jandaíra se localiza na porção superior da sequência carbonática da formação Jandaíra, com espessuras variando de 50 a 250 m; trata-se de um aquífero cárstico essencialmente livre,

heterogêneo e hidraulicamente anisotrópico, que apresenta alto potencial para produção de água, materializado por poços com profundidades médias de 100 m que chegam a produzir até $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A utilização deste aquífero vem sendo intensificada nos últimos anos, com a utilização de suas águas para fruticultura irrigada. O crescimento desordenado da exploração gerou, em 2003, rebaixamentos excessivos nas captações, chegando a comprometer a produção de frutas e trazendo prejuízos significativos para a economia da região. As Secretarias de Recursos Hídricos dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte estão realizando estudos detalhados neste aquífero, os quais trarão novos conhecimentos necessários à implantação de um programa efetivo de gestão. O aquífero Açú, com topo variando entre 400 e 700 m, corresponde à porção inferior da formação Açú e é constituído de arenitos predominantemente grosseiros a conglomeráticos na base, passando a arenitos médios na porção intermediária e arenitos mais finos no topo; constitui o mais importante sistema de armazenamento de água subterrânea da Bacia Potiguar, aflorando em sua borda sul, ao longo de uma faixa marginal com largura variando entre cerca de 5 km, no extremo leste, a 20 km no extremo oeste. O primeiro poço profundo perfurado neste aquífero, em 1967, revelou condições de artesianismo jorrante e água de excelente qualidade, com descarga da ordem de $80,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Em face dessas condições favoráveis as perfurações se sucederam ao longo dos anos, acompanhando o acelerado crescimento das demandas urbanas, atizadas pelo surto desenvolvimentista decorrente da presença da Petrobras na região, e a implantação de projetos agroindustriais baseados em irrigação. Conforme ilustrado na Figura 9.7, a exploração do aquífero Açú teve um crescimento acelerado nas décadas de 70, 80 e 90, chegando a produzir uma descarga total em torno de $42,0 \text{ Hm}^3 \text{ ano}^{-1}$.



Fonte: Feitosa (1996)

Figura 9.7 Evolução das descargas do Aquífero Açú, na Região de Mossoró

Este bombeamento gerou rebaixamentos acentuados com magnitudes variando entre 120 e 160 m nas zonas mais críticas. Embora se admita a existência de drenança vertical a partir dos calcários Jandaíra, sobrejacentes, os estudos realizados ainda não foram suficientes para avaliar sua magnitude. O que se pode afirmar, até agora, é que o crescimento da descarga extraída implica um crescente aprofundamento dos níveis, refletindo a retirada de água do armazenamento do aquífero. Com a diminuição da exploração destinada ao abastecimento pela Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), associada ao fato da fruticultura irrigada estar usando mais fortemente as águas do Jandaíra, a depressão potenciométrica do Açu, na região, tende a ser amenizada. Portanto, o aquífero Açu desempenhará sempre o importante papel de reserva estratégica com capacidade de prover soluções imediatas e de baixo custo.

9.3.9 Bacia do Parnaíba

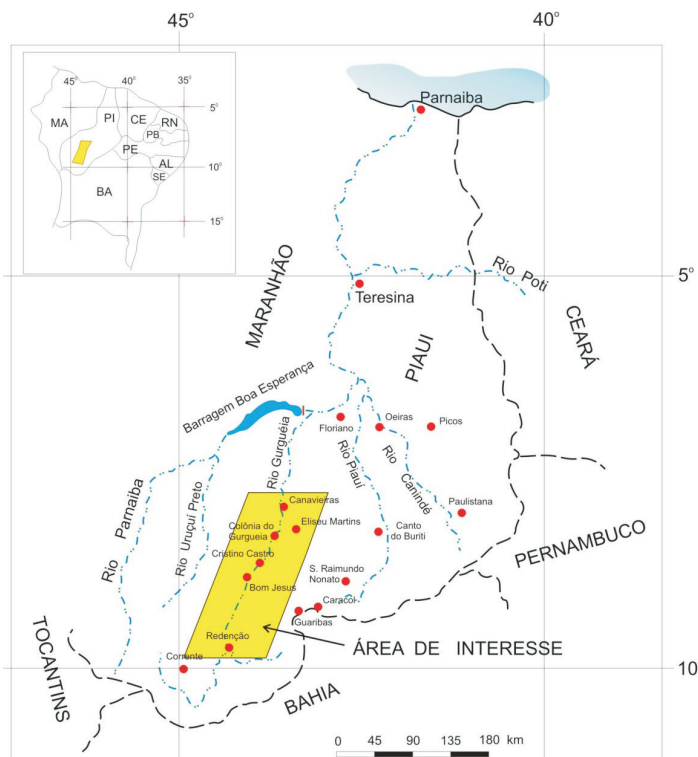
A bacia sedimentar do Parnaíba constitui o maior potencial de água subterrânea do Nordeste. As formações geológicas se apresentam conforme uma série alternada de camadas permeáveis e menos permeáveis, dando origem a sistemas aquíferos regionais, em condições hidráulicas livres e confinadas (às vezes surgentes). Os principais aquíferos, ordenados conforme uma hierarquia de produtividade são Cabeças, Serra Grande e o sistema Poti-Piauí. Não serão abordados aqui outros aquíferos menos produtivos, correspondentes às formações Motuca, Corda e Itapecuru, que ocorrem no estado do Maranhão em zona já afastada do semiárido.

Aquífero Serra Grande: é formado por conglomerados e arenitos conglomeráticos caulínicos com intercalações de arenitos finos a médios, siltitos e folhelhos assentados sobre o embasamento cristalino. Sua área de recarga ocupa uma faixa muito estreita ao longo da borda da bacia, com largura variando de 2 a 15 km; no restante da bacia é confinado pela formação Pimenteiras e apresenta potencial variável, sendo explotado intensamente em algumas regiões (Picos por exemplo, onde já surgem indícios de sobre-exploração) e praticamente sem exploração em outras (vale do Gurguéia por exemplo).

Aquífero Cabeças: sobreposto ao aquífero Pimenteiras, este aquífero é formado por uma sequência de arenitos grosseiros a médios, frequentemente conglomeráticos e muito pouco argilosos, com intercalações de siltitos e folhelhos; apresenta extensa área de recarga, numa faixa de direção aproximada NE-SW, com largura variando de 20 a 60 km; em sua área confinada, é recoberto pelo aquífero Longá; de forma similar, este aquífero também apresenta um potencial variável ao longo da bacia; é usado principalmente para abastecimento, mais intensamente que o Serra Grande, devido à menor profundidade de captação.

Sistema Poti-Piauí: as formações Poti e Piauí constituem um sistema aquífero indiviso, formado por sequências de arenitos finos a grosseiros, argilosos, com intercalações de siltitos e folhelhos. Esses sedimentos ocorrem em superfície, formando chapadas na região centro-sul do Piauí com poucos vestígios de sua presença ao norte. A morfologia aliada às características litológicas reduz o potencial hídrico deste sistema aquífero que é utilizado, em geral, para demandas localizadas.

A área de maior potencial para a produção de água subterrânea é o vale do rio Gurguéia, no sul do estado do Piauí (Figura 9.8); nesta região as espessuras do Cabeças atingem 300 m e os poços têm capacidade de produzir vazões muito elevadas ($500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Estudos realizados pelo LABHID-UFPE/DNOCS (1990) indicam valores representativos de transmissividade ($T = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e coeficiente de armazenamento ($S = 3 \cdot 10^{-4}$) para a região e avaliam as reservas totais (confinamento + saturação), numa área de 35.000 km^2 (Figura 9.8), em cerca de $310 \times 10^9 \text{ m}^3$. Enquanto o Cabeças é explotado de forma incipiente, sobretudo por particulares, através de poços de baixa vazão na maioria surgentes, o Serra Grande pode ser considerado virgem nesta área. Existem apenas três poços que captam este aquífero na região; dois foram perfurados durante os estudos de reconhecimento na década de 70 (Violeta e Santa Fé) e o terceiro durante a fase de estudos complementares, efetuados pelo LABHID-UFPE, entre 85 e 90. Com base nesses poços o Serra Grande ocorre a partir da base do Pimenteiras, entre 700 e 800 m e apresenta espessuras em torno 400 m. As maiores profundidades de captação associadas ao pouco desenvolvimento da região explicam o estado quase virgem deste aquífero.



Fonte: Adaptado de Feitosa & Demetrio (2008)

Figura 9.8 Área estratégica para a produção de água subterrânea

Estudos realizados por Feitosa & Demetrio (2008) indicam a possibilidade de exploração de $420 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, através da captação simultânea do Cabeças e Serra Grande na área em amarelo da Figura 9.8, durante 50 anos, sem extrair água das reservas de saturação. Salienta-se, entretanto, que a modelagem que levou a esses resultados só foi possível em função do significativo grau de conhecimento já atingido, resultado de inúmeros estudos hidrogeológicos desenvolvidos na região desde a década de 70. Pode-se considerar esta região como à área estratégica para a produção de água subterrânea, com capacidade de atender as demandas locais e, até, regionais, e que está à espera de decisões políticas para ser utilizada.

9.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO RACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para que se possa gerir a exploração de um aquífero ou, em outras palavras, usar racionalmente a água acumulada em subsuperfície, é necessário, como já mencionado, um bom conhecimento técnico-científico envolvendo suas condições geológicas (ocorrência), hidráulicas (fluxo) e químicas (qualidade da água).

Como o conhecimento dos nossos mananciais subterrâneos ainda é pequeno, torna-se uma tarefa difícil e imprecisa a quantificação da água armazenada e aquela passível de extração sendo, portanto, um desafio aos profissionais da área a avaliação de reservas, vazões de exploração, potencialidade, disponibilidade etc. Os estudos regionais a nível de reconhecimento foram executados no Nordeste nas décadas de 60 e 70 e desde então não foram efetuados, regionalmente, estudos de detalhamento que subsidiassem a avaliação mais precisa desses valores existindo, inclusive, dados controversos sobre o real potencial hídrico subterrâneo em muitos locais.

O desafio aumenta quando se verifica haver uma grande diversidade de conceitos para as mesmas questões e que esses conceitos sofrem modificações sempre que são adaptados em função do problema analisado. No item anterior foram apresentadas várias quantificações, compiladas da literatura especializada e realizadas por diversos especialistas. Em primeiro lugar, não se pode perder de vista que os números apresentados devem ser encarados não como valores absolutos mas apenas como credenciais que tornam os aquíferos merecedores de atenção; em segundo, o entendimento desses números torna-se difícil na medida em que o mesmo termo representa, em muitos casos, conceitos diferentes. Por exemplo, o que é chamado disponibilidade por uns, representa recursos explotáveis para outros, ou potencialidade sendo empregada como recursos renováveis. A proliferação de termos é imensa e não existe normatização alguma que defina e regule a questão.

Como essas avaliações representam fator decisivo dentro do processo de gestão, considera-se fundamental caminhar em direção a uma regulamentação. Neste sentido, alguns hidrogeólogos do Nordeste formaram, em 2003, um grupo de trabalho fomentado pelo Serviço Geológico do Brasil, para debater a questão. Os resultados obtidos foram apresentados no capítulo 7.1, Avaliação de Recursos Hídricos

Subterrâneos, do livro Hidrogeologia: conceitos e aplicações (Feitosa et al., 2008), publicado pela CPRM.

Considerando-se fundamental o entendimento dessas questões para subsidiar o uso racional das águas subterrâneas, principalmente no semiárido, os conceitos e definições apresentados por Feitosa et al. (2008) serão aqui adotados e replicados. A expectativa é que sejam utilizados pelos profissionais de água subterrânea e pelos acadêmicos, de modo que se tenha uma compreensão única do tema, facilitando os processos de gestão.

9.4.1 Reservas versus recursos de água subterrânea

É intuitiva a concepção de que a expressão reservas implica em certa quantidade armazenada. No caso de água e, particularmente, da água subterrânea, as reservas se traduzem por volumes que representam a totalidade da água armazenada em um aquífero ou sistema aquífero; assim, as unidades que expressam as reservas de água subterrânea têm dimensão $[L^3]$, sendo comum a utilização do m^3 , Hm^3 ou mesmo do L.

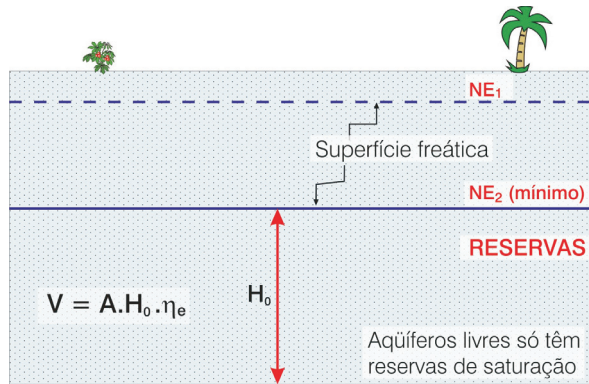
A utilização dessas reservas, ou seja, a retirada de volumes de água de um aquífero se destina, por sua vez, a um consumo. É evidente que este consumo vai ocorrer a certa taxa temporal; além disso, a utilização das reservas envolve sempre aspectos práticos relacionados à capacidade de produção dos poços, à evolução dos níveis de bombeamento e à própria magnitude e finitude dos volumes armazenados. É absolutamente natural e intuitiva, portanto, a consideração da variável tempo e a noção de alcance, na exploração de recursos hídricos, em geral. No que diz respeito à recarga dos aquíferos verifica-se, por outro lado, que sua descrição também requer, intuitivamente, a introdução da variável tempo. Desta maneira, tanto os volumes explorados dos aquíferos como aqueles aí repostos, têm dimensão L^3T^{-1} ; esses volumes serão chamados, formalmente, recursos de água subterrânea.

9.4.2 Reservas de água subterrânea

As reservas de um aquífero ou de um sistema aquífero podem ser consideradas, em primeira aproximação, como um volume armazenado passível de mobilização, invariável em situação de equilíbrio natural, isto é, não renovável, sem participar, portanto, da vazão de escoamento natural produzida pela recarga. Dois tipos de reserva subterrânea devem ser considerados: as reservas de saturação e as reservas sob pressão.

A avaliação dessas reservas é feita a partir de fórmulas simples mas que encerram muitas imprecisões, notadamente quanto aos limites do domínio (Custodio & Llamas, 1983) e quanto ao nível de conhecimento do coeficiente de armazenamento (S) e/ou da porosidade efetiva (η_e).

No caso de aquíferos livres e em franca comunicação com as águas superficiais e meteóricas, as reservas de saturação constituem o volume de água subterrânea armazenado abaixo da posição mínima do nível freático (Figura 9.9).



Fonte: Feitosa et al. (2008)

Figura 9.9 Avaliação de reservas em aquíferos livres

Os aquíferos livres têm reservas unicamente de saturação, que podem ser avaliadas de acordo com a expressão a seguir:

$$V_s = A \cdot \eta_e \cdot H_0$$

em que, V_s é o volume de água de saturação [L^3], A é a área de ocorrência do aquífero [L^2], η_e é a porosidade efetiva (adimensional) e H_0 é a espessura saturada mínima [L].

No caso de aquíferos confinados há que se considerar, além das reservas de saturação, as reservas de confinamento ou reservas armazenadas sob pressão, essas últimas dadas pela seguinte equação:

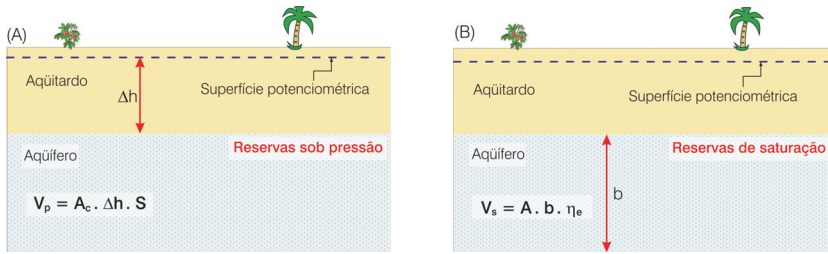
$$V_p = A_c \cdot S \cdot \Delta h$$

em que, V_p é o volume de água sob pressão, A_c é a área de ocorrência do aquífero sob confinamento [L^2], S é o coeficiente de armazenamento (adimensional) e Δh é a altura de carga hidráulica acima da base do confinante (topo do aquífero). Esta altura geralmente aumenta das bordas para o centro das bacias e, por isso, se costuma fazer a avaliação por setores ou se utiliza um valor médio, dependendo das características locais do problema; esta altura representa, ainda, a carga de confinamento [L] (Figura 9.10).

A reserva de saturação nos aquíferos confinados é, naturalmente, a água que permanece saturando o meio poroso. Este volume de saturação pode ser avaliado como:

$$V_s = A \cdot \eta_e \cdot b$$

em que, V_s é o volume de água de saturação, A é a área de ocorrência do aquífero [L^2], η_e é a porosidade efetiva (adimensional) e b é a espessura média saturada [L].



Fonte: Feitosa et al. (2008)

Figura 9.10 Avaliação de reservas em aquíferos confinados: (A) reservas sob pressão, onde se deve considerar apenas a área de confinamento; (B) reservas de saturação, considerando-se a área total de ocorrência do aquífero

As reservas dos aquíferos confinados são, portanto, constituídas pelas reservas de confinamento, V_p , e pelas reservas de saturação, V_s , razão pela qual é procedimento habitual escrevê-las como a soma dessas parcelas, ou seja:

$$V = V_p + V_s = (A_c \cdot S \cdot \Delta h) + (A \cdot \eta_e \cdot b)$$

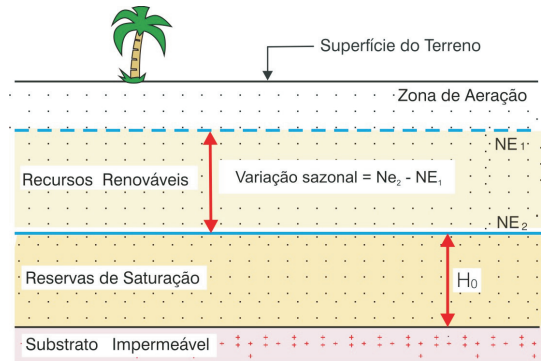
Entretanto, na prática a retirada de água dos aquíferos confinados é feita apenas das reservas sob pressão, já que o aquífero, na grande maioria dos casos, permanece totalmente saturado durante a exploração.

9.4.3 Recursos de água subterrânea

Como já discutido, recursos são conceituados como uma descarga ou vazão, de dimensão L^3T^{-1} . A própria natureza do problema leva a considerar os seguintes recursos de água subterrânea: recursos renováveis; recursos mobilizáveis ou potencialidade; recursos disponíveis ou disponibilidade e recursos exploráveis.

Recursos renováveis: A avaliação dos recursos renováveis pode ser realizada mediante análise de variações potenciométricas sazonais, análise de curvas de depleção de cursos de água superficial ou a partir de análise de mapas de fluxo subterrâneo.

Variações potenciométricas sazonais: No caso particular de aquíferos livres, as variações sazonais no armazenamento, como resultado de infiltrações de águas meteóricas nos períodos chuvosos e de descarga nos períodos de estiagem, acarretam uma variação do nível potenciométrico, entre um valor máximo, no final ou algum tempo após o final do período chuvoso, e um valor mínimo, no final ou algum tempo após o final do período de estiagem, casos em que é comum se definir os recursos renováveis (a partir de uma rede de pontos de observação dos níveis de água distribuídos na área de ocorrência do aquífero), como a variação temporal do volume de água armazenado considerando-se a oscilação média entre o nível máximo NE_1 e o nível mínimo NE_2 , como mostrado esquematicamente na Figura 9.11.



Fonte: Feitosa et al. (2008)

Figura 9.11 Avaliação de recursos renováveis através da variação sazonal do nível freático

Neste caso, os recursos renováveis são avaliados de acordo com a expressão:

$$Q = dV/dt \approx A \cdot \eta_e \cdot \Delta h/\Delta t$$

sendo A , a área de ocorrência do aquífero [L^2], Δh a variação do nível de água ($NE_1 - NE_2$), produzida no intervalo de tempo Δt [T] e η_e a porosidade efetiva.

No caso de aquíferos regionais profundos, confinados, o equilíbrio natural foi estabelecido, provavelmente, após alguns milhares de anos. Os fracos gradientes hidráulicos do fluxo subterrâneo e os valores habituais de condutividade hidráulica (mesmo condutividades hidráulicas da ordem de $5 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$, tidas como altas em aquíferos confinados, são valores muito baixos), resultam em fluxos naturais extremamente lentos. Considerando-se, ainda, as grandes dimensões desses reservatórios e as grandes distâncias em que se situam, em geral, suas zonas de recarga, compreende-se por que os níveis potenciométricos nas zonas confinadas não respondem prontamente às variações climáticas sazonais, mesmo àquelas de ciclos maiores, de anos talvez, que possam ocorrer. As zonas aflorantes, de recarga, dos grandes aquíferos confinados regionais quase sempre representam pequena parte da área total desses aquíferos e, em alguns casos, nem sequer existem; então, os recursos renováveis desses aquíferos geralmente correspondem a ínfimas parcelas de suas reservas e, em muitas situações, podem ser insignificantes ou até mesmo não existir se não houver zona de afloramento do aquífero; todavia, as variações sazonais de curto prazo supostamente ocorrem nas zonas de afloramento, desde que elas existam e nelas se processe alguma recarga.

Análise de curvas de recessão de cursos de água: Em muitas situações, principalmente em regiões úmidas, a presença de rios e riachos perenes é um indicativo de interações entre as águas subterrâneas e as águas de superfície, significando que parte da recarga natural do aquífero é restituída à rede hidrográfica. As variações das

descargas superficiais com o tempo, registradas nos períodos de estiagem, seguem uma lei de decaimento exponencial do tipo:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\lambda(t-t_0)}$$

sendo, λ a constante característica chamada coeficiente de restituição ou recessão [$1/T$], Q_0 a descarga inicial de recessão, correspondente ao instante em que o armazenamento no aquífero tem o seu máximo valor [$L^3 T^{-1}$], e $t - t_0 = \Delta t$ o intervalo de tempo [T] entre as descargas $Q = Q(t_0)$ e $Q = Q(t)$.

O volume correspondente aos recursos renováveis restituídos à rede hidrográfica de uma bacia a partir de um instante inicial $t_0 = 0$, até o completo esgotamento, e que caracteriza a capacidade de armazenamento subterrâneo da bacia (e, portanto, sua recarga), é dado por:

$$V = Q_0 / \lambda$$

O coeficiente de restituição λ [$1/T$], que aparece na equação acima é, quase sempre, estimado a partir de curvas de depleção nas quais o tempo é expresso em dias e a descarga em $m^3 s^{-1}$. Assim, λ tem dimensão [1 dia^{-1}]. Para se obter o volume restituído (em m^3) que representa os recursos renováveis, a equação usada é a seguinte:

$$V = 86.400 \cdot Q_0 / \lambda$$

Análise de mapas potenciométricos: os mapas potenciométricos mostram o fluxo subterrâneo para a rede hidrográfica e também para outros exutórios como o oceano, por exemplo. Para outros exutórios que não a rede hidrográfica, o volume anual de escoamento subterrâneo pode ser obtido da análise desses mapas e do conhecimento da transmissividade do aquífero, através da seguinte expressão:

$$VEN = T \cdot i \cdot L$$

sendo, VEN a vazão de escoamento natural [$L^3 T^{-1}$], considerada um recurso renovável parcial ou total, a depender das condições hidrogeológicas, T a transmissividade hidráulica do aquífero [$L^2 T^{-1}$], i o gradiente hidráulico do escoamento e L o comprimento da frente de escoamento, considerado [L].

Convém lembrar que esses recursos são repostos anualmente pela recarga natural proveniente, sobremaneira, da precipitação e têm, por isso, caráter estocástico.

9.4.4 Recursos mobilizáveis ou potencialidade

O conceito de potencialidade de água subterrânea, aqui formalizado, corresponde exatamente ao conceito de “safe yield” dos norte-americanos. De acordo com

Sophocleous (2000), Todd apresentou, em 1959, uma definição abrangente de “safe yield” a qual, com algumas adaptações e complementações, goza hoje de uma extensiva aceitabilidade entre os hidrogeólogos norte-americanos, canadenses e franceses. A definição original de Todd é a seguinte (tradução nossa): “safe yield de um aquífero é a descarga anual que pode ser extraída sem que se produza um efeito indesejável”.

Como efeitos indesejáveis na definição acima consideram-se, hoje, os seguintes, que se podem verificar em decorrência da extração de água subterrânea: esgotamento ou redução sensível da descarga de fontes e de poços pré-existentes; comprometimento do volume de lagoas, do fluxo de base de rios e das características ambientais de sistemas lacustres, brejos, pântanos etc.; atração e captação de águas de qualidade química não tolerável para os fins propostos; recalques do terreno e rebaixamento excessivo da carga potenciométrica nas captações.

É forçoso reconhecer que a potencialidade, dependendo de tantos fatores restritivos e variando, inclusive, no tempo, tem-se revelado historicamente, um conceito vago e impreciso, tendo-se redefinido frequentemente por diferentes usuários, de modo a adequá-lo aos seus problemas específicos. Sendo assim, este conceito não só continua dividindo opiniões, mas sendo defendido com ardor e atacado violentamente, conforme descrevem Custodio & Llamas (1983). Em realidade, potencialidade entendida como safe-yield soa como alguns outros conceitos sem significado hidrodinâmico preciso, que aparecem com frequência em hidrogeologia, deixando sempre um sentimento de dúvida no ar e fomentando controvérsias. São conceitos que implicam restrições difíceis de serem atendidas na prática, a menos que se imponham controles mediante restrições legais severas. Neste caso, como garantir o bem comum? A exemplo do que acontece com a extração de muitos outros recursos naturais, como óleo, recursos vegetais, vida aquática etc., a exploração de água subterrânea tende a não se sujeitar a controles. Se não existe um incentivo maior para a conservação de um recurso, o que o usuário pretende é aproveitá-lo, tirando o maior lucro ou benefício possível do investimento que tenha feito. Esta é a regra da captura ou exploração do recurso comum (Aguilera, 1991; Young, 1993; Azqueta & Ferreiro, 1994 apud Custodio & Llamas, 1983). Sem tal pensamento, em lugar do bem-estar social o resultado poderá ser a ineficiência econômica coletiva; entretanto, pode-se e convém impor regras de controle, mas dependendo das restrições impostas através de instrumentos legais, qualquer desenvolvimento de água subterrânea pode ser considerado indesejável e pode impedir o uso do aquífero por alguns, favorecendo a outros e gerando especulação econômica por parte dos detentores de outorgas de uso. O número de usuários de um aquífero ou sistema aquífero regional, é muito grande e o processo de aproveitamento é muito lento e progressivo. Na prática, ações legais intempestivas e tecnicamente pouco fundamentadas, podem trazer mais prejuízos do que benefícios. Custodio (2002), defende a idéia de que, mesmo às custas de uma redução no armazenamento, o uso da água subterrânea pode produzir benefícios que compensem os custos técnicos, econômicos e ambientais, caso a exploração seja regulamentada e devidamente controlada.

Veja-se, por exemplo, o conceito de sustentabilidade, desenvolvido na década de 1980 (WECD, 1987), e hoje aplicado ao uso da água subterrânea. Define-se desenvolvimento sustentável de um recurso natural como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas necessidades. O que é o futuro? Quais são as necessidades das gerações futuras? Quais serão as tecnologias do futuro? No caso da água subterrânea, cuja exploração prevê a utilização de parte das reservas (volumes não renováveis), como saber se isto compromete ou não as necessidades das gerações futuras? A resposta a essas questões, é incerta. Sophocleous (2000), considera o desenvolvimento sustentável um conceito poderoso e dinâmico que precisa ser aprimorado a fim de que seus princípios possam ser convertidos em políticas realizáveis. A exploração da água subterrânea no século vinte trouxe grandes benefícios mas, também, criou problemas complexos em alguns lugares. Problemas que, segundo Lant (1999 apud Custodio, 2000), as agências gestoras de água, as organizações técnicas e as regulamentações tecnológicas, ainda não estão preparadas para enfrentar.

Também os termos regime de exaustão e superexploração de um aquífero de grandes dimensões, se enquadram como mal definidos e sem significado preciso. Mesmo assim têm sido usados, a partir dos anos 70, por muitos setores da sociedade, particularmente, nas regiões áridas e semiáridas (Custodio, 2000). Em tais regiões, a exploração de aquíferos costuma ser intensa, principalmente para irrigação e a simples interferência entre poços, associada ao mau gerenciamento, acaba sendo chamada de superexploração. O uso intensivo da água subterrânea em muitas áreas, a crescente preocupação ambiental e a longa experiência com o desenvolvimento de aquíferos motivam, hoje, maior atenção aos aspectos negativos do desenvolvimento desse recurso. A percepção de evolução negativa ou talvez irreversível, comungada por muitos, embora diante de situações mal definidas e não controladas, cria o sentimento de que existe algo negativo a ser combatido (exemplos: Mossoró, Recife, Picos); isto significa que alguma superexploração temporária do aquífero pode ser aceitável e até mesmo conveniente, desde que seja conduzida sob controle, isto é, desde que suas características sejam conhecidas, os custos incorporados e os benefícios sociais otimizados; aí se inclui, então, a consideração do quanto possam ser aceitáveis ou passíveis de compensação os impactos ambientais.

Poucas informações e muitas incertezas hidrogeológicas podem levar à escolha de outras fontes de abastecimento de água, com grandes infraestruturas e maiores custos. O pouco conhecimento sobre o sistema aquífero em exploração e sobre o comportamento da água subterrânea é o que mais contribui para justificar a escolha de outras fontes de abastecimento. A opção por soluções inadequadas, a baixa eficiência do uso da água subterrânea, a má construção de poços e a má gestão dos aquíferos, induzem a atividades especulativas quanto à superexploração.

As considerações acima mostram o quanto é difícil definir, em termos simples, conceitos como sustentabilidade, superexploração, regime de exaustão e, finalmente,

potencialidade de um aquífero, em face das inúmeras variáveis envolvidas e, sobretudo, das incertezas decorrentes do conhecimento insatisfatório dos reservatórios. E tudo isto associado com as lentas respostas transientes dos aquíferos, devido ao grande volume de água subterrânea armazenado e ao lento e complexo padrão do fluxo subterrâneo. A decisão sobre que cifra deve ser adotada como potencialidade para determinado aquífero, depende tanto dos aspectos hidráulicos ou técnicos e científicos do problema como dos aspectos sociais, econômicos e legais que se possam apresentar. Como assinalam vários especialistas, a característica mais marcante da potencialidade é que ela não pode ser quantificada quando o aquífero se encontra em seu estado virgem, sem captações significativas. Não obstante, nas fases iniciais a falta de dados não causa maiores problemas a menos que se trate de aquíferos com reservas pequenas em relação aos recursos renováveis. Nos aquíferos regionais, com reservas muito grandes em relação aos recursos renováveis, a exploração pode ser iniciada com pouca ou nenhuma informação hidrogeológica. Com o tempo, o conhecimento vai sendo progressivamente adquirido e a previsão da potencialidade pode ser tecnicamente ajustada, embora para isto seja preciso contar com instrumentos legais que permitam impor os limites estabelecidos para extração; em outras palavras, se o aquífero é bem monitorado, avaliações confiáveis da descarga segura de exploração, isto é, da potencialidade, tendem a ser cada vez melhores com o passar do tempo, se disporá, cada vez mais, de informações confiáveis sobre a resposta do sistema.

Na conceituação de potencialidade devem ser consideradas duas situações muito distintas que são, num extremo, a dos aquíferos livres e, no outro extremo, a dos aquíferos confinados.

Aquíferos livres: neste caso, as interações com o ciclo hidrológico são francas, o que garante a reposição dos recursos renováveis, dentro de prazos viáveis; entretanto, a facilidade e a presteza do reabastecimento dos aquíferos livres são apenas uma face da moeda; a outra face é a quase que imediata restituição das águas subterrâneas à rede hidrográfica, às fontes, brejos e exutórios em geral. Assim, captar integralmente os recursos renováveis pode implicar em redução do fluxo de base dos rios e outros efeitos similares, a médio ou longo prazos, trazendo todo um cortejo de conflitos, de que nos dá testemunho eloquente sobre a experiência já adquirida. Existe, hoje, uma forte tendência de se levar em conta a interação entre água subterrânea e água de superfície, limitando-se a potencialidade a descargas inferiores aos recursos renováveis, de modo a não comprometer o fluxo de rios nem as características ambientais de sistemas lacustres, brejos e pântanos. No caso de aquíferos livres, portanto, considera-se sensato e realista conceituar potencialidade no âmbito da gestão integrada água subterrânea/água de superfície, como um percentual dos recursos renováveis. Este percentual é extremamente variável de caso a caso e, também, no tempo, não sendo descartada a possibilidade de que o mesmo possa, em situações específicas, ser considerado, inicialmente, como 100% dos recursos renováveis podendo, até mesmo, incluir certo percentual das reservas. A potencialidade é, em suma, uma variável de decisão a ser quantificada pelos gestores

em função de um conjunto de fatores técnicos, sociais e econômicos. A diferença básica em relação aos aquíferos confinados é que, aqui, os recursos renováveis desempenham papel preponderante na quantificação da potencialidade, cabendo às reservas um papel muito pouco expressivo.

Aquíferos confinados: no caso dos aquíferos confinados, no outro extremo as interações com o ciclo hidrológico podem ser nulas ou gerar recursos renováveis muito pequenos em relação às reservas. O equilíbrio entre a recarga e a descarga natural foi estabelecido ao longo do tempo geológico e as condições hidráulicas, regendo tanto esta quanto aquela, não são facilmente alteradas. Aplica-se particularmente aqui, o Princípio da Continuidade, ou Princípio da Conservação da Massa. Este princípio, aplicado ao fluxo subterrâneo, foi expresso por Theis em 1940 (Lohman, 1972), como se segue: “sob condições naturais, antes da perfuração de poços, os aquíferos se encontram em um estado de equilíbrio dinâmico no qual, ao final de longos períodos de tempo, a recarga e a descarga natural se equilibram. A descarga através de poços é, portanto, uma nova descarga que vem perturbar este equilíbrio, acarretando uma redução do armazenamento. Um novo equilíbrio dinâmico só poderá ser atingido quando cessarem as perdas do armazenamento, isto é, quando (1) houver um aumento da recarga (natural ou artificial) ou (2) houver uma redução da descarga natural ou, então (3), uma combinação satisfatória de (1) e (2)”.

Em outras palavras, se os recursos renováveis são insignificantes no início da exploração e durante muito tempo, toda a água extraída dos poços é proveniente do armazenamento do aquífero. No caso particular dos aquíferos confinados, em pauta, por longo tempo predominam os mecanismos de liberação de água por compressão elástica do meio poroso e, em pequena proporção, descompressão do líquido. Os volumes liberados por esses mecanismos são independentes do escoamento natural do aquífero e, em decorrência dos gradientes artificiais criados pelo bombeamento, fluem radialmente de todos os quadrantes na direção das captações de onde são extraídos. Fica claro, portanto, que nos aquíferos confinados durante um tempo bastante longo após o início da exploração, a descarga natural tem pouca ou nenhuma participação na descarga dos poços. Enquanto a evolução do cone de rebaixamentos não alterar as condições hidráulicas nas zonas de recarga e/ou nos exutórios, induzindo a um aumento dos recursos renováveis (recarga natural) e/ou uma redução da descarga natural, um novo equilíbrio dinâmico não será atingido, o que se traduzirá pelo contínuo rebaixamento da superfície potenciométrica, conforme exemplificado na Figura 9.12.

Um aumento da recarga (incluindo-se aí drenanças verticais a partir de níveis justapostos e/ou sotopostos) e/ou diminuição da descarga natural, virão propiciar excedentes de água ao sistema, os quais contribuirão para a descarga dos poços, fazendo diminuir as perdas do armazenamento. No limite, se esses excedentes de água se tornassem iguais aos da descarga bombeada, cessariam as perdas do armazenamento e um novo equilíbrio dinâmico estaria estabelecido.

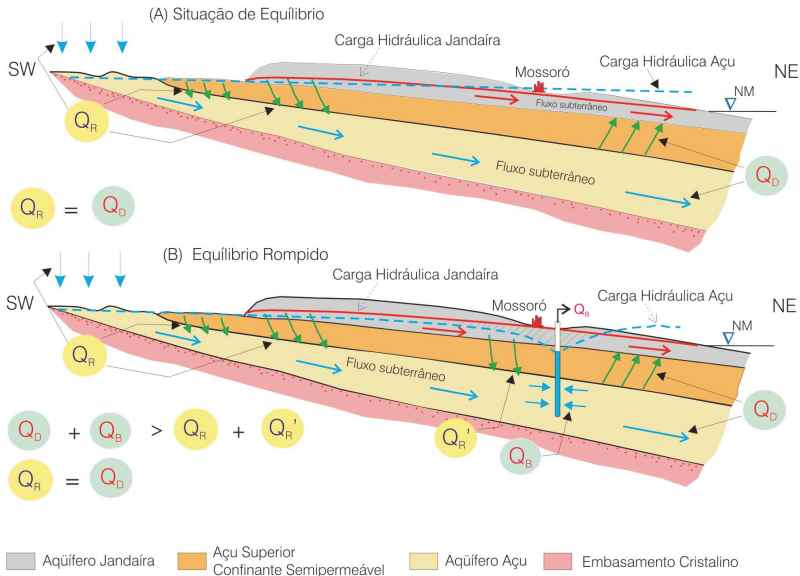


Figura 9.12 Modelo esquemático do comportamento hidráulico de aquíferos confinados durante a exploração. O exemplo mostra a situação do aquífero Água na região de Mossoró, RN. (A) Antes de iniciada a exploração o sistema estava em equilíbrio com a recarga (Q_R) igual à descarga (Q_D). (B) A vazão extraída pelos poços (Q_B), representa um incremento adicional na descarga. No caso, mesmo com um aumento da recarga devido a uma drenagem vertical descentente (Q_R'), proveniente do Jandaíra, em função de uma zona de inversão de carga provocada pelo bombeamento (zona hachurada), o volume das descargas supera o das recargas, provocando desequilíbrio. Como as condições hidráulicas nas zonas de recarga e descarga permanecem inalteradas, os volumes de recarga e descarga natural continuam sendo os mesmos ($Q_R = Q_D$). Portanto, o volume adicional de água sai do armazenamento do aquífero, refletindo nos níveis potenciométricos que evoluem continuamente no tempo (Feitosa et al., 2008)

A despeito da simplicidade do raciocínio acima é muito difícil negar que essas são, realmente, as condições que prevalecem em aquíferos confinados de porte regional, mesmo porque elas vêm sendo demonstradas pela experiência adquirida em vários mananciais desse tipo, submetidos à exploração prolongada.

Assim, não se deve esperar, em princípio reposições das descargas bombeadas dentro de prazos que possam ser considerados viáveis; em contrapartida, são também remotos efeitos generalizados nos corpos de água superficiais. Neste panorama geral qualquer bombeamento de água subterrânea acarreta retirada do armazenamento, o que significa dizer que a exploração de aquíferos confinados deve ser considerada, em princípio e para efeitos de gestão, como se fazendo em regime de exaustão.

Neste caso considera-se sensato e realista, portanto, conceituar potencialidade como sendo os recursos renováveis, mesmo que de longo prazo, mais um percentual das reservas. Ao contrário do que sucede no caso dos aquíferos livres cabe aqui, às reservas, o papel principal na quantificação da potencialidade sendo muito pequena a participação dos recursos renováveis. O percentual das reservas incluído na potencialidade, não pode ser definido de antemão, uma vez que depende de inúmeros fatores, os quais só podem ser conhecidos e quantificados após certo tempo de monitoramento das respostas do aquífero ao bombeamento. Sua definição passará sempre pela complexa decisão de até onde o aquífero poderá ser exaurido e pela eleição de um ritmo conveniente de exaustão, em função dos condicionantes hidrogeológicos, sociais, econômicos e legais do contexto. Felizmente, entretanto, as grandes dimensões desses reservatórios subterrâneos permitem, muitas vezes, projetar alcances de 50 ou mais anos, ao longo dos quais se torna possível recompensar os investimentos efetuados. No caso aqui analisado dos aquíferos confinados a potencialidade é, também, e com mais forte razão, uma variável de decisão cuja quantificação deve sofrer inevitavelmente reavaliações ao longo do processo, na medida da evolução do conhecimento do sistema aquífero.

9.4.5 Recursos disponíveis ou disponibilidade

Na avaliação dos recursos hídricos subterrâneos de um aquífero a situação mais comum é aquela em que já existe exploração significativa. Nessas condições e conforme propõe Costa (1998), há de se considerar a descarga já sendo retirada, definida como disponibilidade e que envolve dois tipos: disponibilidade efetiva e disponibilidade instalada.

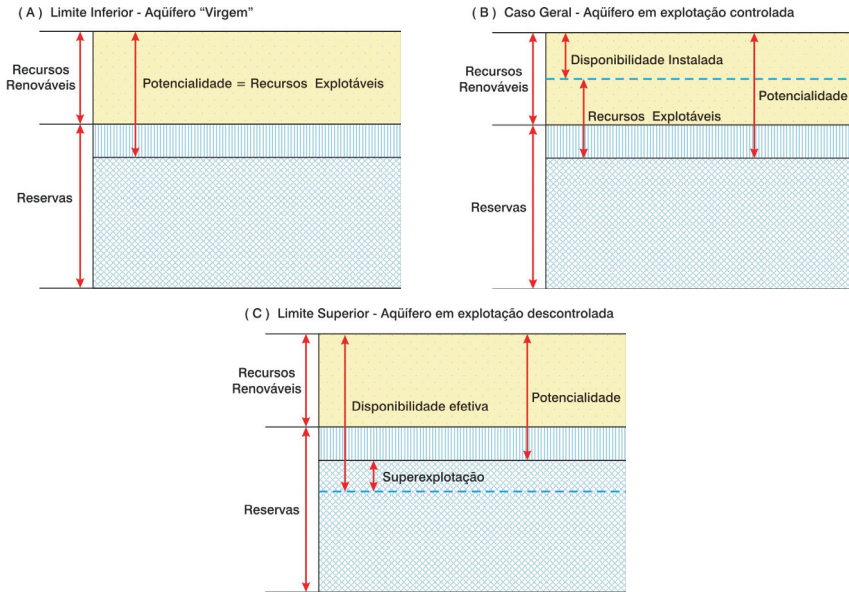
Disponibilidade efetiva: é definida como a descarga anual efetivamente bombeada no momento considerado, estimada através do recenseamento das captações existentes em funcionamento, na área do aquífero em estudo. Esta disponibilidade, assim definida, é simplesmente um número variável no tempo resultante de uma constatação de ordem prática e objetiva, isto é, o número de poços existentes e suas produções observadas. Esta descarga real, assim constatada, é sumamente importante na elaboração de balanços hídricos e na calibração de modelos de fluxo. A disponibilidade efetiva pode variar entre zero, na ausência de captações, e um máximo igual à potencialidade tendo esta última, como limite superior, a disponibilidade efetiva é uma descarga sustentável por definição, devendo crescer com o tempo na medida em que novos poços sejam perfurados, acompanhando o crescimento da demanda. Aquela fração da disponibilidade efetiva que eventualmente exceda a potencialidade, deve ser considerada superexploração.

Disponibilidade instalada: é definida como a descarga possível de ser obtida a partir das captações existentes no aquífero em estudo, considerando-se o bombeamento em regime contínuo.

9.4.6 Recursos exploráveis

Como a disponibilidade instalada representa certo percentual da potencialidade, é forçoso admitir a diferença entre esta e aquela, como a descarga adicional que ainda pode ser utilizada. A esta diferença será atribuída a designação de recursos exploráveis que, tal como definidos podem, evidentemente, variar entre um máximo equivalente à potencialidade, em regiões virgens, e zero, quando a exploração já estiver consumindo esta potencialidade.

Para finalizar é apresentada a Figura 9.13, esquemática, que não pretende representar um corte vertical em um aquífero mas tão somente prover uma visualização das relações existentes entre os quatro recursos e entre esses e as reservas. A posição da linha tracejada em azul, na figura, é arbitrária, indicando a existência de determinada disponibilidade instalada que pode variar de zero, na inexistência de captações, até um máximo equivalente à potencialidade.



Fonte: Feitosa et al. (2008)

Figura 9.13 Conceitos de reservas e recursos de água subterrânea. (A) Situação antes de iniciar a exploração: a potencialidade, definida como os recursos renováveis mais determinado percentual das reservas, representa os recursos exploráveis. (B) Situação após o início da exploração: os recursos exploráveis são definidos como a potencialidade menos a disponibilidade instalada, que representa a descarga potencial que pode ser extraída do aquífero através das captações existentes. (C) Situação crítica: a disponibilidade efetiva, que representa o volume real de água extraído do aquífero, ultrapassou a potencialidade ficando estabelecida a condição de superexploração

9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As normas legais que devem reger a utilização e a gestão das águas subterrâneas no Brasil, estão inseridas na Política Nacional de Recursos Hídricos a qual, juntamente com o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, foi instituída pela Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

A Agência Nacional de Águas - ANA, por sua vez, foi criada pela Lei Federal nº. 9.984, de 17 de julho de 2000 e instalada em dezembro de 2000, como entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, produziu as resoluções 15/2001 e 22/2002, cujos tópicos mais diretamente ligados à água subterrânea, são resumidos a seguir.

Resolução 15/2001, de 11 de janeiro de 2001: considera que as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, são partes integrantes e indissociáveis do ciclo hidrológico e que sua exploração inadequada pode implicar em redução da capacidade de armazenamento dos aquíferos e redução dos volumes disponíveis nos corpos de água superficiais. Em função dessas considerações apresenta, entre outros, os seguintes artigos:

“Art. 2º - Na formulação de diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos deverá ser considerada a interdependência das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.”

“Art. 3º - Na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos deverão ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.”

Resolução 22, de 24 de maio de 2002: busca normatizar e orientar a elaboração dos planos de recursos hídricos.

“Art. 2º - Os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.”

Os tópicos da legislação da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Agência Nacional de Águas, acima enfocados, simplesmente ratificam, no cenário institucional e legal, a lei maior da Natureza, que determina uma absoluta indissociabilidade das águas subterrâneas e superficiais. Dessa indissociabilidade segue-se de imediato, como corolário, a consideração de que é impossível gerir águas superficiais sem levar em conta as águas subterrâneas e, da mesma forma, não se pode fazer gestão de aquíferos sem contabilizar descargas de rios e volumes de corpos de água superficiais em geral. Em termos mais corriqueiros, isto é o que se chama comumente de gestão integrada dos recursos hídricos que representa, no Brasil, uma meta a ser ainda alcançada.

No cenário institucional/administrativo, por sua vez, os aspectos legais acima enfatizados preconizam sabiamente que a gestão integrada dos nossos recursos hídricos deve ser conduzida pela Agência Nacional de Águas – ANA, de forma descentralizada, em articulação com os órgãos gestores estaduais.

Deve ser acrescentado, na discussão dessa questão, que o surgimento, nos últimos 15 anos, de um arcabouço legal e institucional – que já dá algumas mostras de estabilidade – não se limita à esfera federal. Órgãos gestores estaduais e legislações estaduais de recursos hídricos surgiram e continuam a surgir nos Estados da Federação, em sua maioria ainda muito frágeis mas que, indiscutivelmente, compõem, juntamente com o órgão gestor central, a malha inicial requerida para deflagrar um processo integrado e harmônico de gestão dos recursos hídricos nacionais.

Neste panorama geral não se pode esquecer de que as águas subterrâneas, sendo legalmente de domínio dos Estados, naturalmente a esses cabe o direito de conceder a outorga deste recurso hídrico e a correspondente cobrança pela sua utilização. Em contrapartida se investem os mesmos Estados da responsabilidade de produzir o necessário conhecimento dos seus reservatórios subterrâneos, de modo a possibilitar, em futuro que se deseja próximo, sua efetiva gestão. Cabe, entretanto, à ANA como órgão gestor central, a importante missão, prevista na legislação, de induzir e harmonizar nacionalmente a atuação dos órgãos gestores estaduais, fortalecendo-os, ampliando e capacitando suas equipes técnicas, zelando pela elevação do nível dos estudos hidrogeológicos e buscando padronizá-los.

Enfim, toda e qualquer exploração de água subterrânea deve ser, naturalmente, precedida e acompanhada de um programa permanente de estudos que deve incluir, fundamentalmente, o monitoramento permanente das descargas extraídas e dos níveis da água nos aquíferos. Esta atividade e a contínua análise dos dados obtidos representam, em última análise, a única maneira de se poder avaliar a resposta dos aquíferos aos bombeamentos e de se fazer a correção adequada dos rumos da exploração ao longo do tempo. É, em suma, a única forma de se fazer a gestão desse recurso hídrico posto a serviço da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral. Mapa hidrogeológico do Brasil. v.1 e 2, Escala: 1:2.500.000. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 1981.
- Costa, W. D. Hidrogeologia. In: Pernambuco. Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente. Plano de recursos hídricos de Pernambuco. v.3, Recife: SECTMA/ Diretoria de Recursos Hídricos, 1998. 375p.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil. Escala 1:2.500.000. Salvador: CPRM, 2007. CD ROM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>
- CPRM/UFCE - Serviço Geológico do Brasil; Universidade Federal do Ceará. Projeto comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro / hidrogeologia da porção oriental da bacia sedimentar do Araripe. Fortaleza: CPRM, 2008a. CD-Rom. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>

- CPRM/UFC - Serviço Geológico do Brasil; Universidade Federal do Ceará. Projeto comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro / hidrogeologia da bacia sedimentar de Lavras da Mangabeira. Fortaleza: CPRM, 2008b. CD-Rom. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>
- CPRM/UFCG - Serviço Geológico do Brasil; Universidade Federal de Campina Grande. Projeto comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro / hidrogeologia da bacia sedimentar do Rio do Peixe. Fortaleza: CPRM, 2008. CD-Rom. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>
- CPRM/UFPE - Serviço Geológico do Brasil; Universidade Federal de Pernambuco. Projeto comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro / hidrogeologia da bacia de Jatobá – Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá. Fortaleza: CPRM, 2008. CD-Rom. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>
- Custodio, E. Hydrogeological and hydrochemical aspects of aquifer overexploitation. In: Simmers, I.; Villarroya, F.; Rebollo, F. L. (ed.) Aquifer overexploitation: selected papers. Hannover: International Association of Hydrogeologists, v. 3, p. 3-28, 1993.
- Custodio, E. The complex concept of overexploited aquifer. Madrid: Fundación Marcelino Botín, 2000. 62p. Papeles del proyecto de aguas subterráneas. Serie A. Uso intensivo das águas subterráneas, 2
- Custodio, E. Aquifer overexploitation: What does it mean? Hydrogeology Journal, v. 10, p. 254-277, 2002.
- Custodio, E.; Llamas, M. R. Hidrología subterránea. 2 v. 2. ed. Barcelona: Ed. Omega. 1983.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe. Recife: DNPM. 1996.100p.
- Feitosa, E. C. A exploração do aquífero Açú na região de Mossoró: Caracterização da situação atual e perspectivas de atendimento da demanda futura. Rio de Janeiro: CPRM. 1996. 44 p. Relatório Inédito
- Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. Os aquíferos Cabeças e Serra Grande no vale do Gurguéia: Síntese dos conhecimentos e perspectivas de exploração. Recife: LABHID/UFPE. 2009. 58p. Relatório Inédito.
- Feitosa, E. C.; Feitosa, F. A. C. Metodologia básica de pesquisa de água subterránea. In: Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. (ed.) Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3. ed. Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p.179-207.
- Feitosa, E. C.; Manoel Filho, J.; Costa, W. D.; Feitosa, F. A. C.; Demetrio, J. G. A.; França, H. P. M. Avaliação de recursos hídricos subterráneos. In: Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. (ed.) Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3. ed. Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 661-671
- Feitosa, F. A. C. Estudo hidrogeológico do aquífero Cabeças no médio vale do rio Gurguéia/PI. Recife: Instituto de Geociências/UFPE. 2v. 1990. 466p. Dissertação Mestrado
- Feitosa, F. A. C. Compartimentação qualitativa das águas subterráneas das rochas cristalinas do Nordeste oriental. Recife: UFPE, Proposta de Tese de Doutorado, 2008. 19p. Inédito.

- Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3. ed. Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812p.
- Feitosa, F. A. C.; Vidal, C. Estudos hidrogeológicos de bacias sedimentares da região semiárida do Nordeste brasileiro. Proposta. Fortaleza: CPRM, 2004. 85p. Circulação Restrita
- Gaspar, M. T. P. Sistema aquífero Urucuia: Caracterização regional e propostas de gestão. Brasília: UNB, 2006. 135p. Tese Doutorado
- LABHID-UFPE/DNOCS – O aquífero Cabeças no vale do Gurguéia: Atualização dos conhecimentos. Recife: 1990. Relatório Inédito
- Lohman, S. W. Groundwater hydraulics. U.S. Geological Survey. Professional Paper, Washington, n. 708, p. 1-70, 1972.
- Manoel Filho, J. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural. São Paulo: USP, 1996. Tese Doutorado
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Águas subterrâneas: Programa de águas subterrâneas. MMA: 2001. 21p. Il.
- Möbus, G.; Silva, C. M. S. V.; Feitosa, F. A. C. Perfil estatístico de poços no cristalino cearense. Anais... Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, 3. Recife, 1998.
- Peixinho, F. C.; Feitosa, F. A. C. Água é vida. In: Silva, C. R. da. (ed.) Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro Rio de Janeiro: CPRM, 2008 p. 57-64
- Ribeiro, J. A.; Feitosa, F. A. C. Ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas - Região de Irauçuba, CE. Fortaleza: CPRM, 2000. 45p. Relatório Inédito
- Sophocleous, M. The origin and evolution of safe yield policies in the Kansas Groundwater Management Districts. Natural Resources Research, v.9, n.2, p.99-110, 2000.
- WECD - World Commission on Environment and Development. Our common future. (Bruntland Commission). Oxford: Oxford University Press, 1987. n.4. 400p.

Gestão das águas de pequenos açudes na região semiárida

José C. de Araújo¹

¹ Universidade Federal do Ceará

- 10.1 Introdução
- 10.2 Especificidades da região semiárida do Brasil
 - 10.2.1 Aspectos históricos e políticos
 - 10.2.2 Aspectos hidrológicos
 - 10.2.3 Disponibilidade de água
 - 10.2.4 O problema da multiplicidade de pequenos açudes
- 10.3 Usos do solo e da água e geração de conflitos em pequenos sistemas
 - 10.3.1 Bacias urbanas e periurbanas
 - 10.3.2 Bacias rurais
- 10.4 Diretrizes para a gestão das águas de pequenos açudes
 - 10.4.1 Organização e participação dos usuários
 - 10.4.2 Implantação dos instrumentos de gestão
 - 10.4.3 Instrumento complementar ao enquadramento dos corpos hídricos
- 10.5 Considerações finais
- 10.6 Agradecimentos
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Gestão das águas de pequenos açudes na região semiárida

10.1 INTRODUÇÃO

O século XXI trouxe um novo paradigma para a convivência com a região semiárida e com as secas: a gestão das águas a partir de uma visão integrada da bacia hidrográfica. Esta nova abordagem, que complementa e substitui a então hegemônica visão “engenheirística” de ampliação da infraestrutura, coloca temas como participação social, gestão da demanda, uso múltiplo e qualidade das águas, na ordem do dia. Nas duas primeiras décadas (1990 a 2010) de efetivação da nova política foram priorizados os grandes sistemas hídricos, mesmo no semiárido brasileiro. No entanto há, aí, dezenas de milhares de pequenos sistemas ainda não integrados ao novo paradigma, pois não foram contabilizados nos planos de bacias; suas águas não foram enquadradas nem outorgadas; não há informações disponíveis sobre seus sistemas nem seus usuários têm representação nos comitês de bacias.

Essencialmente, este capítulo objetiva levantar o debate sobre a necessidade de as autoridades e a sociedade, como um todo, assumirem a tarefa de implantar um efetivo processo de gestão das águas dos pequenos sistemas. Este capítulo foi concebido da seguinte forma: após uma apresentação das especificidades da região semiárida, onde se consideram os aspectos históricos e hidrológicos, são apresentados casos de pequenos sistemas nos quais ocorrem conflitos pelo uso da água o que, por si só, depõe pela necessidade de gestão. Com base nas reflexões e nos casos apresentados, elaboram-se propostas para a gestão dos pequenos sistemas e, por fim, se apresentam as considerações acerca do tema. Ao final, listam-se mais de 40 textos bibliográficos nacionais e internacionais que, espera-se, sejam úteis aos leitores que desejem se aprofundar no tema.

10.2 ESPECIFICIDADES DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL

A região semiárida brasileira localiza-se na porção nordeste, com área de aproximadamente 1 milhão de km² e população estimada em 25 milhões de habitantes. A delimitação mais corrente da região é o chamado ‘polígono das secas’, que abrange

nove estados, ou seja, todos do Nordeste (exceto o Maranhão) mais uma parte do estado de Minas Gerais. O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é Bs; grande parte (75%) de seu embasamento é cristalina, composto de granito, gnaisse e mica-xisto. A vegetação é formada principalmente pela Caatinga (‘mata branca’, em Tupi-Guarani), composta por uma densa mistura de árvores e arbustos (majoritariamente caducifólios), assim como por cactos. A região, que é bastante suscetível a secas intensas e prolongadas apresenta, historicamente, os piores indicadores sociais do País (Aragão Araújo, 1990; Frischkorn et al., 2003; Mamede, 2008; Araújo e Gonzalez Piedra, 2009).

10.2.1 Aspectos históricos e políticos

O semiárido brasileiro está compreendido quase integralmente na região Nordeste do país, de modo que existe uma identificação significativa entre as duas. Sales (1999) trata com detalhes os processos de ocupação e uso da terra no Nordeste, assim como os processos que estabeleceram o poder político e econômico na região. Durante séculos as principais ocupações do semiárido foram o binômio gado – algodão, além da agricultura de subsistência. Na segunda metade do século XX este perfil passa por alterações porém o caráter centralizador das decisões e a exclusão social, política e econômica de grande parte dos trabalhadores (principalmente os trabalhadores rurais), permaneceram. Apesar disso, vários movimentos de trabalhadores rurais (Liga Camponesa e Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST), para citar alguns) se apresentaram como resistência ao *status quo*, tendo a reforma agrária como base para a superação do modelo econômico e político estabelecido, visando à melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores, mormente dos camponeses (Brito, 2006).

Do ponto de vista institucional surge, ao final do século XIX, um programa do Governo Federal para o “combate às secas”, com a construção de diversos reservatórios superficiais, sendo a construção do açude Cedro (delongada por mais de duas décadas e concluída em 1906), um marco da nova fase. Esta fase, denominada “solução hidráulica” consiste, prioritariamente, na construção de uma ampla rede de reservatórios de todos os tamanhos, de modo a melhorar a oferta de água nos períodos críticos. Para viabilizar o novo programa cria-se o Instituto Nacional (depois transformado em Departamento: IOCS, IFOCS, DNOCS), com sede no Nordeste, especificamente para lidar com a questão do semiárido e das secas, cuja função primordial é planejar ações de engenharia e de gestão para melhorar a convivência das populações com o ambiente semiárido (Aragão Araújo, 1990). Quanto à legislação das águas, é importante registrar que a lei federal de 1931 praticamente ignorava a região semiárida, uma vez que seu alvo central era a geração de energia hidroelétrica. A nova lei federal, de 1997, por preconizar o uso múltiplo das águas, a gestão participativa e a implantação de instrumentos de gestão, contempla (ainda que parcialmente) o semiárido, inaugurando uma nova era no trato da água para a região. Tanto isto é fato que o Ceará promulgara sua lei de águas cinco anos antes, com os mesmos princípios da legislação federal.

Entre o final do século XIX e o início do século XXI o perfil hidrológico do semiárido brasileiro mudou significativamente devido, sobretudo, às intervenções concebidas na “solução hidráulica”. Tal abordagem, que em princípio se limitava a ações dos governos (sobretudo do Governo Federal) contou, com o tempo, com a adesão de fazendeiros, comunidades e governos locais. Ao longo do século XX o DNOCS estabeleceu um extenso programa de cooperação para a construção de pequenas barragens, segundo o qual os proprietários de terra cederiam uma área de sua propriedade para a construção do açude, feito com recursos do Governo Federal. Como se trata de bem público, tanto os proprietários quanto os moradores circunvizinhos teriam acesso à água. Para o DNOCS, haveria uso mais racional dos recursos financeiros pois não seria necessário pagar a indenização das terras inundadas. O programa, no entanto, não ampliou o acesso à água para as populações do semiárido, visto que, na grande maioria dos casos, o acesso ao açude nunca foi permitido, exceto aos proprietários, que se consideram os legítimos ‘donos’ da água armazenada em suas terras. Estabelece-se, assim, uma relação direta entre a propriedade fundiária e o acesso à água na região. No entanto, a população passa a ver os benefícios dos pequenos e micro açudes (abastecimento humano e animal, irrigação de vazante, lavagem de roupa etc.) e demanda a construção de novos reservatórios às autoridades locais, onde o acesso seja público. O açude se torna, então, uma moeda política de grande valia e o barramento dos rios passa a ser realizado em taxas crescentes, ao longo do século XX. Segundo Malveira et al. (2009), na bacia do Alto Jaguaribe, CE, o número de açudes oficiais cresceu de 2 para 130, no século passado, embora tal construção ocorra sem qualquer planejamento integrado, gerando uma rede de dezenas de milhares de açudes que acarretam sérios impactos à disponibilidade e à gestão das águas, como será discutido adiante.

10.2.2 Aspectos hidrológicos

A região semiárida é conhecida por sua escassez de água, principalmente nos graves períodos de estiagem. É comum ver referências aos baixos índices pluviométricos e à grande concentração das chuvas em poucos meses do ano, como as principais causas dessa escassez. No entanto, a argumentação não procede, como se mostra a seguir. As precipitações médias na região variam de 550 a 850 mm anuais, o que é igual ou superior à precipitação em grande parte da Europa, por exemplo. A grande diferença entre essas regiões (Europa e semiárido brasileiro) reside principalmente nas trocas de água com a atmosfera e nas características de seus solos. Na Europa a evaporação potencial é da mesma ordem de grandeza da precipitação, enquanto no semiárido ela pode ser quatro vezes superior (2.550 mm anuais, Araújo & Gonzalez Piedra, 2009), sendo a evaporação real da ordem de 450 a 700 mm anuais. Como as precipitações são concentradas em cerca de quatro meses ao ano, há excedente hídrico nesses meses, possibilitando seu aproveitamento; então, caso as precipitações no semiárido ocorressem continuamente, o excedente da chuva seria próximo de zero, fazendo da região um deserto.

O solo da região semiárida, comumente raso e com baixa capacidade de retenção de água, é fundamental para a compreensão do comportamento hidrológico em suas bacias. O solo é, em geral, o mais importante reservatório hídrico de uma bacia, capaz de armazenar água nos momentos de excesso de chuva (reduzindo as cheias) e de repor a água armazenada nos rios durante os períodos de estio (reduzindo as secas). Sua ausência (ou insuficiência) aumenta cheias e secas: por exemplo, durante um evento chuvoso extremo o solo rapidamente se satura, aumentando a vazão escoada e, portanto, a cheia; apesar disto, logo após o evento a pouca água armazenada já terá escoado e os rios secarão, permanecendo secos até o próximo evento. Isto explica, em parte, a intermitência dos rios da região (no Ceará, todos os rios são intermitentes, inclusive o Jaguaribe, que drena uma área de quase 75.000 km²). Para exemplificar a diferença entre bacias semiáridas e as demais, comparem-se os casos da bacia experimental de Aiuaba (semiárida, no Ceará, 12 km²; Medeiros et al., 2010) com os da bacia de Itacolomi (temperada, em Minas Gerais, 2 km²; Araújo, 1995). O riacho semiárido seca em, no máximo, seis horas após o final das chuvas, enquanto o riacho mineiro apresenta ‘meia vida’ de 3,5 meses, isto é, após três meses e meio sem chuva sua vazão ainda é a metade daquela medida logo após a última precipitação.

Outro aspecto que não pode ser desprezado é a ocorrência frequente de secas na região, muitas das quais com duração de vários anos, como foi o caso do quinquênio 1979 – 1983. Considerando-se que o escoamento nos rios está relacionado com as chuvas por uma potência de, pelo menos, dois ($\alpha \geq 2$; Eq. 1), pode-se avaliar que um ano com precipitação igual à metade da média histórica gerará, no máximo, um quarto da vazão média histórica, causando uma situação crítica de estresse hídrico e queda sensível de qualidade das águas superficiais.

$$\frac{Q(t)}{Q_0} \approx \beta \left(\frac{H(t)}{H_0} \right)^\alpha$$

em que:

- Q(t) - vazão no ano ‘t’;
- Q₀ - vazão média histórica;
- H(t) - precipitação no ano ‘t’;
- H₀ - precipitação anual média;
- ‘α’ e ‘β’ - são parâmetros.

Uma das fontes hídricas mais frequentes em todo o mundo, são os aquíferos. No entanto, por sua prevalência de embasamento cristalino, a maior parte da região semiárida brasileira dispõe de poços com vazão reduzida (1 a 2 m³ h⁻¹, na média; muitos secam com poucos meses de uso) com qualidade de água frequentemente inferior àquela necessária para seu uso, em razão principalmente da salinidade elevada (Voerkelius et al., 2003).

Portanto, por contar apenas com rios intermitentes e com recursos subterrâneos limitados, a principal fonte hídrica da região tem sido os açudes, capazes de armazenar o excedente de água nos meses úmidos para seu uso nos meses (e anos) de estio. Este tema será discutido a seguir, mais profundamente.

10.2.3 Disponibilidade de água

A disponibilidade hídrica deve ser avaliada como função da garantia de oferta, normalmente tomada em passo anual (Campos, 1987; 1996; McMahon & Mein, 1986). No caso do semiárido brasileiro, a garantia associada de planejamento é, em geral, de 90% anuais; em números médios, as bacias semiáridas escoam entre 6 e 12% da precipitação anual e os reservatórios disponibilizam entre 25 e 50% da vazão afluente ao açude (Araújo & Gonzalez Piedra, 2009). Isto posto, a disponibilidade *in situ*, isto é, no açude, deve situar-se entre 1,5 e 6% da precipitação na bacia. Considerando-se que as perdas no sistema entre o açude e o usuário sejam de um quarto da água aduzida, pode-se estimar a disponibilidade efetiva da água superficial entre 1 e 4,5% da precipitação, ou seja, algo entre 5 e 35 mm anuais. Para maiores detalhes sobre a hidrologia de pequenos açudes no semiárido, recomenda-se a leitura de Molle & Cadier (1992) e de Campos (1996).

Visando a uma avaliação mais clara da limitada disponibilidade hídrica na região semiárida, Araújo & Gonzalez Piedra (2009), analisaram comparativamente duas pequenas bacias tropicais, uma no semiárido brasileiro e outra na úmida região cubana. Ambas as bacias são semelhantes no tamanho, na evaporação potencial, na temperatura e no relevo, diferenciando-se, essencialmente, na pluviometria média que, em Cuba, é o dobro da observada no semiárido. Os autores concluíram que 73% da vazão afluente aos reservatórios da bacia úmida estão disponíveis (com 90% de garantia), enquanto esta cifra é de apenas 28% na bacia semiárida. Em síntese, a disponibilidade hídrica específica (isto é, por unidade de área) na bacia úmida, é 14 vezes superior àquela da bacia semiárida.

Diversos fatores podem reduzir a disponibilidade hídrica dos reservatórios superficiais e, ao menos por este motivo, devem ser alvo de atenção da população e das autoridades. Entre esses fatores se destacam assoreamento, poluição, derivação de água e construção de múltiplos reservatórios a montante. A seguir, esses processos serão discutidos caso a caso.

Araújo et al. (2006), após proporem método para estimar o impacto do assoreamento sobre a disponibilidade hídrica de açudes e o aplicarem a sete bacias semiáridas, avaliaram que o assoreamento afeta consideravelmente sua vazão disponível. Os dois principais processos responsáveis por esta redução são a mudança morfológica do lago para formas mais abertas (o que incrementa as perdas por evaporação) e a redução do volume de espera na estação úmida (o que incrementa as perdas por extravasamento). Os valores medidos indicaram redução volumétrica, por década, superior a 5% nos açudes urbanos e de quase 2% nos açudes rurais indicando, nos casos mais graves, que a probabilidade de escassez hídrica pode dobrar em cinco

décadas, apenas em função do assoreamento. Os autores *op. cit.* estimam que o estado do Ceará perca, anualmente, mais de 300 L s^{-1} de vazão disponível (garantia anual de 90%) em virtude do assoreamento de seus reservatórios. Além do aspecto puramente quantitativo, os sedimentos impactam também a qualidade das águas armazenadas, haja vista que reduzem a zona eufótica e trazem aderidos constituintes, como nutrientes e agrotóxicos, entre outros.

Água poluída é água indisponível. Portanto, a busca por informações e soluções sobre a poluição das águas ajuda significativamente a elaboração de políticas hídricas consistentes. Entre as formas mais comuns e preocupantes de poluição das águas do semiárido brasileiro está a eutrofização (Figueiredo et al., 2007; Datsenko et al., 1999; Araújo, 2000), causada sobretudo pela presença maciça e irrestrita de gado na bacia hidráulica dos reservatórios. Uma das mais graves consequências da eutrofização é a geração de Trihalometanos (THM) nas águas tratadas. Viana et al. (2009), por exemplo, estudaram a ocorrência de THM na água tratada de Fortaleza, que é abastecida fundamentalmente por açudes localizados na região semiárida do estado, mostrando os riscos que essas substâncias causam à saúde humana.

Outro fator que deve ser objeto de atenção é a derivação de água à montante dos reservatórios estratégicos. Van Oel et al. (2008), analisaram esse fenômeno a montante do açude Orós, demonstrando sua importância.

Por fim, a construção de múltiplos açudes à montante dos sistemas já existentes, pode impactar severamente sua disponibilidade hídrica. Para exemplificar, o açude Jenipapo, construído à montante do açude Caxitoré (ambos na bacia do rio Curu, Ceará), é capaz de regularizar $7,6 \text{ hm}^3$ anuais; entretanto, após sua construção o açude Caxitoré reduz sua disponibilidade anual em $6,0 \text{ hm}^3$, o que significa que o novo açude (Jenipapo) impacta consideravelmente o açude a jusante (Caxitoré), incrementando apenas $1,6 \text{ hm}^3 \text{ ano}^{-1}$ à disponibilidade da bacia. A resolução do problema, quando se trata de milhares de micro e pequenos açudes é, no entanto, bastante complexa e será tema do próximo item.

10.2.4 O problema da multiplicidade de pequenos açudes

Como antes discutido, em virtude da baixa disponibilidade hídrica do semiárido associada, no caso brasileiro, à demanda elevada e crescente por água, a escassez hídrica tem sido abordada sobretudo através da construção de reservatórios, porém os micro e pequenos açudes, cuja capacidade de armazenamento não exceda 1 e 10 hm^3 , respectivamente, foram (e continuam sendo) construídos sem qualquer planejamento integrado, gerando um sistema caótico, de difícil gestão (Aragão Araújo, 1990; Lima Neto et al., 2011; Malveira et al., 2011).

A tendência de formação de densas redes de reservatórios superficiais também tem sido observada em outras partes do globo, como na Austrália (Nathan et al., 2005; Lowe et al., 2005; Pisaniello et al., 2006; Callow & Smettem, 2009); na China (Li & Wei, 2008); na Romênia (Rãdoane & Rãdoane, 2005); na Espanha (Verstraeten et al., 2003; de Vente et al., 2005; Mamede, 2008); nos Estados Unidos (Nicklow & Mays,

2008; Minear & Kondolf, 2009) e no Canadá (Teegavarapu & Simonovic, 2002).

Uma diferença importante desses sistemas e aquele encontrado no semiárido brasileiro é que, na maioria dos países, os reservatórios são de porte relativamente grande, planejados e dispostos em “cascatas”, enquanto no Brasil o sistema visa apenas a pequenos açudes, sem um arranjo planejado. Entre todos os sistemas o mais semelhante ao do Brasil é o da Austrália, como se constata nos trabalhos de Nathan et al. (2005) e de Lowe et al. (2005); no entanto, há algumas diferenças entre os dois países. A densidade de açudes é maior na Austrália mas, em sua grande maioria, a dos açudes australianos é muito pequena (2.000 m³ na média) se comparados aos brasileiros (430.000 m³ na média). Isto faz com que a densidade volumétrica (capacidade de armazenamento por unidade de área) da rede do semiárido brasileiro seja quase 25 vezes superior à australiana (Malveira et al., 2011).

Embora individualmente os pequenos açudes pouco interfiram nas variáveis hidrológicas, seu efeito cumulativo pode ser considerável nas conectividades hidráulica e sedimentológica (Callow & Smettem, 2009). Para melhor avaliar o impacto dessa rede sobre a disponibilidade de água no semiárido, o grupo de pesquisas hidrossedimentológicas Hidrosed (www.hidrosed.ufc.br) vem investigando a bacia do Alto Jaguaribe (BAJ), no Ceará (Malveira et al., 2011; Lima Neto et al., 2011). A BAJ é uma bacia representativa do semiárido brasileiro, com quase 25.000 km² de área, que contava com quase 4.800 açudes no ano de 2010, segundo levantamento recente.

O trabalho de Malveira et al. (2011) avaliou o impacto dos pequenos açudes sobre a disponibilidade hídrica da bacia, tendo demonstrado que a rede afeta significativamente sua sustentabilidade hídrica (ver Hashimoto et al., 1982); que na década de 2000 o sistema da BAJ atingiu sua saturação; que os reservatórios médios (10 – 50 hm³) são os mais eficientes e que a rede otimizada tem tempo de residência de aproximadamente três anos. O estudo mostrou, também, que as redes que contam com reservatórios de todos os tamanhos apresentam maior eficiência não só hidrológica mas também energética. De fato, se os micro, pequenos e médios açudes não existissem, a água seria armazenada apenas em cotas mais baixas, demandando energia para disponibilizá-la nas comunidades a montante, em cotas mais elevadas. Por fim, a pesquisa ainda demonstrou o aspecto democrático dessa rede, pois possibilita o acesso à água por pequenas comunidades desprovidas de poder político que, dificilmente, teriam água à sua disposição, caso existissem apenas grandes reservatórios.

Complementarmente, Lima Neto et al. (2011), estudaram o impacto da rede de múltiplos açudes sobre o transporte de sedimentos. Os reservatórios, desde os menores, retêm sedimento, afetando sua conectividade e as variáveis sedimentológicas de toda a bacia. Demonstrou-se que ao menos três processos causados pela densa rede de açudes impactam a produção de sedimentos em grandes bacias: retenção direta de sedimento, erosão imediatamente a jusante dos açudes e rebaixamento das descargas de pico. Como há uma estreita relação entre o assoreamento e a redução na disponibilidade de água em bacias semiáridas (Araújo et al., 2006), esta avaliação tem

reflexo relevante sobre a sustentabilidade hídrica na região (Bolaane, 2000). Lima Neto et al. (2011) concluíram que os micro e pequenos açudes, retêm, juntos, 22% do sedimento produzido na BAJ e que os médios açudes retêm 30%, de modo que menos da metade dos sedimentos mobilizados entra nos grandes reservatórios. Portanto, sem essa rede de pequenos e médios açudes a taxa de assoreamento dos grandes reservatórios, que é da ordem de 2% por década (Araújo, 2003), seria pelo menos o dobro.

Um problema ainda não devidamente estudado mas de grande importância, é a segurança dos pequenos barramentos (Pisaniello et al., 2006). Comumente, toma-se conhecimento de ruptura de microbarragens, que geram uma onda de cheia (e de sedimentos) capaz de romper, em cadeia, outras barragens a jusante. Este processo, além de oferecer riscos à vida humana, afeta a infraestrutura hídrica da bacia, inclusive assoreando rapidamente outros açudes e/ou afetando a morfologia dos rios.

Era pensamento corrente que os pequenos açudes só apresentavam impactos negativos para a sustentabilidade hídrica do semiárido, isto porque, admitida a hipótese de que seriam hidrológicamente menos eficientes que os grandes reservatórios, esses causariam o aumento das perdas por evaporação sem trazer benefícios equivalentes. Apesar disto, as pesquisas têm demonstrado que esta complexa rede de reservatórios de diversos tamanhos apresenta, simultaneamente, desvantagens e vantagens; entre as desvantagens constam o incremento das perdas por evaporação, o risco de ruptura em cadeia e o aumento da complexidade do sistema a ser gerido, e entre as vantagens estão o armazenamento de água nos meses úmidos, a retenção de sedimentos, a maior eficiência energética e a maior democratização no acesso à água.

10.3 USOS DO SOLO E DA ÁGUA E GERAÇÃO DE CONFLITOS EM PEQUENOS SISTEMAS

Neste item serão abordados exemplos de pequenos sistemas hídricos do semiárido cearense, particularmente seus usos e os conflitos gerados por usos incompatíveis.

10.3.1 Bacias urbanas e periurbanas

O primeiro exemplo é o do açude Santo Anastácio (Fortaleza). Construído em 1918, no Campus da Universidade Federal do Ceará, o açude foi alvo do estudo de diversos pesquisadores, entre os quais Soares (2003). No período da construção sua bacia era prioritariamente rural e seu uso fundamental o abastecimento da fazenda universitária. Entre as décadas de 1950 e 1980 a área foi intensa e densamente urbanizada sem qualquer planejamento, gerando aporte de material de construção ao lago, período em que começou também a ser relevante o aporte de resíduos sólidos e líquidos advindos das novas moradias que não dispunham de sistema de saneamento básico. A partir da década de 1990 a bacia se encontrava plenamente urbanizada e quase toda pavimentada, porém com sistema de saneamento inoperante (apesar de

existente), de modo que o aporte de dejetos se intensificou. Na época do estudo (início dos anos 2000), o lago se apresentava hipereutrófico, em avançado estado de assoreamento e com as águas impróprias para quase todos os usos. Além de sua função paisagística (seriamente prejudicada pelo aspecto desagradável de suas águas poluídas e pelos odores que eventualmente emite), os únicos usos atuais do lago são a diluição de efluentes de uma pequena estação de tratamento de esgotos e a pesca artesanal, praticada por cerca de 50 moradores de áreas circunvizinhas. Outro conflito gerado é o aumento do risco de inundação para as comunidades situadas a jusante, causado pelo incremento de áreas impermeabilizadas e pela canalização dos rios e riachos (ver, por exemplo, Mahé et al., 2005) A urbanização desordenada da bacia gerou, portanto, um conflito entre os habitantes da bacia e os usuários do lago, cuja água se encontra praticamente indisponível.

Távora (2010), estudou o caso de uma lagoa periurbana (Bouzerguim, em Itapipoca) cujo exutório é controlado por uma barragem. A lagoa, de grande beleza, foi usada por décadas como área de lazer comportando, inclusive, um hotel fazenda. Além de seu uso paisagístico a lagoa era destinada à recreação, à pesca e ao abastecimento humano. Há alguns anos as autoridades instalaram, em sua bacia hidrográfica, o ‘lixão’ e a estação de tratamento de esgotos (ETE) da cidade, impactando consideravelmente o corpo hídrico (Figura 10.1). Távora (2010), avaliou que a lagoa está contaminada e eutrofizada, motivo pelo qual suas águas perderam o atrativo paisagístico e recreativo (o hotel e as diversas casas de veraneio foram fechados), e mesmo os peixes perderam o valor comercial. O impacto foi de tal monta que os moradores da área se sentem

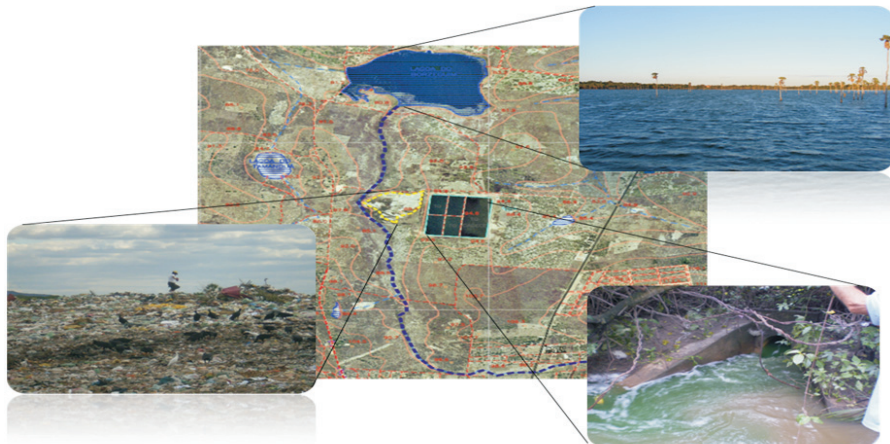


Figura 10.1 Bacia da Lagoa do Bouzerguim, Itapipoca, CE (Távora, 2010). Na figura, vê-se a lagoa (azul escuro); o rio principal (em azul pontilhado); o lixão da cidade (circundado de amarelo) e a Estação de Tratamento de Esgotos (retângulo escuro)

socialmente excluídos por morarem em região tão poluída. Em virtude de suas águas estarem tão comprometidas, seus únicos usos atuais são a lavagem de animais e carros, o despejo de lixo e esgotos. Percebe-se, neste caso, a existência de sério conflito entre as autoridades locais (responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos e líquidos) e a comunidade usuária da lagoa do Bourzeguim.

10.3.2 Bacias rurais

Os pequenos sistemas rurais também apresentam problemas e conflitos, como se vê no caso de um pequeno açude rural no município de Tejuçuoca (Datsenko et al., 1999). O açude tem suas águas usadas para pesca, dessedentação animal, abastecimento e irrigação. Nesta área, os conflitos são principalmente de ordem quantitativa, visto que os usuários de montante irrigam e pescam e, para obter maior garantia de sua produção, reduzem (ou mesmo proíbem) a retirada da água para jusante. Além disso, os usuários de montante permitem que o gado tenha acesso direto às águas, servindo de aporte de nutrientes e poluentes. Observe-se que há, para cada um dos quase mil habitantes da comunidade, uma cabeça de gado bovino, além de diversos outros tipos de animal com acesso direto ao lago, inclusive porcos. Existem, no entanto, outras comunidades a jusante que também dependem dessa água para seu abastecimento, com vistas à dessedentação animal e à irrigação complementar. A depender da comunidade de montante, as comunidades de jusante teriam água em quantidade insuficiente e com baixo padrão de qualidade, uma vez que o lago se encontra de eutrófico a hipereutrófico (Datsenko et al., 1999). Estabelece-se, portanto, o conflito entre usuários de montante e de jusante.

Ellery et al. (2010), realizaram pesquisa participativa na bacia do açude Paus Brancos, em Madalena; o açude tem diversos usos, em que o principal é o abastecimento humano, seguido da pesca e da dessedentação animal. O abastecimento humano do distrito de Paus Brancos é realizado após tratamento simplificado das águas do açude homônimo. No entanto, análises laboratoriais da água do açude e da água tratada pela ETA demonstraram não apenas que o açude se encontra eutrofizado mas, também, que a água ‘tratada’ é imprópria para consumo humano. Foram identificadas três importantes causas da poluição: o acesso de muitos animais à bacia hidráulica; o lançamento de esgotos provenientes das casas situadas próximas ao lago e a criação de porcos na área contígua ao lago, de modo que as encurradas carregam poluentes perigosos para o reservatório sem que sejam devidamente eliminados no tratamento. A atual forma de gestão das águas (excessivamente permissiva) demonstrou ser inadequada, criando conflito entre os usuários de montante e aqueles que são abastecidos pelas águas do açude (muitos habitantes pertencem simultaneamente aos dois grupos).

O último caso relatado é o do açude Canabrava, no município de Farias Brito (para alguns dados sobre o açude, ver Araújo, 2003). Durante muitas décadas sua bacia hidrográfica foi desmatada e usada para plantação de frutas e grãos. Além disso, o gado da propriedade tinha acesso irrestrito ao reservatório, porém no início da década

de 2000 o açude começou a apresentar sinais de eutrofização, levando seus gestores a optarem por práticas conservacionistas; primeiro, recuperaram a vegetação da bacia hidrográfica, inclusive a mata ciliar do açude; o gado passou, então, a ser abastecido em estruturas localizadas a jusante da parede do açude, não mais tendo acesso direto ao lago; por fim, as macrófitas vêm sendo continuamente retiradas e queimadas. Apesar das positivas e necessárias iniciativas dos gestores, o lago ainda não demonstra sinais de recuperação, embora o avanço das macrófitas esteja ocorrendo a taxas menores. Devido ao declínio na qualidade da água, o abastecimento humano (que historicamente era feito pela filtração da água do açude) teve que ser substituído por fontes externas, como cisternas de placa ou água engarrafada. Há, nesse caso, ‘conflito’ entre o modo histórico e o modo atual de gerir a bacia e suas águas. Demonstra-se, mais uma vez, que a eutrofização é um problema de primeira grandeza para as águas dos pequenos açudes do semiárido cuja solução é complexa e demorada.

10.4 DIRETRIZES PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS DE PEQUENOS AÇUDES

Admitindo-se a existência de sérios conflitos pelo uso da água nos pequenos sistemas semiáridos, como referido anteriormente e com base na Lei das Águas (9.433, de 8 de janeiro de 1997), propomos algumas diretrizes para a gestão das águas de pequenos açudes na região.

10.4.1 Organização e participação dos usuários

O primeiro desafio é organizar os diversos usuários da bacia, sem o que não há gestão efetiva. Silliman et al. (2008), relatam dificuldades e métodos para trabalhar conjuntamente as questões hidrológicas e sociais em escala internacional. Analogamente, Ellery et al. (2010), que vêm trabalhando em pequenas bacias semiáridas, identificaram diversos entraves à participação legítima e representativa de usuários, como pouco interesse dos atores, resistência à mudança de hábitos, dificuldade de comunicação e, muitas vezes, falta de instituições com credibilidade capaz de, efetivamente, executar as deliberações coletivas.

É necessário, portanto, organizar comissões de usuários locais que contemplem todos os grupos sociais que afetam a bacia, mesmo os que não sejam usuários diretos da água do sistema mas cujas atividades possam vir a afetar sua disponibilidade, como produção de sedimentos, derivação de água a montante do açude, despejo de poluentes ou aumento considerável da impermeabilização do solo, por exemplo. A comissão deve ser composta, prioritariamente, por representantes de instâncias organizadas, legítimas e previamente existentes (como sindicatos, grupos religiosos, grupos de defesa do consumidor, grupos de educação ambiental etc.), de modo a garantir maior legitimidade ao novo fórum. É fundamental, neste processo, um calendário adequado de reuniões e de eleições dos membros diretores.

Outra questão relevante é a necessidade de se realizar um trabalho que seja, simultaneamente, local e regional pois, embora a gestão seja de pequenos sistemas,

os comitês (como preconizado na Lei 9.433) são organizados por grandes bacias. Por esta razão, as comissões de pequenos sistemas devem estar articuladas de modo a garantir representação nas instâncias superiores, particularmente no comitê de bacia. Por fim, um amplo trabalho de educação ambiental deve ser realizado envolvendo todos os atores, em especial as escolas.

10.4.2 Implantação dos instrumentos de gestão

A Lei 9.433 preconiza a existência de cinco instrumentos de gestão que devem, também, ser contemplados no âmbito dos pequenos sistemas, como discutido a seguir.

O plano de bacia deve ser feito em dois níveis: da grande e da pequena bacia. O plano da grande bacia (aquela correspondente ao comitê) deve contemplar, necessariamente, a existência dos pequenos sistemas, sob pena de se distanciar da realidade. O plano da pequena bacia também deve ser elaborado de modo consistente, através de método científico, tanto do ponto de vista hidrológico (identificando potencialidades, problemas e apontando soluções e suas respectivas metas, inclusive recomendando tecnologias adaptadas ao semiárido: ver Silans, 2004; Ellery, 2010) quanto do ponto de vista institucional (incluindo as comissões dos pequenos sistemas).

A outorga, que deve obedecer às diretrizes gerais da Lei 9.433, seria concedida somente após uma avaliação criteriosa da disponibilidade hídrica, que deve estar contida no plano da pequena bacia. Para isto, devem ser usados modelos (uma vez que raramente há medidas das variáveis hidrológicas necessárias à análise em pequenas bacias) que tenham sido validados não só para a região mas, especificamente, para pequenas bacias da região, como é o caso do modelo AÇUMOD (Silans et al., 2000) ou do método L600 (Molle & Cadier, 1992). Para a aplicação confiável desses modelos, no entanto, faz-se oportuno aplicar um método robusto de regionalização dos parâmetros como, por exemplo, a mineração de dados.

A cobrança pelo uso da água pode ser implantada nos pequenos sistemas desde que venha a ser efetivamente um instrumento de gestão, não uma fonte de arrecadação ou uma forma de impedimento do acesso à água por grupos legítimos. Por este motivo, a cobrança tem que, necessariamente, ser decidida pelo conjunto dos usuários em assembleia representativa convocada para este fim; deve estar prevista nos planos da grande e da pequena bacia; deve ser função da outorga (quer de uso consuntivo, quer de uso não consuntivo, como a diluição de efluentes) e deve ser função, também, da capacidade de pagamento dos usuários (Ribeiro, 2010).

O enquadramento dos corpos hídricos deve considerar as especificidades da região semiárida, como a intermitência dos rios. Sabiá (2008), ao estudar o enquadramento do rio Salgado, no semiárido cearense, avaliou que um dos principais entraves à efetivação do instrumento é a necessidade de equiparação entre os padrões de emissão e os padrões de qualidade dos rios, que não dispõem de capacidade de diluição em pelo menos seis meses por ano. Para a superação desse impasse sugere-se que, para o semiárido, o foco não sejam os rios mas os reservatórios, de onde a

água é efetivamente derivada para consumo. Recomenda-se, também, que seja priorizado o combate à eutrofização dos reservatórios, considerada a mais severa patologia hídrica do semiárido brasileiro.

O sistema de informações deve ser o mesmo da grande bacia; no entanto, faz-se necessário incluir informações específicas sobre os pequenos sistemas cujas comissões estejam formadas e em funcionamento. A publicação mensal de um boletim (tanto no corpo de um jornal de circulação local quanto na forma de um folheto em separado) pode ser de grande valia no processo de comunicação da comissão com os usuários.

10.4.3 Instrumento complementar ao enquadramento dos corpos hídricos

Estudos recentes no semiárido brasileiro demonstram que grande parte de seus micro e pequenos açudes são usados prioritariamente para dessedentação animal, obrigando o abastecimento humano a ser realizado por fontes externas (cisternas de placa, por exemplo). Pode-se interpretar que, para alguns usuários, o maior benefício desses açudes seja a viabilização da pecuária extensiva, amplamente praticada na região. No entanto, como ficou demonstrado nos estudos de caso anteriormente citados, o livre acesso do gado aos reservatórios vem causando grandes prejuízos aos demais usos e usuários, problema que se torna mais grave quando o reservatório é usado para o abastecimento humano, ainda que a água esteja sujeita a tratamento.

Pelo exposto acima constata-se que, dificilmente, será encontrada uma solução única para todos os pequenos sistemas: se o gado tiver livre acesso ao reservatório, outros usos (principalmente o abastecimento humano) ficarão inviabilizados; se não tiver, a mais antiga e rentável atividade econômica do pequeno produtor da região (pecuária) poderá ficar igualmente inviabilizada. Uma possível solução seria o estabelecimento de critérios para agrupar os reservatórios em dois ou mais tipos, através de um instrumento complementar ao enquadramento dos corpos hídricos: sua tipificação. Dois tipos que se destacam no atual nível de conhecimento desse problema, são o 'açude do gado' e o 'açude das pessoas'. No primeiro caso o gado teria acesso à bacia hidráulica, porém suas águas estariam interditadas para uso humano, inclusive banho, enquanto no segundo caso o gado não teria acesso à bacia hidráulica, possibilitando o uso da água para fins mais nobres.

São necessários, entretanto, estudos mais aprofundados sobre esta proposta. As investigações devem abordar temas como: o impacto da qualidade das águas eutrofizadas sobre os demais açudes da bacia; os critérios para definição de cada tipo; os limites para acesso do gado (uso de indicadores que relacionem número de cabeças de gado por unidade volumétrica do reservatório, por exemplo) e a compatibilidade entre a tipificação proposta e aquela existente na Resolução CONAMA 357.

10.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido às peculiaridades da região semiárida os açudes se tornaram a fonte hídrica mais garantida e acessada pelos usuários. Por razões históricas e políticas

existem, atualmente, dezenas de milhares de micro e pequenos açudes na região afetando, positiva e negativamente, o desempenho hidrológico do sistema hídrico das grandes bacias. Entretanto, por se tratar de reservatórios superficiais os açudes são bastante vulneráveis, tanto sob a ótica quantitativa quanto sob a ótica qualitativa, razão por que não raramente se registram conflitos entre usuários de pequenos sistemas, quer urbanos, periurbanos ou rurais.

Assim sendo, constata-se a necessidade de gestão específica para esses sistemas. A proposta aqui levantada se baseia no paradigma da gestão democrática e participativa, tornando-se relevante a formação de uma comissão legítima e representativa de todos os usuários. Os cinco instrumentos preconizados na Lei Federal 9.433/1997 devem ser aplicados também aos pequenos sistemas porém com adaptações à escala de trabalho. No caso do enquadramento dos corpos d'água, advoga-se que a questão da intermitência dos rios semiáridos seja levada em consideração, de modo que a ênfase seja dada à qualidade das águas nos reservatórios, não nos rios e riachos. Por fim, propõe-se a atualização da Resolução CONAMA 357, através da tipificação de pequenos açudes da região semiárida, em função do acesso ou não do gado à bacia hidráulica dos açudes.

10.6 AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq, pelo apoio ao projeto “Biorremediação vegetal do esgoto domiciliar em comunidades rurais do semiárido: água limpa, saúde e terra fértil” (processo 577048/2008-2), que possibilitou não só a realização de pesquisa participativa mas também de ensaios laboratoriais, entre outros. Este manuscrito é, assim, parte integrante do Projeto “DISPAB-SA – Metodologias para definição da disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas da região semiárida do Brasil”, que conta com o apoio do MCT/FINEP/CT-HIDRO IGRH 01/2007.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão Araújo, J. A. Barragens do Nordeste do Brasil. 2. ed. Fortaleza: DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas, 1990.
- Araújo, J. C. de. Assoreamento em reservatórios do semiárido: Modelagem e validação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.2, p.39-56, 2003.
- Araújo, J. C. de. Riscos de eutrofização de pequenos açudes no semi-árido. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5, 2000. Natal: ABRH, 1, p.214-221.
- Araújo, J. C. de. Estudo hidrológico da micro-bacia do Itacolomi, Ouro Preto, MG. Relatório Técnico, ETFOP/UFOP, Ouro Preto, 1995.
- Araújo, J. C. de; Gonzalez Piedra, J. I. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. Hydrological Processes, v.23, p.169-178, 2009.

- Araújo, J. C. de; Güntner, A.; Bronstert, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.51, n.1, p.157-170, 2006.
- Bolaane, B. Towards sustainable management of scarce water resources in Botswana. *Water International*, v.25, n.2, p.246-252, 2000.
- Brito, L. Sociabilidade no assentamento rural de Santana: terra e trabalho na construção do ser social. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006. Tese Doutorado
- Callow, J. N.; Smettem, K. R. J. The effect of farm dams and constructed banks on hydrologic connectivity and runoff estimation in agricultural landscapes. *Environmental Modelling and Software*, v.24, p.959-968, 2009.
- Campos, J. N. B. A procedure for reservoir sizing in intermittent rivers under high evaporation rate. Fort Collins: Colorado State University, 1987. Ph. D. Thesis
- Campos, J. N. B. Dimensionamento de reservatórios: O método do diagrama triangular de regularização. Fortaleza: Ed. UFC, 1996.
- Datsenko, I. S.; Santaella, S. T.; Araújo, J. C. de. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes da região semi-árida. In: Congresso Brasileiro de Saneamento e Engenharia Ambiental, 20, ABES: Rio de Janeiro, 1999.
- de Vente, J.; Poesen, J.; Verstraeten, G. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, v.305, p.63-68, 2005.
- Ellery, A. E. L.; Araújo, J. C. de; Rigotto, R.; Araújo, L. B. C.; Wiegand, M. C.; Chaves, S. R. Produção do conhecimento de forma participativa: uma estratégia para além da transferência do conhecimento. *Interface. Comunicação, Saúde e Educação*, v.14, p.1-10, 2010.
- Figueiredo, M. C. B.; Teixeira, A. S.; Araújo, L. F. P.; Rosa, M. F.; Paulino, W. D.; Mota, S.; Araújo, J. C. de. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, p.399-409, 2007.
- Frischkorn H, de Araújo JC, Santiago MMF. 2003. Water resources of Ceará and Piauí. In: Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J. C. de. (ed.) *Global change and regional impacts*. Berlin: Springer-Verlag, p.87-94
- Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J. C. de. (ed.) *Global change and regional impacts*. Berlin, Springer-Verlag, 2003.
- Hashimoto, T.; Stedinger, J. R.; Loucks, D. P. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, v.18, n.1, p.14-20, 1982.
- Li, X.-G.; Wei, X. An improved genetic algorithm-simulated annealing hybrid algorithm for the optimization of multiple reservoirs. *Water Resources Management*, v.22, p.1031-1049, 2008. Doi 10.1007/s11269-007-9209-5
- Lima Neto, I. E.; Wiegand, M. C.; Araújo, J. C. de. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, 2011. (no prelo)

- Lowe, L.; Nathan, R.; Morden, R. Assessing the impact of farm dams on streamflows, Part II: Regional characterization. *Australian Journal of Water Resources*, v.9, n.1, p.13-26, 2005.
- McMahon, T. A.; Mein, R. G. *River and reservoir yield*. Littleton: Water Resources Publications, 1986, 368p.
- Mahé, G.; Paturol, J. E.; Servat, E.; Conway, D.; Dezetter, A. Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, v.300, n.1-4, 33-43, 2005.
- Malveira, V. T. C.; Araújo, J. C. de; Güntner, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. *Journal of Hydrological Engineering, ASCE*, 2011. (no prelo)
- Mamede, G. L. *Reservoir sedimentation in dryland catchments: Modelling and management*. Potsdam: Universität Potsdam, 2008. Doctorate Dissertation
- Medeiros, P. H. A.; Güntner, A.; Francke, T.; Mamede, G. L.; Araújo, J. C. de. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.55, p.636-648, 2010.
- Minear, J. T.; Kondolf, G. M. Estimating reservoir sedimentation rates at large spatial and temporal scales: A case study of California. *Water Resources Research*, v.45, p.1-8, 2009. Doi:10.1029/2007WR006703
- Molle, F.; Cadier, E. *Manual do pequeno açude*. Recife: Ed. SUDENE / ORSTON, 1992.
- Nathan, R. J.; Morden, R. Assessing the impact of farm dams on streamflows, Part I: Development of simulation tools. *Australian Journal of Water Resources*, v.9, n.1, p.1-12, 2005.
- Nicklow, J. W.; Mays, L. W. Optimization of multiple reservoir networks for sedimentation control. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.126, n.4, p.232-242, 2008.
- Pisaniello, J. D.; Zhifang, W.; McKay, J. M. Small dams safety issues – engineering / policy models and community responses from Australia. *Water Policy*, v.8, p.81-95, 2006.
- Rădoane, M.; Rădoane, N. Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania. *Geomorphology*, v.71, p.112-125, 2005.
- Ribeiro, F. W. *Proposta de modelo tarifário de água bruta para estados do Nordeste Brasileiro*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Dissertação Mestrado
- Sabiá, R. J. *Estudo do padrão de emissão de poluentes para o enquadramento de rios intermitentes*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2008. Tese de Doutorado
- Sales, C. A. T. *Contribuição para um modelo de alocação de água no Ceará*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1999. Dissertação Mestrado
- Silliman, S. E.; Hamlin, C.; Crane, P. E.; Boukan, M. International collaborations and incorporating the social sciences in research in hydrology and hydrologic engineering. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, n.1, p.13-19, 2008.

- Silans, A. M. B. P. de. Alternativas científicas e tecnológicas para o abastecimento de água no semi-árido. In: Água e desenvolvimento no Semi-Árido, Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2004.
- Silans, A. M. B. P. de; Almeida, C. N.; Albuquerque, D. J.; Paiva, A. E. D. Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do Peixe – estado da Paraíba. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.3, p.5-20, 2000.
- Soares, F. A. Assoreamento de bacia urbana: estudo de caso do açude Santo Anastácio, Fortaleza, Ceará. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003. Dissertação Mestrado
- Távora, M. A. Impactos sócio-ambientais do lançamento de percolado e esgoto nos recursos hídricos: o caso da lagoa do Borzeguim, Itapipoca, CE. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010. Dissertação Mestrado
- Teegavarapu, R. S. V.; Simonovic, S. P. Optimal operation of reservoir systems using simulated annealing. Water Resources Management, v.16, p.401-428, 2002.
- van Oel, P. R.; Krol, M.; Hoekstra, A. Y.; Araújo, J. C. de. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Orós Reservoir in Brazil. Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques, v.53, p.857-867, 2008.
- Viana, R. B. ; Cavalcante, R. M.; Braga, F. M. G. ; Viana, A. B. ; Araujo, J. C. de; Nascimento, R. F.; Pimentel, A. S. Risk assessment of trihalomethanes from tap water in Fortaleza, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v.151, p.317-325, 2009.
- Verstraeten, G.; Poesen, J.; de Vente, J.; Koninckx, X. Sediment yield variability in Spain: A quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. Geomorphology, v.50, n.4, p.327-348, 2003.
- Voerkelius, S.; Külls, C.; Santiago, M. M. F.; Frischkorn, H.; Semrau, L. A. S.; Heinrichs, G.; Gil, M. M. L. Investigations on water management and water quality in Picos/PI and Tauá/CE. In: Gaiser, Krol, Frischkorn; Araújo. Global change and regional impacts, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. p.173-184.

Captação de água de chuva: Uma ferramenta para atendimento às populações rurais inseridas em localidades áridas e semiáridas

Johann Gnadlinger¹

¹ Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada

- 11.1 Introdução
- 11.2 A captação e o manejo de água de chuva: Surgimento e seu quase acaso
 - 11.2.1 O porque do desuso das tecnologias de captação de água de chuva nos tempos modernos
- 11.3 Captação e o manejo de água de chuva hoje: O novo paradigma de uma visão integrada da água
- 11.4 Situação de captação e manejo de água de chuva no semiárido brasileiro (SAB)
- 11.5 Tecnologias de captação e manejo de água de chuva aplicadas ao semiárido
 - 11.5.1 Cisternas de água para uso humano
 - 11.5.2 Tecnologias de captação de água de chuva para dessentendar animais e uso agrícola
 - 11.5.3 Tecnologias de captação de água de chuva para fins ambientais
- 11.4 Política de captação de água de chuva
- 11.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

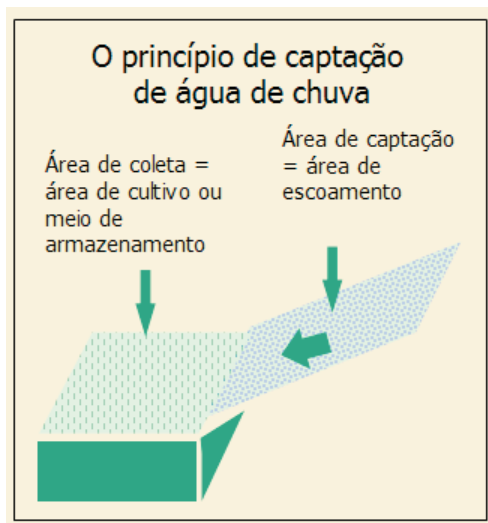
Captação de água de chuva: Uma ferramenta para atendimento às populações rurais inseridas em localidades áridas e semiáridas

11.1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de captação e manejo de água de chuva não podem ser reduzidas às suas estruturas físicas e práticas, razão por que é intenção, deste capítulo, introduzir, além dos aspectos técnicos, os aspectos ambientais, culturais e políticos, numa visão integrada e chegar a algumas orientações que possam ser incluídas na atual política dos recursos hídricos do Semiárido Brasileiro (SAB), e contribuir para resolver alguns problemas relacionados com a água, no contexto atual e futuro. Começa-se definindo o termo captação e manejo de água de chuva: A água de chuva faz parte do ciclo hidrológico e é um bem a ser captado de telhados, do chão e do solo, armazenado e/ou infiltrado de forma segura, tratado conforme requerido pelo uso final, e utilizado em seu pleno potencial, substituindo ou suplementando outras fontes atualmente usadas, antes de ser finalmente descartado (Gnadlinger, 2005; Brasil, 2006).

De maneira geral, as tecnologias de captação e manejo de água de chuva são técnicas que permitam: interceptar e utilizar a água de chuva no local onde ela cai no chão; que facilite a água da chuva a se infiltrar no solo; ou que captam a água de escoamento de uma área específica (telhados, pátios, chão, ruas e estradas) para depois ser armazenada em um reservatório (cisterna ou solo) para uso futuro, seja doméstico, agrícola, dessedentação de animais ou ambiental, tanto em áreas rurais como urbanas (Figura 11.1).

A água de chuva é até hoje, uma fonte de água subutilizada porque, muitas vezes, não é considerada um insumo, mas como um problema, sendo encarada como esgoto, haja vista que, usualmente, esta água escoar dos telhados para os pisos, carregando todo tipo de impurezas, para um córrego que deságua em um riacho ou rio que, por sua vez, alimenta uma estação de tratamento de água para somente depois ser aproveitada. Neste caso, a água de chuva é confundida com a água superficial, que é a água mais problemática do ponto de vista de qualidade. Nos últimos anos se tem observado que o conceito sobre a importância da água de chuva vem mudando, tendo sido contemplado no Plano Nacional de Recursos Hídricos como um ‘bem a ser utilizado no seu potencial pleno’ (Brasil, 2006).



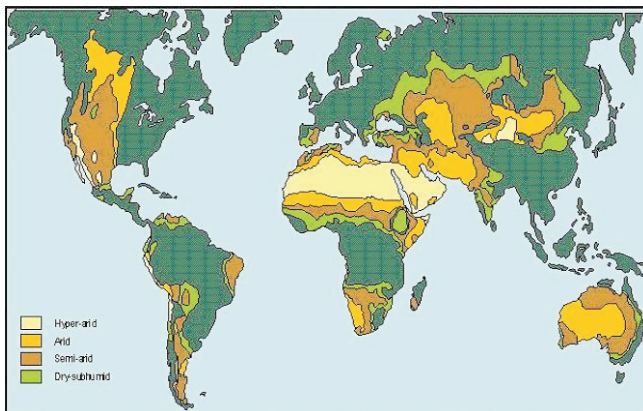
Fonte: ABCMAC, FAO, 2006

Figura 11.1 O princípio de captação de água de chuva

Durante a 9ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, realizado em Petrolina, PE, em julho de 1999, Adhityan Appan, o então Presidente da Associação Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva (IRCSA), disse: “As tecnologias de sistemas de captação de água de chuva são tão antigas quanto as montanhas. O senso comum diz – como em todos os projetos de abastecimento de água – armazene a água (em tanques/reservatórios) durante a estação chuvosa para que ela possa ser usada quando mais se precisa dela, que é durante a estação seca. Em outras palavras: ‘Guarde-a para o dia da seca!’ As tecnologias, os métodos de construção, uso e manutenção, estão todos disponíveis. Além disso, o mais importante é que ainda existem muitos modelos que vêm de encontro as necessidades de países desenvolvidos e em desenvolvimento. O que mais precisamos, é de uma aceitação geral dessas tecnologias e de vontade política de pôr em prática esses sistemas.” Neste capítulo, serão abordados mais detalhadamente os principais pontos da constatação de Appan (1999).

11.2 A CAPTAÇÃO E O MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA: SURGIMENTO E SEU QUASE ACASO

A captação e o manejo de água de chuva tem sido uma técnica popular, desenvolvida por diferentes povos em diversas partes do mundo, há milhares de anos, especialmente em regiões áridas e semiáridas (que abrangem aproximadamente 30% da superfície da terra (Figura 11.2), onde as chuvas ocorrem somente durante poucos meses do ano e com bastante variabilidade e quantidade entre os anos. O



Fonte: Thomas & Middleton (1994)

Figura 11.2 Regiões hiperáridas, áridas e semiáridas e subúmidas da terra

conceito dessas tecnologias é “tão antigo quanto as montanhas”, ou seja, é uma tecnologia primordial.

Na Namíbia e em Botsuana, até hoje os bosquímanos (o povo San) captam água de chuva em ovos de avestruz, colocam ervas para conservação, os enterram e guardam para tomar como água fresca na estação seca, cinco ou seis meses depois, como já faziam seus ancestrais a milhares de anos.

No Planalto de Loess na China, na Província de Gansu, existiam cacimbas e tanques para coleta de água de chuva, há dois mil anos. Na Índia, um projeto de pesquisa denominado ‘Sabedoria prestes a desaparecer (Dying Wisdom)’ enumera muitas experiências tradicionais de captação e manejo de água de chuva nas quinze diferentes zonas ambientais do país (Agarwal & Narain, 1997). No Irã são encontrados os ‘abanbars’ o tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário, tanques de pedra e argamassa de cal com uma torre para resfriamento da água. O efeito de ventilação por meio das torres troca, constantemente, o ar da área acima da cisterna coberta com uma abóbada e garante água pura e fresca o ano todo (Figura 11.3). No deserto de Negev, hoje território de Israel e da Jordânia, há 2.000 anos existiu um sistema integrado de captação e manejo de água de chuva para fins agrícolas (Evenari, 1982).

No Sudeste da Ásia, durante o Século XI os engenheiros do povo Kmer desenvolveram um sistema de abastecimento de água, para irrigar grandes áreas de arroz por meio de um sistema de reservatórios, canais e barragens. O maior deles, o Baray Ocidental, tinha 8 km de comprimento e 2 km de largura e uma profundidade de 7 m, armazenando $123 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água; este sistema assegurava água para três colheitas anuais de arroz (Figura 11.4). Além disso, possui vários reservatórios pequenos para fornecer água de beber e para fins religiosos (Stone, 2009).

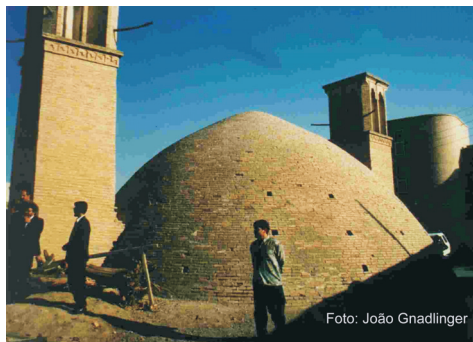


Foto: Gnadlinger

Figura 11.3 Abanbar, cisterna tradicional no Irã



Foto: Markham

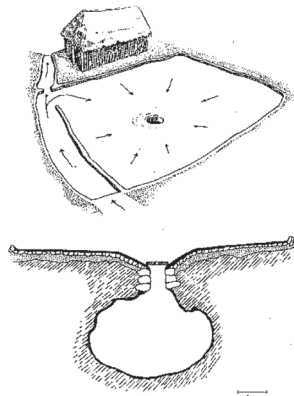
Figura 11.4 Vista aérea do Baray Ocidental – reservatório de água de chuva, datando do império Kmer

No Sri Lanka, o rei Parakramabahu declarou, no século XII, que “nenhuma quantidade de água que vem da chuva deveria correr para o Oceano sem antes ter sido útil para a humanidade”. Ele construiu 165 barragens, 3.910 canais, 163 reservatórios maiores e 2.376 cisternas comunitárias, em 33 anos de governo.

Os romanos eram famosos por transportarem água para as suas cidades, por meio de aquedutos, mas usavam também a captação de água de chuva em larga escala, especialmente na África do Norte e na Ásia Menor. Deles, os árabes herdaram as tecnologias, as quais novamente serviram de exemplo para os espanhóis e portugueses. Nessas línguas existe, além do nome ‘cisterna’ de origem latina, o termo ‘algibe’, de origem árabe, para tanques de água de chuva.

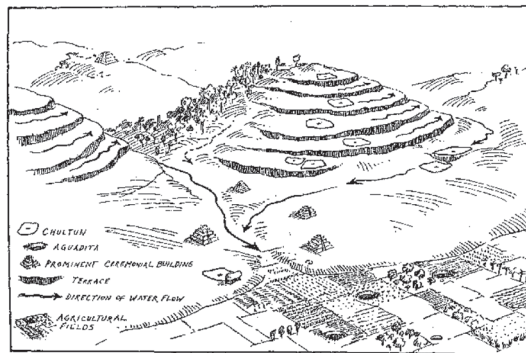
Nas Américas, os povos indígenas précolombianos usavam a captação e o manejo de água de chuva em larga escala. Menciona-se o caso do México, que é como um todo, rico em antigas e tradicionais tecnologias de manejo de água de chuva. Na península da Yucatã, perto da cidade de Oxkutzcab, ao pé do Monte Puuc ainda hoje se vê realizações dos Maya; no século X existia ali uma agricultura baseada no manejo de água de chuva. As pessoas viviam nas encostas e sua água potável era fornecida através de cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 L, chamadas

‘chultuns’ (Figura 11.5). Essas cisternas tinham um diâmetro de aproximadamente 5 m e eram escavadas no subsolo calcário e revestidas com reboco impermeável; acima delas havia um área de captação de 100 a 200 m². Nos vales se usavam outros sistemas de captação de água de chuva, como ‘aguadas’ (reservatórios de água de chuva escavado artificialmente com capacidade de 10 a 150 x 10⁶ L) e ‘aquaditas’ (pequenos reservatórios artificiais para 1.000 a 50.000 L) (Figura 11.6). É interessante observar que as aguadas e as aquaditas eram usadas para irrigar árvores frutíferas e/ou bosques além de fornecer água para o plantio de verdura e milho, em pequenas áreas (Neugebauer, 1986).



Fonte: Neugebauer (1986)

Figura 11.5 Cisterna do povo Maya, chamada Chultun



Fonte: Neugebauer (1986)

Figura 11.6 Sistema integrado de fornecimento de água do povo Maya em Xkutzcab, Yucatan, México

Esses exemplos já devem ser suficientes para se constatar a grande difusão e a diversidade das tecnologias de captação de água de chuva, no decorrer da história.

11.2.1 O porque do desuso das tecnologias de captação de água de chuva nos tempos modernos

Não se pode atribuir uma única causa pelo abandono das tecnologias de captação de água de chuva. No final da idade média ocorreu uma mudança climática em várias partes do mundo, e em algumas regiões como a América Central e Sudeste da Ásia, o clima ficou mais seco, e as precipitações cada vez mais escassas provocando o colapso do sistema (Fragan, 2009).

Na península de Yucatã, o desaparecimento do uso de água de chuva aconteceu em parte pela mudança climática e pelas lutas entre os diversos povos indígenas, provocadas pela superpopulação, mas, de modo especial, como consequência da invasão espanhola no século XVI. No México, os colonizadores espanhóis usaram ainda algibes nas cidades que fundaram, mas nas áreas rurais foram introduzidos outros sistemas agrícolas, novos animais domésticos, plantas e métodos de construção europeus (Neugebauer, 1986).

Na Índia, razões semelhantes ocasionaram o desaparecimento do uso de água de chuva. O sistema colonial britânico se interessava mais por tributos, forçando, portanto, as pessoas a abandonarem o sistema tradicional de manejo de água comunitário dos vilarejos, e causando o colapso de um sistema centenário (Agarwal & Narain, 1997).

O progresso técnico dos séculos XIX e XX ocorreu principalmente nos chamados países desenvolvidos, em zonas climáticas moderadas e mais úmidas, sem estação de seca expressiva e, portanto, sem necessidade maior de captação de água de chuva. Como consequência da colonização, práticas agrícolas de zonas climáticas moderadas foram simplesmente transferidas e implantadas em zonas climáticas mais secas. Em Yucatã, por exemplo, hoje os poços que substituíram as cisternas fornecem do subsolo calcário água poluída. Já durante o século XX os megaprojetos de abastecimento de água (construção de grandes barragens, exploração de águas subterrâneas e projetos de irrigação que utilizam energia fóssil ou elétrica) de água foram objeto de maior ênfase, do que os tradicionais sistemas de captação de água de chuva. Então essas são algumas razões que explicam por que as tecnologias de captação de água de chuva foram desprezadas ou completamente esquecidas.

11.3 CAPTAÇÃO E O MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA HOJE: O NOVO PARADIGMA DE UMA VISÃO INTEGRADA DA ÁGUA

Uma mudança essencial da percepção dos recursos hídricos a nível mundial, começou a se espalhar a partir da Conferência sobre Água e Meio Ambiente de Dublin, em 1992: “O manejo eficaz de recursos de água requer, primeiro, uma abordagem holística, ligando o desenvolvimento social e econômico com a proteção dos ecossistemas naturais. Em segundo lugar, o desenvolvimento e o manejo da água devem ser baseados em uma abordagem participativa envolvendo usuários, planejadores e formadores de opinião em todos os níveis. Em terceiro lugar, tanto mulheres quanto homens têm papel fundamental no fornecimento, no manejo e no uso eficiente da água. Finalmente, o manejo integrado de recursos hídricos é baseado

na percepção da água como parte integrante do ecossistema, seja como um recurso natural, social ou um bem econômico (Banco Mundial, 1993).”

O “Guia de Ação de Recursos Hídricos de Istambul”, resultado do 5º Fórum Mundial da Água de 2009, que pretende orientar governos para ajustar suas prioridades e planos de ações de acordo com as dificuldades que enfrentam no setor de água, aprofunda esta visão integrada do gerenciamento dos recursos hídricos, respeitando o ciclo hidrológico: “Deve-se manejar bacias não só do ponto de vista da água de superfície, mas integrar (1) a água de superfície, (2) a água do subsolo, (3) a água de chuva e (4) água do solo em práticas de manejo, assumindo uma abordagem holística com uma visão direcionada a um uso sustentável e à proteção ambiental. As quatro fontes de água são interrelacionadas e afetam uma a outra; e por isto devem ser apropriadamente interligadas as políticas setoriais que governem as práticas de manejo de água (5º Fórum Mundial da Água, 2009).”

Esta visão que integra a água da chuva no ciclo hidrológico exerce várias vantagens sobre uma visão apenas setorial dos recursos hídricos (cf. também Han & Park, 2007):

- Descobre-se que a água da chuva é fonte de toda a água. Toda a água se move dentro do ciclo hidrológico. Também a água superficial e a água subterrânea têm sua origem na água de chuva. A captação de água de chuva devia ser considerada a primeira opção de fornecimento de água para os novos e os sistemas já existentes.

- A captação de água de chuva exige o manejo de toda a área sobre a qual ela cai, quer dizer da área da captação que é a bacia toda. Tradicionalmente, o gerenciamento dos recursos hídricos acontece de acordo com uma linha de fluxo de água (por exemplo, de um rio sem considerar a bacia toda).

- Mudanças na pluviosidade por causa da mudança climática e na permeabilidade da superfície do solo em virtude do uso do mesmo, estão modificando bastante o escoamento superficial e o abastecimento dos grandes reservatórios, aonde o gerenciamento deste problema é realizado de forma isolada sem considerar a bacia como um todo.

- A criação de um maior número de reservatórios de retenção ou de armazenamento de pequena escala abrangendo toda bacia, não só diminuiria a ocorrência de enchentes como também o efeito de secas.

- Tradicionalmente, os sistemas de fornecimento de água se basearam em sistemas centralizados, em que a água é captada de uma represa, tratada e distribuída em larga escala; sem desqualificar esses sistemas, constata-se que precisam de quantidades significativas de energia para tratamento de água e para seu transporte. Sistemas descentralizados associado a um manejo apropriado, reduzirão os custos e a necessidades de energia. Se introduzir a captação e o manejo de água de chuva nos atuais sistemas existentes, criar-se-á uma estrutura mais flexível e segura de manejo de água.

- A água bruta retirada de um rio pode conter turbidez, germes patogênicos ou contaminantes solúveis de uma bacia inteira, o que exige tratamento adicional e consequentemente aumento dos custos de produção em face do elevado consumo de energia. Caso se colete água de chuva onde ela precipite, os custos com tratamento são menores que os sistemas tradicionais. Outro benefício é a redução do escoamento superficial, e a diminuição de perigo de enchentes.

- A captação de água de chuva envolvem muitos projetos pequenos em nível local, em lugar de um projeto grande e distante; assim, envolve um grande número de

atores e usuários (stakeholders) reduzindo a responsabilidade dos atuais fornecedores públicos de água.

- Como já visto nos exemplos da história, a água de chuva pode ser usada para múltiplos fins; além do uso doméstico (para beber e saneamento) e agrícola pode ser aproveitada para fins comerciais, industriais, paisagísticos e ambiental.

- A prevista e já sentida mudança climática para regiões semiáridas (com aumento de temperatura, chuvas mais irregulares, e aumento da evaporação) obriga para um uso mais eficiente dos recursos hídricos. Neste sentido a confiabilidade das fontes de água superficial (barragens grandes) diminui, havendo a necessidade de armazenar água em sistemas que evitem as perdas por evaporação (cisternas, barragens subterrâneas, armazenamento da água no solo e recarga da água subterrânea).

Tudo isto deve levar a uma nova expansão dos sistemas de captação de água de chuva, tanto em regiões onde já eram usados anteriormente como em áreas em que até então eram desconhecidos.

Assim, o Diretor do Centro de Tecnologias Ambientais do Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas - UNEP, Steve Hall, declarou, no 3º Fórum Mundial da Água em Kioto, em 2003: “A captação e o armazenamento de água de chuva como água potável ou para uso na agricultura não são uma idéia nova, mas estão sendo ignorados pelos planejadores e pela iniciativa privada. Não são tão atraentes como os megaprojetos de abastecimento de água; mas mesmo assim a captação de água de chuva, se introduzida em larga escala, pode aumentar o abastecimento existente de água a um custo relativamente baixo e passar para as comunidades a responsabilidade de gerenciar seu próprio abastecimento de água” (The Daily Yomiuri, 17-03-2003).

A seguir serão apresentados alguns exemplos do uso eficiente de água de chuva em áreas semiáridas atualmente.

O primeiro exemplo de sucesso é o Programa Tailandês de Água Potável, executado nos anos 80 e 90 do século passado, utilizando-se jarras de 2.000 L, fabricadas de placas de cimento (Figura 11.7). O programa faz parte do plano de abastecimento

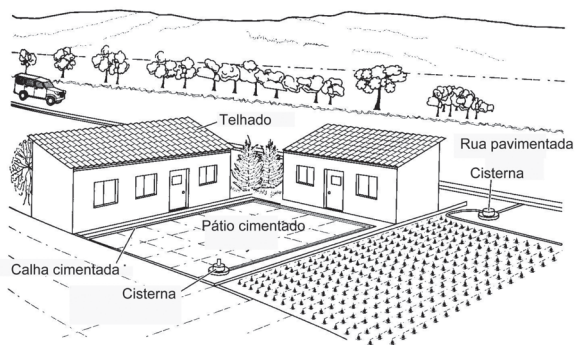


Foto: Gnadlinger

Figura 11.7 Casa com jarras de água de chuva na Tailândia

integral de água para comunidades rurais. Estabeleceu-se uma quantidade de 50 L dia⁻¹ por pessoa, para todos os fins, aonde 5 L são para uso potável de alta qualidade fornecida pelas jarras de água de chuva; os outros 45 L, são para os demais usos domésticos são fornecidos por outras fontes (poços, pequenas barragens ou baterias de cisternas maiores). Partindo de uma iniciativa do governo e de ONGs, as jarras que coletam água de chuva foram culturalmente aceitas e sua execução foi aos poucos assumida pelo setor privado. Estima-se, hoje, em 10 milhões o número de jarras que abastecem mais da metade da população rural da Tailândia. Uma tecnologia semelhante se espalhou também no Camboja, sem a intervenção de instituição alguma (Gnadlinger, 2009).

No já citado Planalto de Loess, do Norte e Noroeste da China, com clima semiárido e água subterrânea contaminada por arsênio, a agricultura depende sobretudo da chuva como fonte de água. Nos anos 90 do século passado, o governo estadual da província de Gansu colocou em prática um projeto de captação de água de chuva, denominado “1.2.1”, em que o governo auxiliou cada família a construir uma área de captação de água de chuva, dois tanques de armazenamento de água e um lote para plantação de culturas comercializáveis. A água de chuva é captada nos pátios (Figura 11.8) ou em áreas inclinadas guarnecidas com lajes de concreto e armazenada em tanques subterrâneos. Nessas regiões montanhosas a declividade é utilizada para conduzir e fornecer água às culturas, prática esta chamada ‘irrigação de baixa intensidade’ utilizando mangueiras ou gotejamento. Culturas comercializáveis, como verduras, ervas medicinais, flores e árvores frutíferas, são cultivadas no sistema tradicional e/ou em estufas. Famílias de pequenos agricultores da região semiárida com 300 mm de chuva por ano se mostraram entusiasmadas com as verduras como pimentão, berinjela, tomate e abóbora plantadas em suas próprias estufas e irrigadas com a água de chuva armazenada nos tanques. A captação de água de chuva tem se tornado uma medida estratégica para o desenvolvimento social e econômico desta região semiárida. O aumento da oferta de água com captação de água de chuva



Fonte: Zhy & Li (2009)

Figura 11.8 Projeto de colheita de água de chuva denominado “1.2.1” no Norte da China

também criou possibilidades para plantação de pomares e pastagens visando à exploração pecuária. A captação de água da chuva em terraços tem reduzido a erosão do solo e a perda de água pelo escoamento, facilitando o crescimento da vegetação. Desde os anos 90 o projeto exitoso de Gansu foi replicado em 18 das 31 províncias da China e até agora o número de beneficiários dos projetos chega a 30 milhões (Zhu & Li, 2009).

Na Índia vem ocorrendo o resgate das tecnologias tradicionais; por meio da captação de água de chuva o povo aprende maneiras inteligentes de conviver com a irregularidade da disponibilidade de água (Figura 11.9). “A solução praticada em várias regiões da Índia está na captação da água de chuva em milhões de sistemas de armazenamento: cisternas, tanques, cacimbas e até em telhados. Posteriormente, utiliza-se a água para beber, irrigação de salvação e recuperação do meio ambiente com vista à recarga da água subterrânea”; assim ressaltou Sunita Narain, quando recebeu o Prêmio da Água na Semana Mundial da Água de 2005, em Estocolmo, Suécia (World Water Week, 2005).



Foto: Gnadlinger

Figura 11.9 Terraçamentos e barramentos de voçoroca em Gujarat, Índia

A Austrália pertence aos países chamados desenvolvidos e seu clima é predominantemente semiárido; no século XIX era uma ilha para os prisioneiros do Reino Unido, e desde então tem usado a água de chuva sem preconceitos (Figura 11.10). Hoje, cerca 20% da população (4 milhões) utilizam a água de cisternas para beber e, no estado da Austrália do Sul, são dois terços da população. Na área rural as residências possuem cisternas de todos os tipos e tamanhos fazendo parte da paisagem.

No México, na região Mixteca, em Tehuacã, a ONG ‘Água para Siempre’ desenvolve trabalhos para captação da água de chuva para fins ambientais, consumo humano e agrícola. O manejo de água acontece em uma abordagem integrada que envolve atividades educacionais e promove a participação dos homens e mulheres com um sólido conhecimento do manejo dos recursos naturais nas suas bacias: água de chuva, aquíferos, vegetação, solo e fauna. O enfoque do manejo integrado



Figura 11.10 Na Austrália, quatro milhões de pessoas tomam água de chuva todos os dias (IRCSA)

de uma bacia começa no ponto mais alto da bacia e inclui a implementação de tecnologias para captação de água, extração, armazenamento, trincheiras para reflorestamento, anéis de captação de escoamento, curvas de nível com barreiras vivas, barragens gaviões, terraços nivelados para plantações, etc. (Figura 11.11); os avanços alcançados com ‘Água para Siempre’, em parte já foram do conhecimento dos povos précolombianos, mas atualmente essas antigas tecnologias de proteção do solo e da água tem sido aprimoradas. O sistema proposto ajudará na recuperação do meio ambiente ao seu nível anterior e permitirá o uso sustentável dos recursos naturais (Garciadiego & Guerra, 2005).

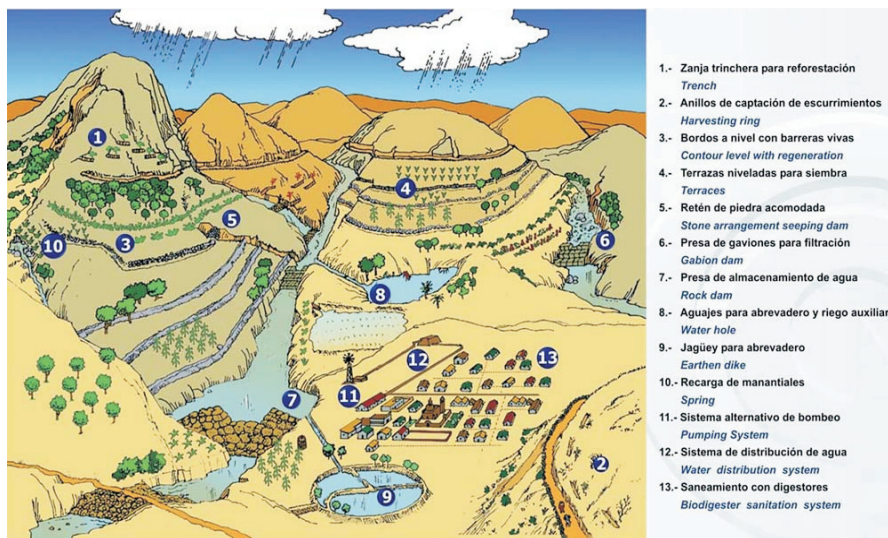


Figura 11.11 Manejo integrado de bacias hidrográficas com tecnologias de captação de água de chuva no México (Garciadiego)

11.4 SITUAÇÃO DA CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB)

Na época antes de Cabral, os povos indígenas retiraram do meio ambiente o necessário para viver: coletava e caçava na caatinga na época da chuva; pesca nas ilhas e nas margens do Rio São Francisco, onde praticavam agricultura rudimentar de mandioca. A caatinga era a “mata branca”, que fornecia tudo de que precisavam.

Os portugueses implantaram a captação de água de chuva em vários lugares do mundo, como por exemplo, nas Ilhas Madeira e Porto Santo, mas não no Brasil. O litoral do Brasil era tido como muito rico em água e o semiárido brasileiro (SAB) para os portugueses era o Sertão, um ‘grande deserto’ atrás da Zona da Mata, que se prestava apenas para criação de animais. Esta visão continuou até o século XIX, quando D. Pedro II propôs, pela primeira vez, a transposição das águas do Rio São Francisco para ‘acabar com o problema da seca’. A abordagem do manejo de água no SAB foi feita, a partir de então, do ponto de vista de tecnologias de grande porte (construção de barragens, poços profundos, transposição e irrigação).

No SAB, a população rural estava submetida a estruturas sociais excludentes, com a concentração das terras férteis e da água na mão dos grandes fazendeiros e por isso não teve muita oportunidade de fazer experiências com métodos de manejo de água de chuva e menos ainda de aprender a viver e trabalhar em um clima semiárido. Uma exceção foi o missionário itinerante Padre Ibiapina (Carvalho, 2008), que construiu, na segunda metade do século XIX (na mesma época de D. Pedro II), as chamadas ‘casas d’água’ no Sertão da Paraíba, que forneciam água para as casas de caridade (que eram um tipo de convento, escola e hospital ao mesmo tempo) e comunidades. As casas d’água eram cisternas cavadas no chão de granito, com áreas de captação em terrenos inclinados e cobertas com telhado, para evitar a evaporação (Figura 11.12).



Foto: Gnadlinger

Figura 11.12 Restos de casa d’água em Santa Fé, PB, construída por Pe. Ibiapina, vista de cima

No decorrer do século XX pensou-se sobre o semiárido como Polígono da Seca em que se devia combater a seca (citando como exemplo o DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, fundado em 1909, com o nome de IOCS - Inspetoria de Obras Contra a Seca). Somente aos poucos se começou a pensar de maneira mais positiva, quando se descobriu que é possível viver bem nesta região “convivendo em harmonia com o clima semiárido” (Duque, 1949). Atualmente, a população está descobrindo como viver de maneira sustentável na região rural semiárida, e o governo brasileiro reconheceu o SAB como região própria, propondo inclusive com uma delimitação específica (Brasil, 2005) (Figura 11.13).



Fonte: Brasil (2005)

Figura 11.13 A nova delimitação do Semiárido

O semiárido brasileiro ocupa 67% da região Nordeste, com área de 969.589,4 km², estendendo-se do estado do Piauí ao Norte de Minas Gerais, perfazendo 1.133 municípios, com uma população de 21 milhões de pessoas, onde 9 milhões residem na área rural; os conhecimentos acumulados sobre o clima permitem concluir não ser a falta de chuvas a responsável pela oferta insuficiente de água na região, mas sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração, que resultam no fenômeno da seca, a qual atinge, periodicamente, a população da região.

Por conseguinte, a nova delimitação do SAB tem por base três critérios técnicos (Brasil, 2005):

- Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm;

- Índice de aridez menor que 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial ($I = P/ETP$), no período entre 1961 e 1990;

- Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Portanto, a captação de água de chuva no SAB oferece um leque de tecnologias apropriadas para lidar com a oferta de água relativamente abundante, porém mal-distribuída (durante os anos, dentro de cada ano e dentro do espaço semiárido) e associada a uma alta taxa de evaporação.

Apesar dos problemas da distribuição irregular das chuvas, da evaporação elevada e do subsolo desfavorável, sempre é possível captar a água quando chove, armazená-la e, com isso, ter uma fonte segura durante o período seco, não somente como água potável mas também para os outros usos. Isso significa que um novo pensamento está emergindo: o do manejo integrado de águas de chuva, superficiais, de solo e subterrâneas respeitando todo o ciclo da água. Esta abordagem de manejo surgiu a partir das necessidades humanas, às quais servem as tecnologias e as várias fontes de água; inicia-se, então, a diferenciar e distinguir cinco linhas de política de água (Gnadlinger, 2001), a saber:

Água de beber para as famílias: o fornecimento de água potável para cada família deve ser por meio de uma cisterna e eventualmente um poço raso localizado próximo a residência. A água mais preciosa é aquela que se bebe, por isso, o fornecimento de água de beber em caso de escassez, tem prioridade segundo a lei brasileira (Lei das Águas, 1997). Por este motivo, água das cisternas deve ser usada somente para beber, cozinhar e para a higiene básica, devendo as fontes menos nobres para os demais usos. Segundo uma das 'Metas do Milênio' das Organizações Unidas, até o ano de 2015 todas as famílias devem ter acesso seguro à água potável em quantidade e qualidade.

Água para comunidade: o suprimento de água às comunidades para uso em lavagem de roupa, banho, limpeza e dessedentação dos animais, deve ser por meio de açudes, caxios, cacimbas de areia, poços rasos e profundos. Ressalta-se que neste sistema o envolvimento da comunidade é essencial nas fases de planejamento, construção e manutenção.

Água para a agricultura: tecnologias como cisternas de produção, barragens subterrâneas, caxios, captação de água em estradas para plantio de árvores frutíferas, uso de sulcos para o armazenamento de água de chuva 'in situ', para superar períodos secos são algumas estratégias utilizadas para a produção de alimentos. Em comparação com a irrigação tradicional, que normalmente usa um fluxo estável durante o tempo, a irrigação complementar usa água apenas para vencer épocas sem chuva, significando uma economia enorme de água. Na China a irrigação de plantas com água de chuva se chama 'irrigação de baixa intensidade'. O princípio deste tipo de irrigação se baseia na irrigação com déficit hídrico cujo objetivo é a maximização da eficiência de uso da água. A aplicação de água ocorre em alguns períodos críticos do crescimento da planta e molha somente a região das raízes (Zhu & Li, 2009). O manejo do solo também possibilita a eficiência do uso da água por meio de cobertura seca, uso de esterco,

composto, plantio direto, aumento de infiltração de água de chuva através de plantio em curva de nível. Todas essas técnicas prolongam o teor de umidade do solo e as tornam acessíveis às plantas (Falkenmark et al., 2002).

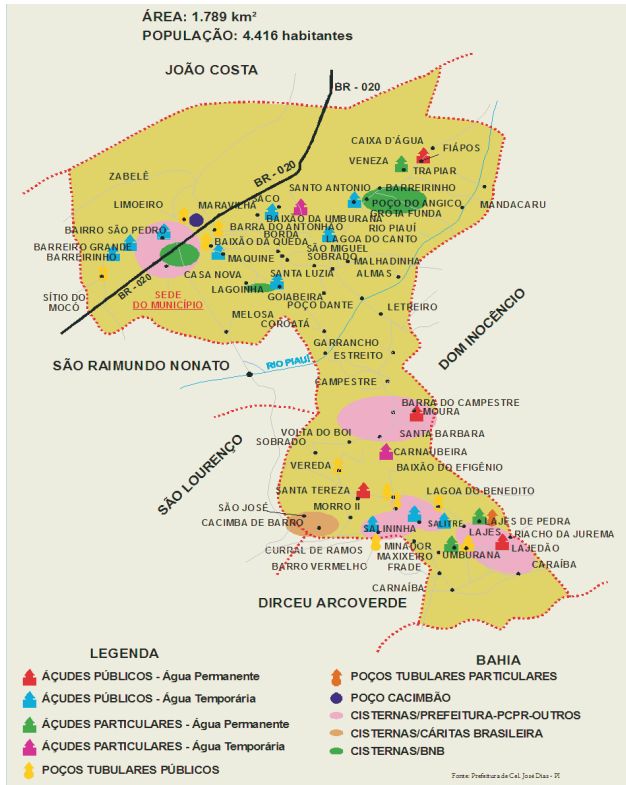
Água para o futuro: assegurar água em situações de emergência para anos de seca, constitui estratégia fundamental. As técnicas de perfuração de poços profundos e a construção de barragens estrategicamente posicionadas em toda a bacia pode ser uma das opções para população. Todavia, existem no SAB cerca de 70 mil barragens de grande a pequeno porte, que em grande parte, estão nas mãos de uma elite, não tendo, portanto, a população acesso a essa água. No entanto quanto mais rápido se resolve as questões hídrica e fundiária, menos se precisa recorrer ao carro-pipa, método este mais caro e que fornece muitas vezes, uma água de péssima qualidade e que é usado para tornar a população menos favorecida, dependente de políticos.

Água para o meio ambiente: o conhecimento do ciclo da água e do balanço hídrico são condições para uma convivência harmônica com o clima e o meio ambiente. O meio ambiente fornece a água para as necessidades dos seres humanos mas parte desta deve está disponível para a conservação e o funcionamento adequado do ecossistema (Falkenmark et al., 2004). A base para isto engloba o manejo de bacias, proteção e revitalização de fontes de água, recomposição da mata ciliar e ações como tratamento de esgoto, reúso e reciclagem de água.

As mudanças climáticas previstas para o SAB são secas prolongadas combinadas com o aumento de eventos de chuvas de curta duração e alta intensidade. Além disto, o desmatamento acelerado da cobertura vegetal “A Caatinga” tem provocado impermeabilidade dos solos aumentando o escoamento superficial. Assim, o uso de captação de água de chuva se torna necessário, associado a outras medidas, para aumentar a elasticidade (resiliência) do semiárido a fim de lidar com as secas e prevenir enchentes.

Pelo exposto, essas cinco linhas de políticas de água surgiram a partir de um trabalho prático em comunidades rurais do SAB e podem servir de base para construir planos descentralizados e participativos de abastecimento de água em comunidades, distritos e municípios (Figura 11.14). Elas significam uma mudança de paradigma no manejo dos recursos hídricos ao contrário de soluções tradicionais setoriais e de grande porte; desta maneira, as pessoas aprendem a conviver em uma região semiárida, criando uma nova cultura chamada ‘Convivência com o Semiárido’.

Para o povo do SAB esta visão positiva significa um ganho em identidade, especificidade e autoestima, porque o modelo de referência não é mais o importado de outras regiões, seja do Litoral ou do Sul do Brasil ou de outras partes do mundo com climas diferentes mas, criado a partir do próprio SAB. Essas linhas orientaram os projetos populares elaborados pela sociedade civil e assumidos pelo governo, como o programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e Uma Terra e Duas Águas (P1+2). No futuro essas linhas de políticas de água podem constar nos planos de recursos



Fonte: Prefeitura Cel. José Dias

Figura 11.14 Mapa de abastecimento da área rural do Município de Coronel José Dias, PI

hídricos nacional, estaduais, municipais e comunitários, e fazer parte do Atlas Nordeste elaborado pela Agência Nacional das Águas - ANA, do qual se espera, numa futura edição, a inclusão da área rural de todos os municípios do SAB (Brasil, 2007).

11.5 TECNOLOGIAS DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA APLICADAS AO SEMIÁRIDO

As tecnologias de captação e manejo de água de chuva serão tratadas aqui, apenas do ponto de vista técnico, mas essas são ao mesmo tempo agrícola, ecológica e econômica-solidária - além de promover a segurança hídrica e alimentar e costumam ser chamadas de tecnologias sociais. Por serem multissetoriais, precisam de um amplo leque de articulação entre as organizações da sociedade e as várias áreas governamentais para garantir a plena realização de todas as suas dimensões (Lassance et al., 2004). A idéia é que o próprio povo seja o experimentador e avaliador das

respectivas experiências. Os profissionais complementam com seus conhecimentos e habilidades, a sustentabilidade dessas tecnologias e só assim pode-se garantir, além da viabilidade técnica, sua manutenção e o uso sustentável.

11.5.1 Cisternas de água para uso humano

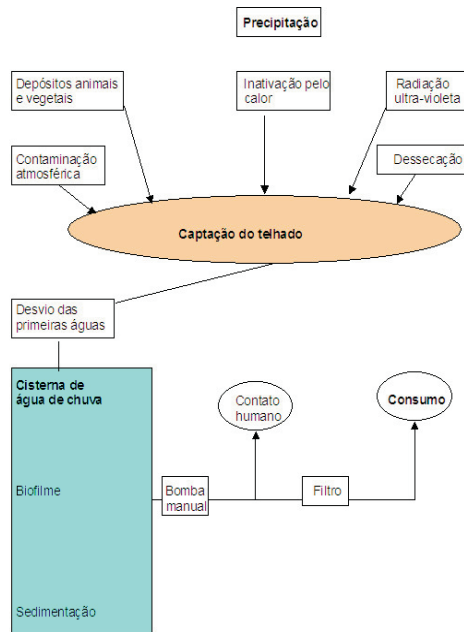
São seis os componentes básicos de uma cisterna de água para uso humano, independentemente de sua complexidade (Gould & Nissen-Peterson, 1999; Gnadlinger, 1999 e 2005; Schistek, 2005 e 2009; Thomas & Martinson, 2007):

- A área de captação, que é o telhado através do qual escoa a água de chuva;
- Calhas e bicas que canalizam a água do telhado para a cisterna;
- Componentes que removem os sedimentos antes que a água captada entre na cisterna, como as telas e filtros e os aparelhos para desviar as primeiras águas de chuva;
- Um tanque de armazenamento, chamado cisterna;
- Um sistema de retirada da água, seja por gravidade, balde ou bomba;
- Um sistema de tratamento e purificação, seja por filtro ou outros métodos, para tornar a água limpa e segura para ser consumida.

Normalmente, a qualidade de água de chuva captada de telhados é mais limpa que a de rios. O telhado em si, é um ambiente bastante hostil para os patógenos, visto que a luz do sol elimina grande parte. No tanque ocorrem também vários processos (decantação, flotação, etc.) o que torna a água mais limpa. A instalação de uma bomba manual para retirar a água da cisterna evita, também, a contaminação da água no momento de usá-la. Os usuários também podem empregar técnicas de desinfecção (aplicação de cloro, desinfecção solar ou o uso de um filtro de cerâmica ou de carvão) após a retirada da água da cisterna antes do uso (Figura 11.15).

De acordo com a legislação brasileira, toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e estar sujeita à vigilância da sua qualidade (Brasil, 2004). A qualidade de água das cisternas é de responsabilidade pública; por isso, agentes comunitários ou agentes de saúde devem controlá-la. Recomenda-se ainda que se intensifique a política de qualidade de água, a partir de encontros de capacitação e cursos e que o Ministério de Saúde, adapte o Plano de Segurança de Água, da Organização Mundial de Saúde, para as cisternas, adequando-o para a realidade do SAB envolvendo, no monitoramento contínuo da qualidade de água em cisternas, os agentes comunitários e as próprias famílias.

Existe uma grande variedade de tipos de cisternas (Gnadlinger, 1999 e 2005; Schister, 2005 e 2009). Supondo que durabilidade e segurança fossem satisfatórias, normalmente se escolheria um tipo de cisterna, principalmente com base no custo mínimo; todavia, existem também outros critérios, como segurança do modelo, preferência do usuário, sustentabilidade e geração de emprego, motivo pelo qual não é aconselhável se fixar em um só modelo. Como qualquer tecnologia, as cisternas também devem ser aperfeiçoadas constantemente, segundo os critérios técnicos e sociais. Ao longo dos anos, e após



Fonte: Adaptado de Spinks et al. (2003)

Figura 11.15 Sequência de possível contaminação e tratamento de um sistema familiar de captação de água de chuva

tentativas e experiências com diversos materiais, como tijolos, pedras, materiais sintéticos e argamassa de cal, são os reservatórios cilíndricos de argamassa de cimento que se têm mostrado mais apropriado; a seguir serão apresentados os tipos mais utilizados em projetos de organizações não governamentais e de governo.

Cisterna de placas: fabricada com placas de concreto e arame liso, rebocada por dentro e por fora é até hoje a mais construída no SAB (Figura 11.16). Este tipo de cisterna com capacidade de armazenar 16.000 L foi usado, originalmente, em comunidades de pequenos agricultores e, atualmente, está sendo construído sobretudo no Programa Um Milhão de Cisternas – P1MC. A cisterna de placas de cimento fica enterrada no chão até mais ou menos dois terços da sua altura; ela consiste em placas de concreto (mistura cimento : areia de 1 : 4), com tamanho de 50 por 60 cm e com 3 cm de espessura, curvadas de acordo com o raio projetado da parede da cisterna. Há variantes em que as placas de concreto são menores e mais grossas e feitas de um traço de cimento mais magro. As placas são fabricadas no lugar da construção, em simples moldes de madeira. Como base da cisterna antes de colocar o contrapiso, deve-se colocar uma camada de seixo rolado ou brita e em seguida uma camada de areia grossa. A parede da cisterna é levantada com as placas pré-fabricadas, a partir do chão já cimentado. Para evitar que a parede venha cair durante a construção, ela é sustentada com varas, até que a argamassa esteja

seca; depois disso, um arame de aço galvanizado é enrolado pelo lado externo da parede e rebocada; em seguida, a parede interna e o chão são rebocados e cobertos com nata de cimento forte. O telhado da cisterna, deve ser cônico e raso, feito de placas de concreto, e apoiados em caibros de concreto. Um reboco na parte externa do telhado é suficiente para dar firmeza. O espaço vazio em volta da parte da cisterna, abaixo da superfície do solo é cuidadosamente aterrado, proporcionando maior firmeza à cisterna; uma pintura branca aplicada por fora da cisterna pode reduzir a temperatura da água.



Foto: Caritas

Figura 11.16 Cisterna de placa de cimento, usada no Programa de Um Milhão de Cisternas (P1MC)

Cisterna de concreto com tela de arame: mundialmente a mais usada em áreas rurais; trata-se de um tipo de tecnologia de ferrocimento, que se destaca por sua grande resistência e emprego reduzido de materiais. Este tipo está sendo adotado no SAB em virtude de sua segurança contra rachaduras e vazamentos; podendo ser usada tanto em pequenos como em grandes programas de construção de cisternas (Figura 11.17). Este tipo de cisterna não precisa ser enterrada e é construída na superfície do solo com dois metros de altura. Após a escolha do local da cisterna é necessário retirar a terra fofa, nivelar sua superfície a uma profundidade de cerca de 20 cm e colocar uma camada de cascalho e areia grossa; posteriormente, a base é confeccionada com aplicação de uma camada de concreto; para a construção da parte lateral utiliza-se uma forma de chapa de aço; que consiste de chapas de aço plana (1 x 2 m), espessura de 0,9 mm conectadas por cantoneiras e parafusadas uma nas outras, formando um cilindro. A forma levantada é envolta, primeiro, com tela de arame e, em seguida, com arame de aço galvanizado com espessura de 2 ou 4 mm - para cisternas com capacidade de 10.000 ou 20.000 L, respectivamente. A tela de arame deve passar por debaixo da forma e cobrir uma largura de aproximadamente 50 cm no fundo da cisterna; depois se colocam duas camadas de argamassa na parte exterior, com despoladeira de aço; logo após a forma de aço é retirada. O interior é rebocado duas vezes e depois coberto com nata de

cimento. O teto da cisterna pode ser fabricado também com a ajuda de uma forma de aço, mas é mais fácil e rápido utilizar a tecnologia usada na cisterna de placas. No intervalo das diversas etapas de fabricação, a cisterna tem que ser coberta com uma lona, para evitar o ressecamento prematuro da parede de concreto, o que provocaria pequenas rachaduras.



Foto: IRPAA

Figura 11.17 Construção de cisterna de concreto com tela de arame

Cisterna com tela de alambrado: é um aperfeiçoamento da cisterna de concreto com tela de arame. O desafio para a nova tecnologia era a eliminação da fôrma, sem abdicar da simplicidade e da segurança que o ferrocimento oferece e da parede inteiriçada, sem emendas ou composição por elementos singulares. A tela de alambrado, ou tela de aço estrutural, é um produto da indústria siderúrgica, muito usado para cercas e separar espaços em ar livre, como residências, estacionamentos etc; o alambrado, uma tela galvanizada de 2 m de altura, de malha 15 x 5 cm, de arame galvanizado de 3 mm de diâmetro. A tela é encontrada em rolos de 25 m de comprimento; como estrutura básica, uma tela de alambrado é armada em pé sem uso de fôrma, conforme o tamanho da cisterna prevista (Figura 11.18). Para permitir a aplicação de argamassa, a tela é envolta com uma tela de plástico, chamado sombrite. A aplicação da argamassa se dá em quatro camadas, imitando o princípio de materiais compostos, como chapas de madeira compensada ou vidro blindado, o que confere grande resistência à parede; o teto consiste de segmentos fabricados de forma semelhante as das paredes, armados de tela de alambrado; a estabilidade desse tipo de cisterna foi comprovada na região de terremoto, no Haiti, em 2010, em que nenhuma destas cisternas

construídas pela cooperação Brasil-Haiti através da Embrapa Semiárido e o Instituto Regional da Pequena Agricultura Agropecuária Apropriada (IRPAA), sofreram danos, enquanto as edificações e as cisternas subterrâneas tradicionais ruíram.



Foto: Schistek

Figura 11.18 Cisterna de alambrado

11.5.2 Tecnologias de captação de água de chuva para dessedentar animais e uso agrícola

Detalhamento deste tipo de tecnologia podem ser encontradas nas obras de Pacey & Cullis, 1986; Porio et al., 1999; Schister, 1999 e Gnadlinger, 2005.

A partir do Zoneamento Agroecológico do Nordeste (Embrapa, 2000), que indica o potencial do uso da terra na região, observando os aspectos biofísicos, os pesquisadores chegaram à seguinte conclusão:

- 36% do SAB abrangem reservas ecológicas que não são apropriadas para a agricultura;
- 40% são apropriados para o uso agropecuário limitado – criação de caprinos e ovinos, aproveitamento sustentável da Caatinga através da exploração de espécies frutíferas como umbu, caju, etc.;
- 20% permitem a agricultura com uso da água de chuva; e
- menos de 4% são apropriados para a implantação da agricultura irrigada.

Segundo esses dados, Porto et al. (2005), concluíram que o tamanho mínimo da propriedade no SAB deve ser de 100 ha em municípios com “oferta ambiental média”, isto é, onde é possível associar o uso da caatinga com o cultivo de forragens apropriadas, principalmente para caprinos e ovinos. As tecnologias de captação e manejo de água de chuva visam a uma expansão da área agrícola a partir de uma reforma agrária apropriada, e do aumento da eficiência do uso da terra e da água, utilizando os princípios da agroecologia.

A cisterna adaptada para a agricultura é formada de uma área de captação (para captar água da chuva de uma enxurrada que escoa nos desníveis do terreno ou de áreas pavimentadas, chamadas calçadão), um reservatório de água (normalmente bem maior que a cisterna para o uso humano) e canteiros de verduras nos quais a irrigação pode ser feita à mão ou por gotejamento (Figura 11.19). No P1+2 optou-se por uma cisterna de placas de cimento de 52.000 L por que capta a água em um calçadão de 210 m² construído no nível do solo. Com um calçadão até em ano seco, apenas 350 mm de precipitação, são suficiente para encher uma cisterna de 52.000 L, porém o desafio é construí-lo sem apresentar rachaduras. Com a água de uma cisterna desse tipo, não é possível irrigar grandes áreas mas, sim, canteiros de verdura 20 a 30 m², regar mudas, fruteiras e/ou dispor de água para pequenos animais (galinhas e abelhas). Esta solução simples contribui para a segurança alimentar e nutricional das famílias (Brito et al., 2008; Diaconia, 2008).



Foto: Gnadlinger

Figura 11.19 Construção de cisterna para a produção de verduras e fruteiras

A maximização da eficiência da água (seja água azul ou água verde) pode ocorrer em vários estágios a água armazenada na cisterna deve ser usada com moderação e somente quando as plantas precisarem de irrigação; às vezes, os canteiros têm lona plástica ao fundo que impede a infiltração da água para o solo e retém a água na zona das raízes das plantas; na superfície do canteiro também pode se dispor de uma cobertura vegetal seca para conservar a umidade do solo, também o uso de uma latada com folhas de palmeira ajuda a conservar a água no solo; como adubo se usa esterco curtido que retém também a umidade do solo, ficando-a à disposição das plantas.

A cacimba é um poço raso, muitas vezes feita na pedra, com diâmetro de até 2 m, coberto com uma tampa de madeira ou de cimento e com um carretel ou uma bomba manual, para retirar a água. Esta estrutura também pode ser construído com anéis pré-moldados ou de blocos de cimento (Figura 11.20) a uma distância de 30 m de

distância de qualquer foco de poluição (fossas, sumidouros, currais, esterqueiras, etc). Os três primeiros metros da base da cacimba devem ser revestidos com alvenaria, para evitar contaminações. Uma laje sobre o poço garante sua segurança e higiene. Este tipo de tecnologia pode fornecer água para uso humano, animal e agrícola. Em países semiáridos, como na Índia, a cacimba fornece água na época seca e na época da chuva é recarregada: a água de chuva é conduzida de um barramento, por exemplo em uma estrada, por meio de um canaleta para a cacimba, onde depois de uma filtragem em meio poroso (areia e pedras) recarrega a cacimba. As cacimbas de areia constituem em uma variante que é escavada no leito de riachos ou rios. A profundidade neste sistema é variável podendo chegar até 2 m. Para evitar que a areia do leito do riacho caia na escavação, levanta-se em seu entorno uma parede de tijolos, ou coloca-se anéis de concreto, até pouco centímetros abaixo do nível do leito do riacho. Esta estrutura é então coberta com uma laje de concreto, deixando-se apenas uma abertura de 50 cm para acesso e retirada da água. Esta abertura é coberta com uma tampa ou somente com galhos e gravetos, para que, já durante as primeiras trovoadas no início do período chuvoso, a água da chuva possa começar a encher a cisterna-cacimba, por cima. Depois dos quatro meses da estação chuvosa as reservas dos veios subterrâneos estão reabastecidas e o sistema passa a funcionar como poço.

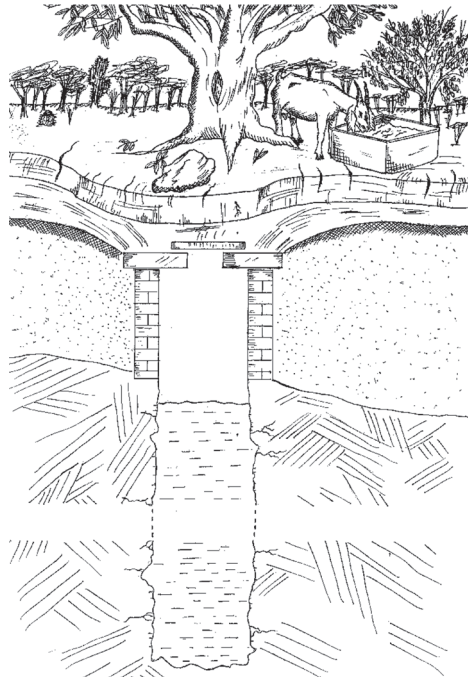


Figura 11.20 Cacimba (Ivomar de Sá Pereira)

A barragem subterrânea pode ser feita somente sobre subsolo cristalino e aproveita as águas das enxurradas de pequenos riachos intermitentes. A barragem subterrânea consiste de três partes: área de captação, área de exploração com agricultura de vazante ou de plantio e parede da barragem.

Cuidado especial se deve ter com a locação da barragem observando o relevo, tipo de solo, profundidade, qualidade da água e vazão da enxurrada; este sistema consiste em represar as águas das enxurradas por meio de um barramento escavado transversalmente ao fluxo de água em um terreno de aluvião, até chegar à base cristalina; aberta a valeta, coloca-se uma lona de plástico na vertical e o espaço livre da valeta é preenchido com o material retirado da escavação (Figura 11.21); pode-se, também, encher a valeta com argila bem compactada. Durante o inverno se acumula água no perfil do solo (e não na superfície, como nas barragens tradicionais), criando um perfil freático. Dependendo do modelo, a barragem pode possuir um sangradouro de concreto e de pedras, para escoar o excesso de água e evitar que a força da água rompa a barragem. A área à montante da barragem pode ser plantada com todo tipo de fruteiras, verduras e culturas anuais e servir também para produção de forragem verde para os animais. Ainda pode ser aproveitada a água armazenada numa cisterna subterrânea/poço amazonas (construído na área de montante da barragem subterrânea) a fim de usá-la para consumo humano ou animal (quando



Foto: IRPAA

Figura 11.21 Barragem subterrânea, colocando a lona de PVC

não se usam agrotóxicos no plantio) ou para irrigação. Ainda nos primeiros meses da estação seca é possível obter uma segunda colheita. A barragem subterrânea é uma tecnologia simples porém requer um manejo adequado para sua implantação, operação e manutenção.

Caxio é um reservatório construídos em solo cristalino com um ou mais compartimentos de 4 m de largura e mais de 3 m de profundidade, com fundo e parede de pedra (piçarra) (Figura 11.22). Estas construções na maioria das vezes possuem formatos irregulares, pelos diversos graus de dureza do perfil do solo. Costuma-se, às vezes, escolher um formato mais alongado, de 6 a 8 m de comprimento, deixando-se uma parede de pedra no meio, formando duas partes que podem ser escavadas separadamente. Pequenas valetas são construídas para direcionar a água de enxurradas para esses compartimentos, tendo-se como preocupação evitar a entrada de sedimentos. Muitas vezes, a escavação de um caxio é uma tarefa de vários anos e, possuindo duas partes separadas, pode-se usar primeiro a água da parte mais rasa e continuar o aprofundamento durante a época da estiagem. Quando o caxio tiver sua profundidade definitiva, quer dizer, a escavação ter chegado à camada cristalina dura, pode-se baixar um dos lados, em forma de rampa, para possibilitar o acesso de animais e lhes servir de bebedouro.

Pequenos açudes ou barreiros de salvação: estes sistemas captam água de escoamento superficial de uma grande área natural (Figura 11.23). São escavados com trator ou a mão. Para diminuir a evaporação, recomenda-se arborizar as margens; pelo mesmo motivo é importante ter uma boa profundidade; deve ter um sangrador bem dimensionado e bem construído para que não haja rompimento nos anos de chuva excessiva; pode-se plantar em suas várzeas e/ou na parte de jusante utilizando sua água na irrigação de salvação.



Foto: IRPAA

Figura 11.22 Caxio com dois compartimentos

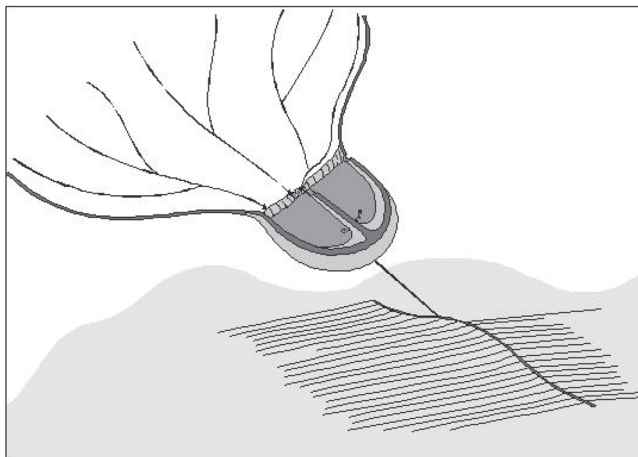


Figura 11.23 Barreio de salvação (Embrapa Semi-Árido)

O caldeirão ou tanque de pedra é uma caverna natural, escavada em lajedos, que representa excelente reservatório para armazenar água de chuva visando o uso humano, animal e agrícola. Nas regiões do SAB o formato das rochas é arredondado, em forma de lente e apresentam muitas cavernas, onde a água de chuva se acumula naturalmente. A parte mais profunda é sempre cheia de terra e cascalho; em geral, é necessário desobstruir essas cavidades naturais para obter depósitos de água eficientes; às vezes, constrói-se uma parede de um lado para aumentar a capacidade de armazenamento (Figura 11.24); estes sistemas apresentam profundidade irregular variando de centímetros até vários metros; além disso, o afloramento da rocha forma uma boa área para captação de água de chuva.



Foto: Gnadlinger

Figura 11.24 Tanque de pedra

A experiência do barramento de água em estradas consiste em captar e canalizar a água de chuva que escorre pela lateral de estradas, através de manilhas, e armazená-la depois de processos de decantação, numa cisterna subterrânea, da qual será retirada para irrigação de salvação.

O uso de curvas de nível no plantio, como forma de manter a umidade do solo e evitar a erosão também é uma opção de captação da água de chuva. Os sulcos acumulam a água de escoamento e a levam até as raízes das plantas; os agricultores que observam essas regras, ao plantar em áreas menores, vão perceber que obtêm colheitas comparáveis com as obtidas em áreas maiores e sem curvas de nível, com a vantagem de terem o sucesso da colheita praticamente garantida. Ao contrário do SAB, em áreas semiáridas da China e do México com suas experiências milenares planta-se toda a agricultura de sequeiro em curvas de nível.

A captação de água 'in situ' é uma aplicação especial de curvas de nível que impede o escoamento superficial mantendo a água de chuva tanto quanto possível, no lugar em que atinge o solo que, neste caso, é a própria área do cultivo. Esta tecnologia se aplica em terrenos inclinados e consiste no sulcamento das entre linhas antes ou depois da semeadura. A captação de água de chuva 'in situ' é apropriada para sistemas de plantação existentes e pode ser executada com a ajuda de máquinas ou animais. Um dos vários sistemas de captação de água de chuva "in situ" consiste na modificação da superfície do solo, de maneira que a área entre as fileiras de cultivo sirva de área de captação. Esta área apresenta uma inclinação que intensifica a produção de escoamento, ao mesmo tempo em que o conduz para a porção de solo explorada pelas raízes da planta (Porto et al., 1999). Uma outra tecnologia consiste no sulcamento do terreno com barramento de água dentro dos sulcos (Figura 11.25).



Foto: Embrapa Semiárido

Figura 11.25 Captação de água "in situ"

11.5.3 Tecnologias de captação de água de chuva para fins ambientais

A seguir apresentam as principais tecnologias de captação de água de chuva para fins ambientais, mitigação e adaptação a mudanças climáticas (Gnadlinger, 2005; FAO/ABCMAC, 2006, Garciadiego & Guerra, 2005; Waterfall, 2006; Zhu & Li, 2009) ao meio ambiente.

As mudanças climáticas têm como principais impactos a irregularidade da precipitação e aumento da evaporação por meio do aumento em até 2° C da temperatura até 2100. Um modelo analisado pelo IPCC ressalta que a região Nordeste poderá perder até 75% de suas fontes de água com o aumento da temperatura e da evaporação. Uma das consequências mais relevantes para o SAB é a tendência à aridização da caatinga, e o surgimento de uma vegetação de semideserto (Nobre et al., 2004). Neste cenário a captação de água de chuva vai tornar-se uma intervenção chave na mitigação e adaptação a esta vulnerabilidade (Marengo, 2005).

Além de considerar as mudanças climáticas a nível mundial, causadas por fatores fora da área de influência do SAB, precisa-se levar em conta as mudanças climáticas a nível local e regional. A derrubada e a queima da caatinga (pelo extrativismo desenfreado e pelo agronegócio de monoculturas) significa a abertura dos ciclos fechados de um ecossistema natural, acompanhado de um escoamento superficial intenso, perda de solo, redução do material orgânico no solo e uma redução substancial da capacidade do solo em reter água. A drenagem da água do solo significa uma mudança do clima local, porque a luz solar incidente é transformada em calor sensível e a temperatura do solo aumenta sensivelmente, liberando calor para a atmosfera, contribuindo, deste modo, para a mudança do clima local e regional. A mudança climática é também um dos efeitos de mudança no ciclo hidrológico (Krivcik et al., 2007). Neste cenário a captação de água de chuva torna-se uma intervenção chave na mitigação e adaptação (Marengo, 2005).

No manejo integrado de pequenas bacias hidrográficas, fundos de pasto e propriedades, pode-se seguir o modelo da região semiárida da China, chamado de ‘Modelo de três roupas’: o meio ambiente deve ser vestido pelas tecnologias de captação de água de chuva, começando na parte alta da propriedade/bacia onde a água de chuva começa a escoar, posteriormente nas partes das encostas e finalmente nas planícies aluviais.

- ‘vestir um chapéu’ - na parte alta promover reflorestamento (tecnologias de ecoflorestamento e reflorestamento, plantio de plantas de cobertura do solo tolerantes à seca, barreiras vegetativas para o solo, com pasto natural);

- ‘usar um cinto’ - para áreas de encostas promover o plantio em curvas de nível, captação de água “in situ”, plantio de fruteiras e hortas, barraginhas para infiltração e recarga de água subterrânea, recuperação de voçorocas a partir do início do fluxo de água, e

- ‘calçar botas’ - tecnologias de captação de água de chuva para a produção, a exemplo de barragens subterrâneas, cacimbas, pequenas barragens de gabião ou barragens sucessivas para reter a água nos aluviões. A barragem de gabiões (Figura

11.26), é uma parede de pedras fixadas com o auxílio de gaiolas de ferro (gabiões) e impermeabilizada com uma cortina de cimento no centro, que é usada para o barramento de água de riachos (Lima, 1999).



Foto: Lima

Figura 11.26 Barragem de gabião

As tecnologias citadas contribuem para o aumento da capacidade de infiltração e da retenção da água superficial, evitando a erosão do solo, enchentes, e aumento da oferta hídrica nas bacias. Essas obras promovem o equilíbrio ecológico, a preservação e recuperação do solo e da caatinga, sendo instrumentos importantes no combate à desertificação, assim como o aumento da produtividade agrícola de sequeiro e da oferta de água, com notáveis impactos sociais positivos (Araújo, 2006).

11.6 POLÍTICA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Na implantação de uma política de captação de água de chuva, o que mais se precisa, é de vontade política, pois desde o final dos anos 70 a Embrapa Semiárido (o então Centro de Pesquisa agropecuária do Trópico Semiárido - CPTSA) realiza pesquisas em sistemas de captação de água de chuva no SAB; o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA), desde 1990, e outras organizações não governamentais, estão fazendo pesquisa e divulgação de tecnologias de captação de água de chuva, como parte integrante da Convivência com o Semiárido. Para divulgar essas experiências pontuais, tornou-se necessário criar a base institucional para implementar programas maiores, fundando assim, em julho de 1999, a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC), que reúne pesquisadores e usuários de tecnologias de água de chuva e se destaca sobretudo pela organização dos Simpósios bianuais de Captação e Manejo de Água de Chuva. Durante a 9ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, em Petrolina, PE, foram apresentados, por 50 especialistas dos cinco

continentes, experiências de captação e manejo de água de chuva de várias partes do mundo, de modo especial, a experiência exitosa da região semiárida da China serviu de exemplo para o SAB; no mesmo ano se reuniram, em um evento paralelo à Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas para Combate à Desertificação (COP 3), no Recife, PE, organizações não governamentais e fundaram a Articulação no Semiárido Brasileiro - ASA, que atualmente reúne perto de 1000 organizações populares, entre elas organizações não governamentais, sindicatos, cooperativas, associações e igrejas. A partir de então, a ASA lançou primeiro uma campanha com o lema “Nenhuma família sem água de beber segura” e elaborou o Programa Um Milhão de Cisternas – P1MC, para ser executado pela sociedade civil, de maneira descentralizada (ao nível das comunidades, municípios, microrregiões, estados e regional). O programa começou com um projeto piloto em 2001 e efetivamente em julho de 2003 recebe financiamento sobretudo de organizações governamentais, Ministério de Desenvolvimento Social – MDS, cuja meta é fornecer água de beber limpa e segura a um milhão de famílias (cinco milhões de pessoas). Até 10 de dezembro de 2009 já tinham sido construídas 287.439 cisternas em vários municípios do SAB e todas destinadas às famílias localizadas em áreas rurais. Além da ASA existem outros executores de construção de cisternas de água de beber, especialmente órgãos estaduais e municipais, sendo a participação do setor privado ainda pequena.

O P1MC foi o ponto da partida para o desenvolvimento sustentável do SAB, mas outros aspectos, como produção agroecológica de alimentos, criação de animais, comercialização, saúde, educação, infraestrutura, organização política e proteção do meio ambiente, precisavam ser considerados da mesma maneira para garantir o desenvolvimento sustentável da região. Por isso, no setor de agricultura o P1MC está sendo completado pelo programa Uma Terra e Duas Águas – P1+2, significando que cada família na área rural deve ter uma terra (1), bastante grande para produzir alimento e garantir uma vida sustentável, e dois tipos de água (2), um para beber e outra para produzir. Na primeira fase, que terminou em 2007, a ASA implementou 144 projetos-piloto em todos os estados do Nordeste, financiados pela Fundação Banco do Brasil e pela Petrobrás; até o final de 2010 o programa construiu 6.900 sistemas de captação de água de chuva, financiado pelo MDS e pela CODEVASF. A maior parte são cisternas de produção, mas também barragens subterrâneas e bombas manuais tipo ‘volanta’ instalados em poços rasos.

Surgiu, em 2010, uma iniciativa interessante em integrar as tecnologias de captação e manejo de água de chuva a um programa de restauração do meio ambiente e desenvolvimento sustentável do SAB, chamado ‘Recaatingamento’, implementado pelo IRPAA e financiado pela Petrobrás.

Espera-se que as tecnologias de captação e manejo de água de chuva sejam integradas quanto antes ao Programa de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.

A ABCMAC, organizadora de simpósios bianuais, conta com um grande acervo de resultados de pesquisas e experiências sobre o assunto, sendo acessível para seus sócios na internet (www.abcmac.org.br). As atividades de ABCMAC visam

incentivar o aprofundamento do conhecimento sobre a existência e a importância dessas técnicas em várias instituições de ensino e de pesquisa, e de tomada de decisão e de participação pública. No mundo acadêmico se destacam, até agora, o engajamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) na Paraíba; Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Recife, PE, e na Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, MG.

11.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A chuva é a fonte de toda a água que os seres humanos necessitam mas, até pouco tempo, ela foi subutilizada. Atualmente, as tecnologias de captação e manejo de água de chuva não são mais vistas como alternativas secundárias ou nichos, mas como parte integral do manejo do ciclo hidrológico que abrange as águas superficial, subterrânea, do solo e de chuva. Assim o incentivo ao uso destas tecnologias de água de chuva está contemplado no Plano Nacional dos Recursos Hídricos, de 2006, e se deve concretizar em práticas e orientar a política de água no Brasil, no futuro (Brasil, 2006).

Reconhece-se que sem uso da água de chuva não será possível cumprir uma das Metas do Milênio da UNO, ou seja, diminuir pela metade o 1,1 bilhão de pessoas sem água de beber, até 2015.

No SAB se deseja avançar mais: graças à água de cisternas, pretende-se fornecer água de beber de boa qualidade para os 2 milhões de famílias na área rural, talvez já antes desta data.

No Ministério de Integração atualmente a prioridade é para grandes projetos para o agronegócio, transposição de uma parte da água do Rio São Francisco para o Norte do Semiárido, projetos de agrocombustíveis na região de Juazeiro, BA, e Petrolina, PE. Ainda se carece de investimento maior e conscientização, para que o manejo integral da terra e da água se torne política pública: o P1MC já é e, o P1+2 está a caminho para isso. Todavia somente através da pressão da opinião pública, o governo brasileiro (Federal e dos Estados) podem investir nesses programas.

O futuro sucesso ou não da captação e do manejo de água de chuva no SAB depende do modelo político e do tipo de sociedade que se consegue implantar nesta região. Inspira-nos a visão de um texto do 2º Fórum Mundial da Água, em Haia, 2000 (A Visão da Água para Alimentos e Desenvolvimento Rural), que descreve a vida de comunidades rurais para o ano 2025: A essência da visão da água para alimentos e desenvolvimento rural, é o mundo de um povo saudável com nutrição adequada e um meio de vida seguro. Este processo envolvem agricultores, pecuaristas e outros setores da agricultura, setores econômicos, que compram o alimento desses produtores.

Esta visão envolve outros aspectos:

- Comunidades rurais vibrantes, incluindo jovens e adultos que vivem em segurança, com oportunidades de educação, serviços sociais, emprego dentro e fora

da agricultura, promovendo a segurança alimentar, acesso ao transporte e à comunicação com o mercado e centros administrativos e as economias regional e mundial;

- Um ambiente saudável, com água limpa nos rios e nos lençóis freáticos e ecossistemas naturais estáveis e diversificados;

- Agricultura e criação de animais em áreas do sequeiro, de captação e manejo de água de chuva e áreas irrigadas, operando numa base sustentável com acesso igualitário aos recursos naturais, como terra e água, usando esses recursos de maneira sustentável; e

- Mulheres, homens e comunidades com controle razoável sobre seus meios de vida e sua base de recursos, apoiados por agências públicas acessíveis.

Para que esta visão possa se tornar realidade, devem reger no desenvolvimento rural, três princípios (2º Fórum Mundial de Água, 2000):

- acesso à terra e água, por meio de reconhecimento do direito fundamental de que todo povo tem direitos fundamentais de acesso à terra, água para beber, higiene e para a produção de alimentos,

- sustentabilidade do sistema de produção no uso da terra e da água, das tecnologias e do mercado, e

- democracia no processo de implementação e execução do programa em que o povo, homens e mulheres, devem ter voz nas decisões que os afetam, incluindo o manejo de solo e água.

A nível mundial, a Associação Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva (IRCSA) promove o uso de água de chuva desde 1982, através, de 14 conferências bianuais – das quais a 9ª Conferência foi em Petrolina, PE. Ressaltam-se grandes avanços, nos últimos 25 anos, mas o uso das tecnologias de captação e manejo de água de chuva ainda não é ‘mainstream’, no Brasil nem em outras regiões do mundo.

Também se torce para que o diálogo e a troca de experiências de captação e manejo de água de chuva ultrapassem as fronteiras do SAB, como já aconteceu com a China, Índia, Haiti, Nicarágua, Honduras, El Salvador, México e Moçambique.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2º Fórum Mundial da Água: A vision of water for food, agriculture and rural development, Haia, 2000.

5º Fórum Mundial da Água. Istanbul water guide, Outcomes of the 5th World Water Forum, Istanbul, 2009.

ABCMAC - Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva. Relatório sobre a oficina avanços nos estudos sobre cisternas: Qualidade de água e cisterna tipo alambrado, Petrolina, PE, 2006, http://www.abcmac.org.br/files/downloads/ABCMAC_Relatorio_Oficina_Abril_2006.pdf

Agarwal, A.; Narain, S. (ed.). Dying wisdom. The rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems, New Delhi, 1997.

- Appan, A. Abertura da 9ª Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, Petrolina, PE, 1999.
- Araújo, J. de C. As barragens de contenção de sedimentos para conservação de solo e água no semi-árido. In: Küster et al., Tecnologias apropriadas para terras secas. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2006.
- Banco Mundial: Water resources management. A World Bank policy paper, Washington DC, 1993.
- Brasil, Presidência da República: Lei das águas, Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, Art. I,3
- Brasil, Ministério da Saúde. Norma de qualidade da água para consumo humano, Portaria N.º 518, 25/03/2004.
- Brasil, Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semi-árido brasileiro, Brasília, 2005.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano nacional dos recursos hídricos, v.I e IV, Brasília, DF, 2006.
- Brasil, Agência Nacional das Águas: Atlas nordeste, abastecimento urbano de água, Brasília, 2007 http://parnaiba.ana.gov.br/atlas_nordeste/nw_atlas.htm
- Brito, L. T. L.; Gnadlinger, J. Relatório sobre a oficina avanços nos estudos sobre cisternas: Qualidade de água e cisterna de alambrado, Petrolina: ABCMAC, 2006, http://www.abcmac.org.br/files/downloads/ABCMAC_Relatorio_Oficina_Abril_2006.pdf.
- Brito, L. T de L.; Moura, M. S. B. de; Gama, G. F. B. (ed.): Potencialidades de água de chuva no semi-árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.
- Brito, L. T de L.; Cavalcanti, N. de. B.; Santos, M. L. dos; Leite, W. de M. Água de chuva: Pomar doméstico. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008.
- Carvalho, E. L. T. de. A Missão Ibiapina. Passo Fundo, RS, 2008.
- DIACONIA: Convivendo com o semi-árido, construindo cisternas de 52.000 litros. Série compartilhando experiências, Recife, 2008.
- Duque, G. Solo e água no polígono das secas, Fortaleza, 1949, 2004.
- Embrapa Semi-Árido. Zoneamento agro-ecológico. Brasília, 2000.
- Evenari, M.; Shanan, L.; Tadmor, N. The Negev: The challenge of a desert. Cambridge: Harvard University Press, 1982.
- Fagran, B. O aquecimento global, a influência do clima no apogeu e declínio das civilizações. São Paulo, 2009.
- Falkenmark, M.; Rockström, J.; Savenije, H. G. Feeding eight billion people, time to get out of past misconceptions. Estocolmo: SIWI, 2002.
- Falkenmark, M.; Rockström, J.; Savenije, H. G. Balancing water for humans and nature. London: SIWI, 2004.
- FAO/ABCMAC: Curso de capacitação em captação de água para aumentar a produção agrícola. Petrolina, 2006. Versão portuguesa de: Training Course on Water Harvesting
- Garciadiego, R. H.; Guerra, G. H. Programa água para sempre – Resumo executivo. Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.

- Gnadlinger, J. Apresentação técnica de vários tipos de cisternas para comunidade rurais no semi-árido brasileiro. Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, Petrolina, 1999.
- Gnadlinger, J. Colheita de água de chuva em áreas rurais. Fórum Mundial da Água, 2, Haia, 2000. http://www.irpaa.org/publicacoes/ebooks/colheita_de_agua_de_chuva_em_areas_rurais.doc
- Gnadlinger, J. A busca da água no sertão, Juazeiro, 2001.
- Gnadlinger, J. Programa uma terra – Duas águas (P 1+2): Água de chuva para os animais e para agricultura no semi-árido brasileiro, apresentação e reflexões. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.
- Gnadlinger, J. Estratégias para uma legalização favorável à captação e ao manejo de água de chuva no Brasil. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.
- Gnadlinger, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semi-árido brasileiro. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 6, Belo Horizonte, 2007.
- Gnadlinger, J. Tailândia para o semi-árido brasileiro: Fatores de sucesso de um projeto de captação de água de chuva em larga escala. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 7, Caruaru, 2009.
- Gould, J.; Nissen-Peterson, E. Rainwater catchment systems for domestic supply. Design, construction and implementation, London, 1999.
- Han, M.; Park, J. Innovative rainwater harvesting and management in Korea. International Rainwater Catchment Systems Conference, 13, Sydney, 2007.
- Kravcik, M.; Pokorný, J.; Kohutiari, J.; Kovác, M.; Tóth, E. Water for the recovery of the climate - A new water paradigm, Bratislava, 2007, <http://www.waterparadigm.org/indexen.php?web= ./home/homeen.html>
- Lassance Jr., A. E.; Pedreira, J. S. Tecnologias sociais e políticas públicas. In: Tecnologia social, uma estratégia para o desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.
- Lima, G. V. Barragem de gabiões. Anais Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, Petrolina, 1999.
- Marengo, J. A. Mudança climática e captação e manejo de água de chuva. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.
- Neugebauer, B. Der Wandel kleinbäuerlicher Landnutzung in Oxxutzcab - Yucatán, Friburgo, Alemanha, 1986.
- Nobre, C. A.; Oyama, M. D.; Sampaio, G. O.; Marengo, J. A.; Salati, E. Impact of climate change scenario for 2100 on the biomes of South America. In: International Clivar Science Conference, Baltimore. <http://mtc-m15.sid.inpe.br/rep/cptec.inpe.br/walmeida/2004/12.22.11.08>
- Pacey, A.; Cullis, A. Rainwater harvesting. The collection of rainfall and runoff in rural areas. London, 1986.

- Porto, E. R.; Brito, L. T. de L.; Silva, A. de S. Influência do tamanho da propriedade para a convivência com o semi-árido. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.
- Porto, E. R.; Silva, A. de S.; Anjos, J. B. dos; Brito, L. T. de L.; Lopes, P. R. C. Captação e aproveitamento de água de chuva na produção agrícola dos pequenos produtores do semi-árido brasileiro. Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, Petrolina, 1999.
- Schistek, H. Caldeirão, caxio e cacimba: Três sistemas tradicionais de captação de água de chuva no Nordeste brasileiro. Anais Conferência Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, Petrolina, 1999.
- Schistek, H. Uma nova tecnologia de construção de cisternas usando como estrutura básica tela galvanizada de alambrado. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, Teresina, 2005.
- Schistek, H. Eliminação de vazamentos em cisternas de captação de água da chuva. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 7, Caruaru, 2009.
- Spinks, A. T.; Dunstan, R. H.; Coombes, P. B.; Kuczera, G. Water quality treatment processes in domestic rainwater harvesting systems. International Hydrology and Water Resources Symposium, 28, 10 -14 November 2003, Wollongong.
- Stone, R. Divining Angkor. In: National Geographic, v.216, n.1., p.26-54, 2009.
- The daily Yomiuri: World water forum, rainwater answers some water needs, Tokyo, Edição de 17-03-2003.
- Thomas, D.; Middleton, N. Desertification: Exploding the myth. New York: Wiley CO, 1994.
- Thomas, T. H.; Martinson, D. B. Roofwater harvesting: A handbook for practitioners, IRC International Water and Sanitation Centre. Delft, 2007. 160p. Technical Paper Series; no. 49
- UNESCO. Water a shared responsibility. The United Nations World Water Report 2, Paris, 2006 <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405E.pdf>
- Waterfall, P. H. Harvesting rainwater for landscape use. Tucson: College for Water and Life Sciences, University of Arizona, 2006.
- WHO. Guidelines for drinking water quality. 3. ed., Geneva, 2003, www.who.int/docstore/water_sanitation_health/GDWQ
- World Water Week. Press Release, Estocolmo, 26-08-2005, <http://www.worldwaterweek.org/press/050826.asp>
- Zhu, Q.; Li, Y. Captação de água de chuva - Uma maneira sustentável para o desenvolvimento rural integrado nas áreas montanhosas da China. Anais Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 7, Caruaru, 2009.

Reúso de águas residuárias em regiões áridas e semiáridas: A experiência israelense

Marcelo Juanicó¹

¹ Juanicó-Environmental Consultants Ltd. - Israel

- 12.1 Introdução
- 12.2 Água e esgotos em um país árido
- 12.3 Cronologia do desenvolvimento do reúso
 - 12.3.1 Anos setenta
 - 12.3.2 Anos oitenta
 - 12.3.3 Anos noventa
 - 12.3.4 Situação atual
- 12.4 Temas controvertidos
 - 12.4.1 Organização institucional
 - 12.4.2 Qual o limite do reúso?
 - 12.4.3 Nutrientes nas águas residuárias
 - 12.4.4 Relação contratual entre os setores urbano e rural
 - 12.4.5 Uso de reservatórios de águas residuais como unidades de tratamento
 - 12.4.6 Critérios para tratamento de águas residuárias para irrigação
 - 12.4.7 Salinização dos solos e aquíferos: Uma ameaça à sustentabilidade
- 12.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Reúso de águas residuárias em regiões áridas e semiáridas: A experiência israelense

12.1 INTRODUÇÃO

O Estado de Israel considera as águas residuárias parte integral dos recursos hídricos do país e tem realizado o reúso massivo durante quase quatro décadas. Atualmente, 75% de todas as suas águas residuárias, são reutilizadas. No decorrer deste texto procura-se analisar o desenvolvimento histórico do reúso em Israel, incluindo-se os principais eventos, normativas, existência de projetos de tamanhos e características diferentes, organização institucional, realização contratual entre o setor urbano e o rural, reciclagem de nutrientes, qualidade das águas residuárias e o problema da salinização de solos e aquíferos. O texto a seguir oferece uma visão holística e imparcial dos pontos controvertidos que hoje são discutidos no país, no que se refere ao reúso de águas.

12.2 ÁGUA E ESGOTOS EM UM PAÍS ÁRIDO

Israel utiliza todos os seus recursos hídricos convencionais (Tabela 12.1), visto que a falta de água é um problema crônico no País e a agricultura, que consumia, em 1985, quase 70% da água doce interna, reduziu seu consumo a menos de 40% em 2005. Nas últimas quatro décadas o País tem reutilizado suas águas residuárias de

Tabela 12.1 Recursos hídricos e demanda de água em Israel durante o ano de 2000

Disponibilidade de água		Demanda de água	
Fonte	Volume (10 ⁶ m ³ ano ⁻¹)	Setor	Volume (10 ⁶ m ³ ano ⁻¹)
Água doce	1.350	Urbano	700
Água salina	170	Industrial	85
Água residuária	350	Acordos internacionais (Jordânia e Palestina)	85
		Irrigação com água doce	500
		Irrigação com água salina e residuária	500
Total	1.870		1.870

forma massiva e hoje utiliza aproximadamente 75% dos efluentes tratados. Em anos de seca o suprimento de água convencional para a atividade agrícola é drasticamente reduzido e o uso de águas residuárias tratadas tem sido a única alternativa, em que, os produtores chegam a consumir toda a cota permitida.

Climatologicamente, o Estado de Israel pode ser dividido em duas grandes regiões: Centro-Norte, onde há predomínio do clima mediterrâneo, com invernos curtos, quentes e chuvosos e verões longos, quentes e secos; na porção Sul predomina o clima árido, com regime pluviométrico menor que 300 mm por ano (Figura 12.1).

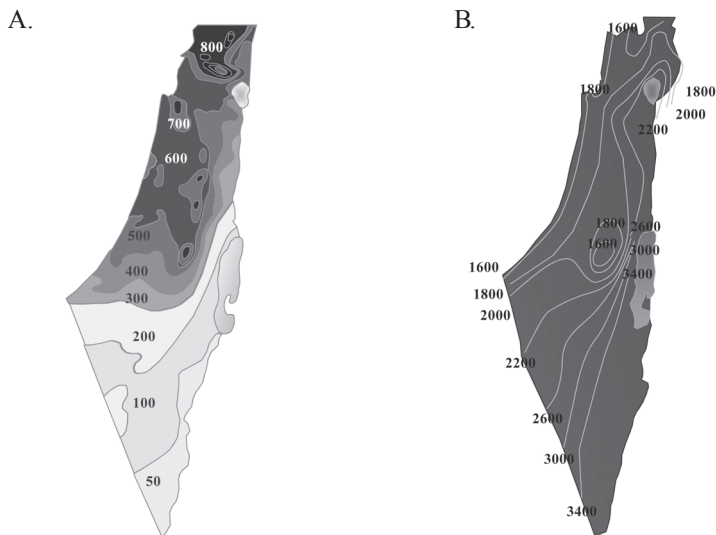


Figura 12.1 Isoetas de precipitação (A) e evaporação (B), para o Estado de Israel

Em Israel, devido às limitações topográficas e à localização das suas principais fontes (40% provêm do mar da Galileia, localizado a 200 m abaixo do nível do mar e o restante é oriundo dos aquíferos com profundidade que pode variar de 40 a 60 m, e pelas estações de dessalinização da água do mar) de água, o custo energético é bastante elevado quando comparado ao de outros países. A Mekorot (National Water Company of Israel), empresa nacional de águas, responsável pela distribuição de água aos centros urbanos e agrícolas, estima que o custo energético da água (superficial e subterrânea) gira em torno de $1,33 \text{ kW m}^{-3}$ de água fornecido aos municípios, enquanto o custo das águas provenientes do processo de dessalinização da água do mar, chega a $4,00 \text{ kW m}^{-3}$ de água.

Contudo, a prática do reúso das águas residuárias em Israel decorreu de um conjunto de fatores naturais, associados à falta crônica de água, alta densidade populacional, elevada demanda de água, alta produção de esgotos e à constante ameaça de contaminação dos escassos recursos hídricos existentes (Shelef, 1991; Friedelr, 2001).

Segundo a estrutura social, os agricultores israelenses estão organizados em dois tipos de organizações: kibutzs e moshavs, em que o primeiro se estrutura em uma unidade social do tipo socialista, composta de 200 a 2.000 associados que exploram a terra que lhes compete, e comercializam seus produtos por meio de uma única organização, enquanto o moshav é composto por uma associação de agricultores, em que cada um possui o título da terra que explora, e a comercialização é realizada individualmente. No setor árabe a terra geralmente é propriedade privada, isto é, das famílias mas, em geral, os agricultores estão organizados em associações locais para o gerenciamento da água e outras atividades. Todas essas organizações são relativamente grandes e permitem a contratação de profissionais especializados (agrônomos, engenheiros, administradores, etc.) essenciais na liderança da revolução do reúso de águas residuárias, em nível de agricultores. Por outro lado, o Ministério da Agricultura também oferece orientação profissional por meio de um eficiente serviço de extensão; então, parte do sucesso da prática do reúso na agricultura israelense se deve, à capacidade dos agricultores se organizarem e se manterem bem informados acerca das melhores práticas tecnológicas quanto à mudança do uso de água e esgoto.

12.3 CRONOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DO REÚSO

Na Tabela 12.2 está sumarizada a cronologia do desenvolvimento da prática do reúso em Israel. A “Lei da Água”, de 1959, incluiu a decisão estratégica de definir as águas residuárias como parte integral dos recursos hídricos do país, porém, o reúso foi limitado e quase sem controle, até os anos setenta. A transmissão potencial de enfermidades via irrigação com águas residuárias foi relegada até que, em 1970 ocorreu uma epidemia de cólera em Jerusalém em virtude dos vegetais serem irrigados com águas residuárias não tratadas; então, a epidemia obrigou o Ministério da Saúde a definir e aplicar uma política urgente ao setor agrícola acerca do reúso.

12.3.1 Anos Setenta

No início dos anos 70 a falta de água já era um problema sério e a Comissão da Água começou a promover o reúso das águas residuárias, através de incentivos para a construção de sistemas de tratamento e armazenamento (reservatórios), financiando a Inovação e o Desenvolvimento – I&D (Hershkovitz et al., 1969; Pano, 1975). O desenvolvimento da indústria têxtil vislumbrou um bom mercado para o cultivo de algodão e foram criados numerosos projetos pequenos com efluentes de baixa qualidade para irrigar algodão durante o verão, evento bastante benéfico para todas as partes: o setor urbano solucionou, a baixo custo, o problema das águas residuais, o lançamento de efluentes nos corpos hídricos foi reduzido, os agricultores recebiam a água de que precisavam para irrigar o algodoeiro e a indústria têxtil começou a receber algodão local a baixo custo.

Tabela 12.2 Cronologia do desenvolvimento da prática do reúso no estado de Israel

Até 1970	Anos 70	Anos 80	Anos 90	2000
Projetos de infra-estrutura				
<ul style="list-style-type: none"> - Iniciativas isoladas - Capacidade de armazenamento em reservatórios ~ 20 Mm³. 	<ul style="list-style-type: none"> - Numerosos projetos novos locais. - Incremento na capacidade de armazenamento em reservatórios em 50 Mm³ durante a década. 	<ul style="list-style-type: none"> - Numerosos projetos novos locais. - Capacidade de armazenamento em reservatórios aumenta em 65 mm³ durante a década. - Haifa-Kishon implanta o 1^o projeto inter-regional com efluentes de boa qualidade para uso restrito. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alguns novos projetos de tamanho médio. - Capacidade de armazenamento em reservatórios aumenta em outros 30 Mm³ durante a década. - Vale do Jeezrael: projeto regional cobre 7 povoados. Efluentes de boa qualidade para uso restrito. - Tel Aviv (Dan). 1989-1990 implanta o maior projeto inter-regional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vários novos projetos de tamanho médio. - Jerusalém Ocidental desenvolve projeto inter-regional para irrigação irrestrita.
Principais Eventos				
<ul style="list-style-type: none"> - Reúso não controlado provoca, em 1970, uma epidemia de cólera em Jerusalém devido à irrigação de vegetais com efluentes não tratados. - O governo começa a controlar o reúso. - Governo começa a promover o reúso (Hershkovitz et al. 1969). 	<ul style="list-style-type: none"> - O Banco Mundial financia o início do reúso a nível nacional e é declarada a política nacional. - Começa a irrigação massiva de algodão com efluentes de baixa qualidade. - Iniciam-se os primeiros estudos sobre os efeitos do reúso sobre a saúde pública (Fattal et al., 1981; 	<ul style="list-style-type: none"> - O reúso chega a 70% no início dos anos 80. - Irrigação por gotejamento se transforma na tecnologia dominante. - O mercado do algodão começa a declinar em meados dos anos 80. - Efluentes de melhor qualidade ampliam o espectro de cultivos irrigáveis. - O Ministério 	<ul style="list-style-type: none"> - A maioria dos esforços é orientada quanto a melhoria da qualidade dos efluentes para um reúso sustentável. - Propõe o uso de águas residuárias tratadas para recuperar rios, paisagens e usos urbanos não-potáveis. - Primeiro projeto de irrigação irrestrita (Tel Aviv-Dan). 	<ul style="list-style-type: none"> - Propõe-se o estudo do uso de efluentes terciários para a aquícultura. - Chega-se a 75% de reúso, apesar do rápido aumento da população. - Aprovam-se planos para alcançar o uso de 100% das águas residuárias tratadas. - Começam a aparecer os primeiros resulta-

Continua...

Continuação da Tabela 12.2

Até 1970	Anos 70	Anos 80	Anos 90	2000
	Vasl & Kott 1981; Fattal et al., 1986).	do Ambiente é criado em 1989 e estuda aspectos ambientais do reúso.	- Estudam-se os efeitos agro-técnicos do reúso, principalmente salinização de solos e obstrução de sistemas de gotejamento. - A salinização é reconhecida como problema sério. Começa uma campanha para reduzir a adição de sais nas águas residuárias.	dos dos estudos sob efeitos de longo prazo da prática do reúso. - A sustentabilidade do reúso passa a ser o principal tema de Pesquisa e Desenvolvimento e discussão.

Sistemas simples de tratamento e armazenamento foram construídos em duas lagoas anaeróbicas em paralelo, seguidas de um reservatório para acumulação dos efluentes durante o inverno, para utilizá-los na irrigação, no verão (Juanicó & Shelef, 1991; Juanicó & Shelef, 1994). As águas residuárias produzidas por esses sistemas eram de baixa qualidade mas a irrigação de algodão não requeria nenhuma qualidade especial.

12.3.2 Anos Oitenta

Nos anos 80 o mercado do algodão começou a declinar e os agricultores tiveram que buscar cultivos alternativos. Os novos cultivos exigiram qualidades melhores do que as produzidas pelos sistemas dos anos setenta. O governo investiu maciçamente em Pesquisa e Desenvolvimento – P&D de alternativas visando melhorar o funcionamento dos reservatórios e sistemas complementários (Shelef et al., 1987). A irrigação por gotejamento foi introduzida massivamente durante esta década e o sistema de gotejamento subsuperficial começou a ser desenvolvido (Oron & DeMalach, 1987). O primeiro grande sistema regional de reúso (Haifa-Kishon) começou em 1984 (lodos ativados seguidos de dois reservatórios em série) e após sua implantação montou-se um sistema de monitoramento multidisciplinar durante vários anos, a fim de controlar e estudar o funcionamento do sistema (Rebhun et al., 1987; Juanicó, 1989; Weber & Juanicó, 1990; Azov & Juanicó, 1991).

12.3.3 Anos Noventa

Durante os anos 90 outros dois projetos de grande porte foram implementados: Tel Aviv – Shafdan, baseado em lodos ativados (Figura 12.2A) e seguidos de infiltração

em aquífero (SAT-Soil Aquifer Treatment), que fornecem águas residuárias para irrigação irrestrita (Azov et al., 1991, 1992; Ickson-Tal et al., 2003) e o projeto do Vale de Jeezrael com base em sistemas semi-intensivos (Figura 12.2B), que fornecem efluentes de alta qualidade, porém para irrigação restrita (Friedler, 1999; Juanicó & Milstein, 2004).

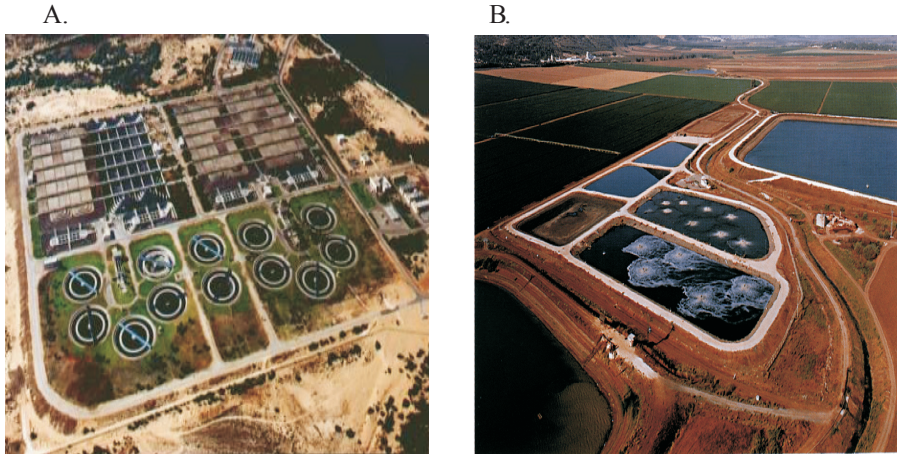


Figura 12.2 Estação de tratamento de Shafdan, localizado ao Sul de Tel Aviv (A) e de Migdal Ha Emek, no Vale de Jeezrael (B)

Desenvolveu-se a tecnologia necessária à otimização, definição de novos layout e a de operação dos reservatórios (Figura 12.3), para armazenamento do efluente tratado (Juanicó & Dor, 1999). Os aspectos agrotécnicos da irrigação com águas residuárias também foram estudados (Adin & Elimelech, 1989; Feigin et al., 1991; Teltsch et al., 1991; Friedler & Juanicó, 1996). A competência no gerenciamento dos já escassos recursos de água doce e a crescente disponibilidade de águas residuárias de alta qualidade resultaram em várias propostas para reutilizar os efluentes tratados em prol da recuperação de rios (Gafni & Bar-Or, 1995; Juanicó & Friedler, 1999), desenvolvimento paisagístico e usos urbanos não-potáveis (Lahav, 1995). Vários programas de monitoramento e de P&D sinalizaram para a ocorrência de problemas de salinização de solos e aquíferos, em consequência da irrigação com águas residuárias, quando então o Ministério do Ambiente começou uma campanha para reduzir a adição de sais à água durante o uso urbano e industrial (Weber et al., 1996; Weber & Juanicó, 2004).

12.3.4 Situação Atual

Em 2007 a produção de águas residuais no país foi estimada em $520 \text{ Mm}^3 \text{ ano}^{-1}$, dos quais cerca de $470 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ foram tratados nas estações de tratamento – ETEs e $385 \text{ Mm}^3 \text{ ano}^{-1}$ foram efetivamente utilizados; desta forma, quase 75% das

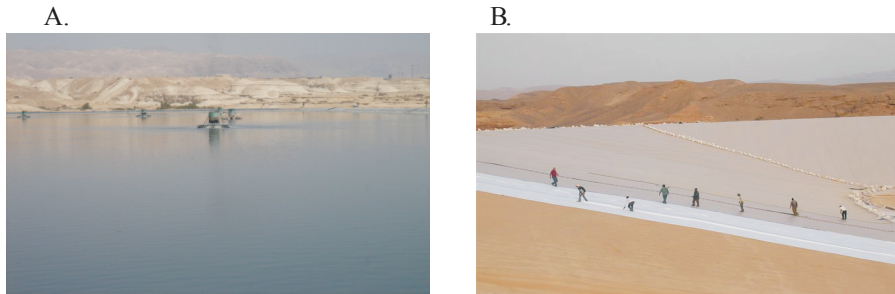


Figura 12.3 Reservatório de Nahal localizado no mar morto (A), e a construção do reservatório localizado na cidade de Eilat, com capacidade de 2,0 milhões de m³ (B)

águas residuárias do país foram reutilizados, especialmente pelo setor agrícola; o reúso industrial adquire importância e tem crescido rapidamente.

Hoje, o armazenamento dos efluentes tratados é realizado durante o período do inverno-verão em mais de 200 reservatórios (Figura 12.4) distribuídos em todo o país; os efluentes tratados da região metropolitana de Tel Aviv são armazenados em reservatórios subterrâneos implantados mediante isolamento das zonas do aquífero costeiro; nos dois casos as unidades de armazenamento funcionam também como unidades de tratamento adicional.

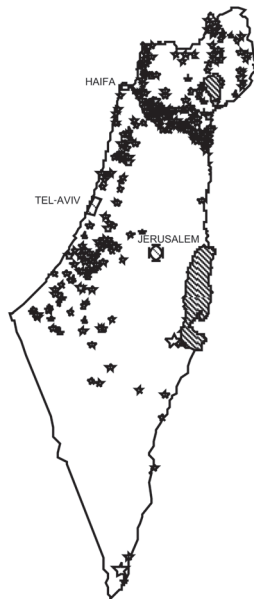


Figura 12.4 Distribuição espacial dos reservatórios de armazenamento de água residuária no Estado de Israel

A coexistência de projetos de tamanho e características diferentes (Tabela 12.3), não só é possível mas também desejável. Projetos de grande porte têm grande impacto econômico e no desenvolvimento regional, porém são difíceis de planejar, financiar e executar. Projetos pequenos têm impacto somente local e, em geral, produzem águas residuais de qualidade limitada, embora sejam simples de implantar e operar e a soma de vários projetos pequenos tem efeito total, comparável ao de um grande projeto. A política nacional é promover projetos de todos os tamanhos.

Tabela 12.3 Projetos de diferentes tamanhos e alcance para o reúso de águas residuais

Projeto	Capacidade (10 ⁶ m ³ ano ⁻¹)	Alcance
Kibbutz Getaot (old)	00,10	Local, um povoado
Gedera	01,50	Local, vários povoados
Vale do Jeezrael	10,00	Regional
Haifa Metropolitana	25,00	Inter-regional

Os projetos maiores e alguns de porte médio produzem águas residuárias de qualidade irrestrita para fins de irrigação; os projetos menores, em razão de produzirem efluentes de qualidade menor, ficaram restritos à irrigação de frutíferas (destinadas a conservas e com cascas não comestíveis), vegetais que são comidos cozidos, cultivos industriais (algodão e outros), bosques e pastagens.

A piscicultura é uma atividade de grande importância para o País; entretanto, a disponibilidade de água convencional tem sido fator limitante na manutenção e expansão da atividade (Mires, 2000). Atualmente, está em estudo a possibilidade de se utilizar efluentes terciários na aquicultura. A Comissão de Água tem financiado projetos de P&D para desenvolver uma norma referente à concentração de metais pesados e o Ministério de Saúde tem aprovado, “em princípio”, a possibilidade de criação de peixes em efluentes terciários (Feldite et al., 2008). A criação de algas nas salmouras das unidades de osmose reversa, também está em estudo.

12.4 TEMAS CONTROVERTIDOS

12.4.1 Organização Institucional

Em Israel existem inúmeras instituições envolvidas com o reúso de águas residuárias, dentre as quais são referidas:

✓ Comissão de Água: encarregada do manejo dos recursos hídricos, planejamento e controle do desenvolvimento de novos recursos, economia no setor de água, substituição de cotas de água por cotas de águas residuais.

✓ Ministério de Saúde: responsável pela saúde pública e pelo desenvolvimento das normativas sobre a qualidade e tipos de tratamentos das águas residuárias a serem reutilizadas.

✓ Ministério do Ambiente: encarrega-se de todo tema relacionado ao meio ambiente, substâncias tóxicas, quantidade de sais, excesso de nutrientes, etc.; tal

como dos impactos ambientais provocados e das alternativas de reúso (descarga de efluentes nos rios, mar, lagos, etc.).

✓ Ministério de Agricultura: controla os aspectos agrotécnicos do reúso (concentrações de sais, boro, nutrientes, capacidade de colmatação dos sistemas de irrigação por gotejamento, etc.) e a organização do setor agrícola, referente ao reúso, incluindo a extensão agrícola.

✓ Ministério de Infraestrutura: financia e subsidia projetos de estações de tratamento de águas residuárias e supervisa as obras civis de engenharia.

✓ Ministério do Tesouro: determina a política econômica e fornece os fundos para a administração das águas convencionais e residuais; avalia, também, o impacto econômico da normativa ambiental.

✓ Ministério do Interior: planejamento territorial e aprovação de projetos específicos.

Na teoria, essa divisão de funções parece correta; no entanto, é bastante problemática na prática. A lei israelense não é suficientemente clara e tem sobreposição de responsabilidades. Por exemplo, não é incomum que o Ministério de Saúde exija quais são as condições administrativas e/ou financeiras de um projeto e os aspectos agrotécnicos, que nada têm a ver com saúde pública. Existe um conflito entre o Ministério do Ambiente e a Comissão de Água sobre quem tem a prerrogativa sobre a proteção dos solos e águas subterrâneas. Existe uma sobreposição não clara entre as responsabilidades das agências centrais (Ministérios) e as locais (municipais). Algumas comissões interministeriais têm sido criadas a fim de superar essas dificuldades, mas estas comissões são mais efetivas para o desenvolvimento de políticas e instrumentos legais, o que tem resultado, do ponto de vista prático, no aumento da burocracia para aprovar projetos específicos e obter licenças. O Governo decidiu, então, criar uma “Agência de Água”, que entrou em atividade em 2007. Esta Agência concentra e coordena todas as atividades relacionadas ao setor de águas. As prerrogativas desta Agência têm sido discutidas e rediscutidas e sua real efetividade está ainda sendo analisada. As maiores mudanças na nova Agência de Águas são:

- ✓ Vários corpos reguladores - uma agência única
- ✓ Cadeia de água quebrada - cadeia completa numa agência única
- ✓ Decisões políticas - decisões técnicas (especialmente quanto ao preço da água)

12.4.2 Qual o limite do reúso?

A porcentagem de águas residuárias que são reutilizadas, tem-se mantido em torno de 70%, por mais de uma década (75 % em 2008), apesar dos esforços para incrementá-lo. Os principais fatores apontados são: alto crescimento da população imigrante no país, que tem contribuído com o aumento do volume de esgoto gerado; contudo, a demanda por água residuária não cresce na mesma proporção. Outro fator se sustenta, que parece ser difícil superar os 75% de reúso. Os primeiros projetos foram, naturalmente, os mais promissores; atualmente, após quatro décadas de

esforços de depuração e reúso, os projetos, ainda em operação, apresentam altos custos, dificuldades de ordem estrutural (engenharia), falta de demanda de águas residuais na zona de sua abrangência, etc.; no entanto, o governo tem estabelecido, como meta, chegar a quase 100% do reúso, mas a decisão é controvertida.

Nos últimos anos Israel tem começado um programa de dessalinização massiva de água de mar (Dreizin et al., 2008): uma unidade de $100 \text{ M m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (Figura 12.5) começou a funcionar em 2005 e outra em 2009, com custos da ordem de 0,55 a 0,65 US\$ m^{-3} ; outras unidades estão sendo construídas. Também se iniciou um plano de dessalinização de águas salobras em várias unidades locais, que atingirá de 0,5 a $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Os custos de dessalinização versus reúso das águas residuais, estão sendo discutidas e comparadas para tomada de decisão.

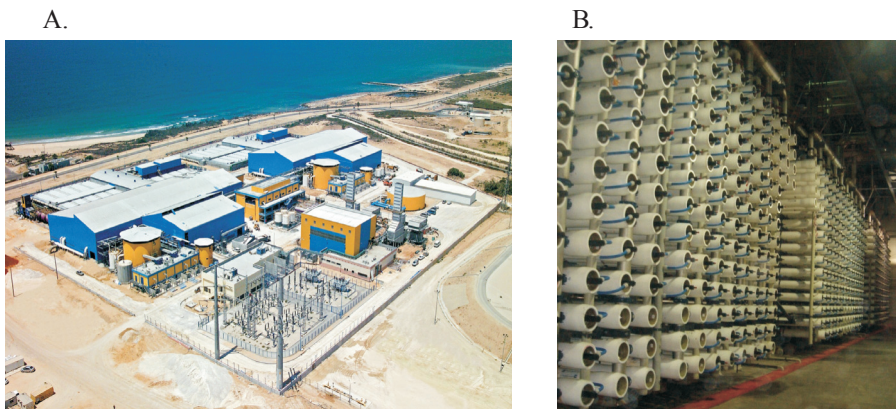


Figura 12.5 Planta de dessalinização de Ashkelon, ao Sul de Tel Aviv (A), e detalhe de parte do sistema de membranas (B)

12.4.3 Nutrientes nas águas residuárias

Tem-se sustentado que, os nutrientes nas águas residuárias são fertilizantes e, portanto, não devem ser retirados; esta idéia não tem funcionado em Israel, pelo menos até o momento. A quantidade de N e P nas águas residuárias tratadas é maior que a requerida pelos cultivos durante alguns meses do ano, ocasionando problemas de crescimento vegetativo. A acumulação de P no solo e a contaminação das águas subterrâneas por N têm sido confirmadas. O monitoramento da concentração de nutrientes nas águas residuárias em tempo real, é difícil e, os agricultores adotam uma posição conservadora, reduzindo, em parte, a dose de fertilizantes aplicada; assim, a maioria dos nutrientes aportados pelas águas residuárias não é na realidade, reciclada e se somam a este problema, a sobrefertilização (Juanicó, 1993; Avnimelech, 1997). Um estudo recente de longo prazo feito por Tarchitzqui et al., (2005), confirma que depois de mais de dez anos de esforços para resolver este impasse, a maioria dos agricultores ainda não leva em conta o aporte de nutrientes nas águas residuais. Em

2005 o governo aprovou a aplicação gradual das recomendações da Comissão Inbar, que requer a remoção de nutrientes nas ETEs a fim de resolver o problema, enquanto outros profissionais insistem que se deve orientar melhor aos agricultores no cálculo de nutrientes e doses de fertilizantes. Em janeiro de 2010 as recomendações da Comissão Inbar foram aprovadas por lei.

12.4.4 Relação contratual entre os setores urbano e rural

As unidades de tratamento de lagoa anaeróbica mais reservatório, implantadas durante os anos setenta, eram uma solução simples e barata para o cultivo do algodão. Na maioria dos casos, os reservatórios foram construídos pelos agricultores ávidos por água para irrigação. Nos anos oitenta, com o declínio do mercado do algodão, muitos agricultores se negaram a receber as águas residuárias de baixa qualidade e interromperam sua entrada nos reservatórios de sua propriedade; as águas residuais de baixa qualidade começaram novamente a ser lançadas nos rios; em alguns casos, existia um compromisso contratual dos agricultores de receberem todas as águas residuais produzidas pelo setor urbano, mas os agricultores foram, de fato incapazes de assumir esta obrigação.

A falta de uma separação clara de responsabilidades entre os setores urbano e rural a respeito do tratamento e disposição das águas residuais, levou a numerosos conflitos durante os anos oitenta e começo dos anos noventa (Juanicó, 1993). As agências reguladoras se viram em dificuldades para atribuir responsabilidades, visto que os setores urbano e rural se acusaram mutuamente pela contaminação e o governo se encontrou em si mesmo, o papel de moderador entre as partes do conflito, ante a função de controlador. Finalmente, o Protocolo de Saúde Pública de 1995 (lei) determinou que o setor urbano tem toda a responsabilidade pelo tratamento e disposição das águas residuárias, e que tal responsabilidade não pode ser transferida ao setor rural nem a terceiros. Hoje, quando o setor rural se encarrega do tratamento, armazenamento e reúso de água; atua como subcontratada do setor urbano à qual se amputam responsabilidade perante a lei.

Hoje coexistem numerosas relações entre os setores urbanos e rurais, acerca do tema. Os grandes projetos do País são operados pela companhia governamental da água (Mekorot), que vende águas residuárias já tratadas aos agricultores. Algumas ETEs de tamanho médio são de propriedade e operadas pelos municípios, que também vendem, ao setor rural, as águas residuárias tratadas. Em alguns projetos de tamanho médio os municípios financiam, ao setor rural (associação de agricultores), os custos com a construção e operação das ETEs e do sistema de reúso e as associações conseguem vender águas de reúso aos seus membros, a um custo menor.

Pequenos povoados rurais costumam ter seus próprios sistemas de depuração e reúso com os quais irrigam seus campos.

12.4.5 Uso de reservatórios de águas residuais como unidades de tratamento

Os reservatórios de águas residuárias (Figura 12.6) são unidades boas e confiáveis para o tratamento e armazenamento dos efluentes, quando operados em batelada ou

em séries (Juanicó & Dor, 1999), porém só um número limitado utiliza os reservatórios desta forma. Na maioria dos casos o tratamento é concluído na ETE e os reservatórios são operados em fluxo-contínuo, com três objetivos:

1. Armazenamento estacional
2. Equalização e tratamento de falhas da ETE (função muito importante)
3. Polimento (só em sistemas pequenos).

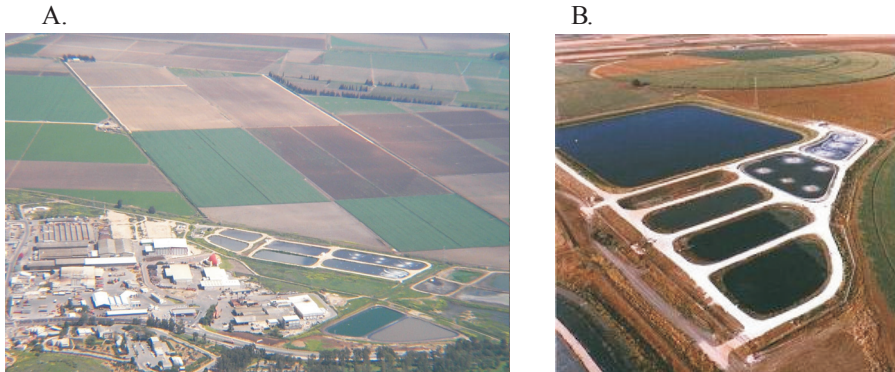


Figura 12.6 Sistemas semi-intensivos utilizados como unidades de tratamento e armazenamento: Ben Slimane (A) e Yoqneam (B)

Todavia, as agências reguladoras não estão interessadas em considerar os reservatórios como unidades de tratamento, visto que a maioria dos reservatórios é de propriedade dos agricultores, e eles não têm a responsabilidade legal pela qualidade das águas residuárias tratadas nem o conhecimento técnico para operar os reservatórios como unidades de tratamento. A fim de utilizarem os reservatórios como unidades de tratamento seria necessário transferir sua operação aos operadores das ETEs (que pertencem ao setor urbano). Os agricultores também não estão interessados, porque a operação dos reservatórios em batelada reduz a quantidade de água que o reservatório pode fornecer durante a estação de irrigação; eles preferem receber esgotos já totalmente tratados e utilizar os reservatórios só para armazenagem; assim, a mudança dos reservatórios de “unidades de armazenagem” a “unidades de tratamento” é limitada, não por questões técnicas mas por questões institucionais e administrativas.

12.4.6 Critérios para tratamento de águas residuárias para irrigação

A Comissão Shelef (1977), do Ministério da Saúde, definiu quatro categorias de cultivos que requeriam diferentes qualidades de águas residuais. Algodão e outros cultivos industriais requeriam demanda bioquímica de oxigênio (DBO) < 60 mg L⁻¹, sólidos totais (SST) < 50 mg L⁻¹ e oxigênio dissolvido (OD) > 0,5 mg L⁻¹. A irrigação irrestrita requeria DBO < 15 mg L⁻¹, cloração durante 2 horas de contato, cloro residual > 0,5 mg L⁻¹ e coliformes fecais (CF) < 12 100 mL⁻¹.

A Comissão Halperin (1999), também do Ministério da Saúde, adotou o “Title 22” americano com poucas modificações, contra a opinião dos acadêmicos consultados. Os requerimentos para a categoria “irrigação irrestrita” incluem “tratamento biológico mecânico” e filtração em média granular, seguida de cloração.

A Comissão Inbar (2003; 2005), do Ministério do Ambiente, propôs depurar todas as águas residuárias à qualidade de “irrigação irrestrita”. Em 2005, o governo aprovou a aplicação gradual das recomendações da Comissão Inbar e em janeiro 2010 foram aprovadas por lei. Os parâmetros de qualidade utilizados não se limitam à proteção da saúde pública (já incluídos pelos delineamentos da Comissão Halperin), porém se estendem à proteção ambiental e ao reúso sustentável. A introdução do conceito de “sustentabilidade” é significativa. Os delineamentos da Comissão Inbar incluem numerosos parâmetros (matéria orgânica, nutrientes, patógenos, sais, metais pesados, detergentes, cianidas e outros) e esses critérios reconhecem a existência de regiões do País, que são ambientalmente menos sensíveis que outras (devido especialmente à falta de aquífero nessas regiões) e nelas se aplicam requerimentos menos restritivos; desta forma, a Comissão Inbar abandona o conceito prévio de “diferentes qualidades para diferentes cultivos” e adota um novo conceito o de ‘diferentes qualidades para diferentes regiões, mas todas as qualidades são de irrigação irrestrita’. Os requerimentos não incluem o “tratamento biológico mecânico” da Comissão Halperin, abrindo a porta a novas tecnologias de depuração. Além disso, a Comissão Inbar estabelece requerimentos para o lançamento de águas residuárias nos rios, em consonância com o plano nacional para recuperá-los.

Todo o tema, quanto aos requerimentos de qualidade e grau de depuração, é altamente controverso. Muitos profissionais consideram que as Comissões Halperin e Inbar são excessivamente conservadoras; outros sustentam que todas as águas residuárias deveriam ser tratadas para alcançar a maior qualidade possível, incluindo floculação/filtração (Rebhun, 2003), ou a nível de água potável, mediante tecnologia de membranas, incluindo dessalinização (Zaslavski, 2001). O impacto nos custos de energia (petróleo ou carvão) em face aos diferentes níveis de tratamento das águas residuárias, atualmente se tem centrado na pauta de discussão entre os especialistas e os tomadores de decisão.

12.4.7 Salinização dos solos e aquíferos: Uma ameaça à sustentabilidade

As águas residuárias são mais salgadas que as águas de abastecimento em virtude da adição de sais durante o uso doméstico e industrial (Tabela 12.4) e os sais são reciclados junto com a água. Tem-se detectado, em Israel, um claro processo de salinização dos solos e aquíferos e se tem utilizado uma metodologia multiestágios para combatê-lo (Figura 12.7). As principais causas desses processos estão sendo estudadas e este tema também é bastante controverso. Alguns hidrólogos e edafólogos sustentam que a salinização é devida principalmente a processos naturais enquanto outros concluem que a irrigação com águas residuárias e salobras é a causa principal. Neste momento, leva-se a cabo uma revisão do processo de salinização

cujos resultados indicam que as causas não são as mesmas, em todas as partes. A maioria dos especialistas sustenta que a salinização devida à irrigação com águas residuárias é uma ameaça à sustentabilidade da prática, inclusive naquelas áreas nas quais os processos naturais constituem a causa principal.

Tabela 12.4 Concentração média de sódio nas águas de abastecimento e residuárias em duas cidades de Israel

Cidade	Concentração de Na (mg L ⁻¹)		
	Água		Adição
	Abastecimento	Residuária	
Tel Aviv	107	236	129
Haifa	110	256	146

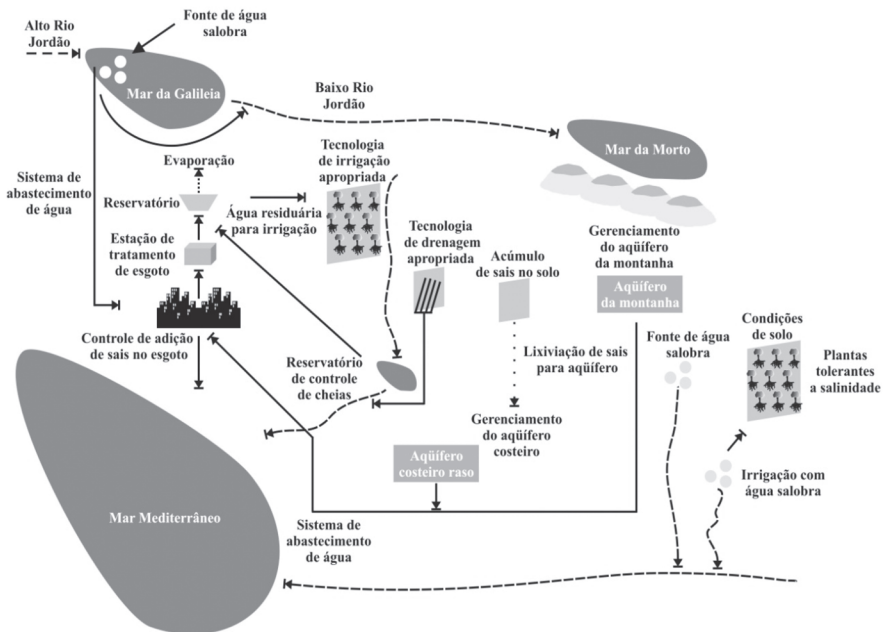


Figura 12.7 Fluxograma simplificado das medidas adotadas para o enfrentamento dos problemas de salinização dos solos e aquíferos em Israel

Não existem, atualmente, técnicas de baixo custo para a remoção de sais, desde que eles já estejam incorporados às águas residuárias (Harussi et al., 2001); então, a prevenção de sua entrada é a solução mais imediata. Diante disto, o Ministério do Ambiente leva a cabo uma campanha nacional para reduzir a adição de sais às águas residuárias, desde o início dos anos noventa (Weber et al., 1996; Weber & Juanicó, 2004).

Estudos temporais indicaram que os detergentes era a principal fonte de sais e boro, nas águas residuárias, durante os anos noventa (Tabela 12.5). Uma norma referente à formulação de detergentes industriais e de lavagem de roupa, foi aprovada em 1999; outras fontes importantes de sais eram o processo de abrandamento de água industrial (intercâmbio iônico), salinização da carne “kosher” e neutralização de pH em efluentes industriais. Inicialmente a descarga de salmouras à rede de esgoto foi limitada e, posteriormente, proibida, enquanto era construída uma rede para a descarga de salmouras no mar. A quantidade de sais lançada ao mar alcançou 37.000 t em 2004; todas as descargas são monitoradas e controladas pelo Ministério do Ambiente e cumprem a Convenção de Barcelona para a Proteção do Mar Mediterrâneo. O intervalo de pH permitido em efluentes industriais lançado à rede de esgotos, também foi aumentado. O Ministério do Ambiente tem promovido a substituição do Na por K ou Ca nos processos industriais de abrandamento e neutralização, tal como, também, a substituição de abrandamento por osmose reversa e de sistemas de ar condicionado baseados em água por aqueles baseados em ar. A Tabela 12.6 lista outras iniciativas orientadas para reduzir a quantidade de sais lançado à rede de esgotos. A indústria israelense tem sofrido uma mudança drástica neste aspecto, durante os últimos anos; até os hospitais substituíram as tecnologias de abrandamento em 2002 e reduziram as descargas de sais nas redes de esgoto, em 1.000 toneladas ano. Todos esses esforços estão resultando numa redução na concentração de sais e boro, nas águas residuárias (Figura 12.8).

Tabela 12.5 Adição média de sódio nas águas residuárias de Tel Aviv, segundo os usos

Usos	Quantidade de sódio	
	(t ano ⁻¹ x 1000)	(mg L ⁻¹)
Detergentes	18	53
Doméstico	9	26
Indústrias	6	17
Abrandamento de água	8	22
Fisiológico	4	11
Total	45	129

Fonte: Mercado & Banin (1994)

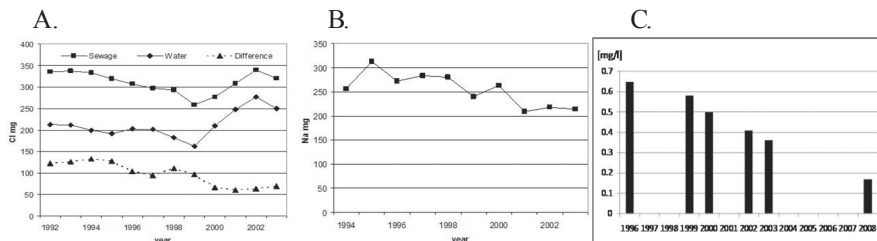


Figura 12.8 Concentração média de cloreto na água de abastecimento e na rede de esgoto de Tel Aviv (A), de sódio na rede de esgoto (B) e boro, no Estado de Israel (C)

Tabela 12.6 Normativa e atividades visando à redução dos sais contidos nas águas residuárias em Israel

Ano	Normativa e atividades
1991	✓ Indústrias que consomem quantidades de sais acima do Permitido para a regeneração de água: através do processo de intercâmbio iônico devem usar sais de K.
1993	✓ Algumas fábricas foram instaladas para lançar salmouras ao mar.
1994	✓ Normativa sobre o uso de sais nos intercâmbios iônicos.
1995	✓ Critérios para controlar o lançamento de sais em abatedouros.
1996	✓ Início da construção de uma rede nacional e de pontos de descargas de salmoura ao mar.
1997	✓ O lançamento de salmouras a rede esgoto é limitada por lei. ✓ Normatização para a construção e operação de tanques de evaporação.
1998	✓ O lançamento de salmouras a rede esgoto é proibida por lei.
1999	✓ Normas acerca da formulação de detergentes domésticos e industriais, requerem a redução de boro, sódio e cloro.
2000	✓ Recomendações para substituir a desinfecção de piscina de natação com compostos de cloro, por eletrólises de sal.
2002	✓ Protocolo de intercâmbios iônicos. ✓ Limitações no uso de sistemas de ar condicionado e refrigeração baseada em água. ✓ Limitações na condutividade elétrica das águas residuárias da produção de pickles. ✓ Normativa sobre sais em efluentes industriais:
2003	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cloro: adição de não mais de 200 mg L⁻¹ na água de abastecimento ▪ Sódio: adição de não mais de 130 mg L⁻¹ na água de abastecimento ▪ Fluor: 6 mg L⁻¹ ▪ Boro: 1,5 mg L⁻¹
Propostas em discussão	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proibição ao uso de intercâmbios iônicos domésticos. ✓ Mais restrições à formulação de detergentes para lavagens de prato. ✓ Educação pública: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso correto de sais em lavadoras de prato ▪ Uso correto de detergentes

12.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, pode-se inferir que as águas residuárias podem fazer parte integrante dos recursos hídricos das regiões áridas e semiáridas; no entanto, essa integração requer esforços em vários níveis: normativo, institucional, financeiro, tecnológico, agrônômico, etc.

A propriedade dos esgotos e a responsabilidade pelo funcionamento correto das estações de tratamento, devem ser claramente estabelecidas em lei; de modo a evitar

a superposição de responsabilidades, entre as distintas instituições envolvidas. São muitos tipos de contrato possíveis entre o setor urbano e o setor rural; todos funcionam quando a propriedade/responsabilidade pelas águas residuárias é claramente estabelecida.

Serviços de assistência técnica aos agricultores é um ponto essencial para que a prática do reúso de águas residuárias na irrigação, obtenha êxito.

A coexistência de projetos de diferente tamanho e alcance é possível e desejável; todavia, os potenciais problemas de um projeto de reúso não devem, necessariamente, ser solucionados e/ou previstos desde o início, pois as soluções locais podem resultar em resultados mais adequados e têm como referência um sistema de monitoramento criterioso; porém projetos com águas residuais de qualidade muito baixa para irrigar um número muito limitado de cultivos industriais, podem levar a situações instáveis devido principalmente às oscilações de preços desses cultivos; então, quanto maior a qualidade das águas residuárias tratadas maior também o espectro de cultivos que podem ser irrigados.

Se os agricultores não contabilizam os nutrientes incluídos nas águas residuárias reutilizadas, a remoção de nutrientes na ETE se torna necessária e desejável.

Os reservatórios de águas residuárias podem ser unidades excelentes para o tratamento de efluentes mas devem ser operados de maneira criteriosa, visando obter a qualidade desejável dos efluentes.

Os primeiros projetos de reúso são, naturalmente, os mais promissores e fáceis de instalar; no entanto, à medida em que há ampliação do sistema com o passar dos anos, associados aos avanços tecnológicos de tratamento, armazenamento e de reúso, esses projetos tendem a ser mais complicados de operar e com menores benefícios. Atualmente, Israel tem ficado em torno de 75% de reúso das águas residuárias tratadas, apesar dos esforços por alcançar os 100%.

A proteção da saúde pública e os parâmetros agrotécnicos devem ser a preocupação inicial para a prática do reúso. Uma vez que existem respostas positivas a essas preocupações, os problemas ambientais de sustentabilidade (e.g., salinização de solos e aquíferos) deverão adquirir um peso maior.

A redução de sais e boro adicionados aos esgotos domésticos e industriais, é uma prática possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adin, A.; Elimelech, M. Particle filtration for wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.115, n.3, p.474-487, 1989.
- Avnimelech, Y. Wastewater recycling in Israel: Past, present and future. *International Water Engineering*, v.17, n.9, p46-50, 1997.
- Azov, Y.; Juanicó, M. Changes in the chemical structure of the effluents of the Kishon complex (salts). In: *The Kishon reuse complex monitoring program*, Technion, Haifa, Annual Report v.7, p.71-82, 1991. (in Hebrew)

- Azov, Y.; Juanicó, M.; Shelef, G. Monitoring large scale wastewater reclamation systems – policy and experience. *Water Science and Technology*, v.26, n.7-8, p.1545-1553, 1992.
- Azov, Y.; Juanicó, M.; Shelef, G.; Kanarek, A.; Priel, M. Monitoring the quality of secondary effluents reused for unrestricted irrigation after underground storage. *Water Science and Technology*, v.24, n.9, p.267-276, 1991.
- Dreizin, Y.; Tenne, A.; Hoffman, D. Integrating large scale seawater desalination plants within Israel's water supply system. *Desalination*, v.220, n.1-3, p.132-149, 2008.
- Fattal, S.; Shuval, H.I.; Wax, Y.; Davies, A. M. Study of enteric disease transmission associated with wastewater utilization in agricultural communities in Israel. In: *Proceedings Water Reuse Symposium*, 2, 1981, Denver. v.3, p.2200-2215, 1981.
- Fattal, B.; Wax, Y.; Agursky, T.; Shuval, H. Comparison of three studies performed in Israel on health risk associated with wastewater irrigation. In: Dubinsky, Z.; Steinberger, Y. (ed.). *Environmental quality and ecosystem stability*, Ramat Gan, Israel. Bar-Ilan: University Press, 1986. v.3A, p.783-794.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. *Irrigation with Treated Sewage Effluent*. Berlin: Springer-Verlag, v.17, 1991. 224p. *Advanced Series Agricultural Sciences*
- Feldlite, M.; Juanicó, M.; Karplus, I.; Milstein A. Towards a safe standard for heavy metals in reclaimed water used for fish aquaculture. *Aquaculture*, v.284, n.1-4, p.115-126, 2008.
- Friedler, E. The Jeezrael Valley project for wastewater reclamation and reuse, Israel. *Water Science and Technology*, v.40, n.4-5, p.347-354, 1999.
- Friedler, E. Water reuse - an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*, v.3, p.29-39, 2001.
- Friedler, E.; Juanicó, M. Treatment and storage of wastewater for agricultural irrigation. *Water Irrigation. Review*, v.16, n.4, p.26-30, 1996.
- Gafni, A.; Bar-Or, Y. Proposal for the solution of the effluents excess problem by using them for the revival of the main rivers in Israel. *Water and Irrigation*, v.34, p.45-48, 1995. (in Hebrew)
- Goldman, D. Management of water systems - The legal frame in Israel. Jerusalem, Israel: Report of the Florsheimer Institute for Policy Research, 1996. (in Hebrew)
- Halperin, R. (Committee Chairman) Principles for the approval of permits for irrigation with wastewater. Jerusalem, Israel: Ministry of Health - Israel, Division of Environmental Health, 1999. (in Hebrew).
- Halperin, R.; Aloni, U. Rules for wastewater reuse in the city, landscape and industry. Jerusalem, Israel: Report of the Ministry of Health-Israel, Division of Environmental Health, 2003. (in Hebrew)
- Harussi, Y.; Rom, D.; Galil, N.; Semiat, R. Evaluation of membrane processes to reduce the salinity of reclaimed wastewater. *Desalination*, v.137, n. 1-3, p.71-89, 2001.
- Hershkovitz, S. Z.; Mor, A.; Noi, Y.; Feinmesser, A.; Fleisher, M.; Kishoni, S. Utilization of sewage for crop irrigation. Jerusalem, Israel: Agricultural Publications Division, Water Commission, Ministry of Agriculture, N° 85, 1969. (in Hebrew)

- Icekson-Tal, N.; Avraham, O.; Sack, J.; Cikurel, H. Water reuse in Israel – the Dan Region Project: Evaluation of water quality and reliability of plant's operation. *Water Science and Technology: Water Supply*, v.3, n.4, p231-237, 2003.
- Juanicó, M. A database for a multi-institutional environment monitoring program. *Environment Monitoring Assessment*. v.12, p.181-190, 1989.
- Juanicó, M. Alternative schemes for municipal sewage treatment and disposal in industrialized countries: Israel as a case study. *Ecological Engineering*, Columbus, v.2, p.101-118, 1993.
- Juanicó, M.; Dor, I. Reservoirs for wastewater storage and reuse: Ecology, performance and engineering design. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 394p. *Environment Science Series*
- Juanicó, M.; Friedler, E. Wastewater reuse for river recovery in semi-arid Israel. *Water Science and Technology*, v.40, n.4-5, p.43-50, 1999.
- Juanicó, M.; Milstein, A. Semi-intensive treatment plants for wastewater reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, v.50, n.2, p.55–60, 2004.
- Juanicó, M.; Shelef, G. The performance of stabilization reservoirs as a function of the design and operation parameters. *Water Science and Technology*, v.23, n.7-9, p.1509-1516, 1991.
- Juanicó, M.; Shelef, G. Design, operation and performance of stabilization reservoirs for wastewater irrigation in Israel. *Water Research*, v.28, n.1, p.175-186, 1994.
- Lahav, O. Wastewater reuse in the urban sector. Technion: Faculty of Civil Engineering, Technion, 1995. M.Sc. Thesis (in Hebrew)
- Leshem, E. A solution for the disposal of effluents in the Sharon Region (Central Israel). *Field Health*, v.8, p.50-53, 2000. (in Hebrew)
- Mercado, A.; Banin, A. Addition of dissolved solids to the sewage. Jerusalem, Israel: Report to the Ministry of the Environment, 1994. (in Hebrew)
- Mires, D. Development of inland aquaculture in arid climates: Water utilization strategies applied in Israel. *Fisheries Management and Ecology*, v.7, p.189-195, 2000.
- Oron, G.; DeMalach, J. Reuse of domestic wastewater for irrigation in arid zones: A case study. *Water Resources Bulletin* n.23, v.5, p.777-783, 1987.
- Pano, A. Storage of wastewater and floodwater in Sarid and Mizra reservoirs. Tel Aviv, Israel: Report by Tahal Consulting Engineers Ltda., 1975. (in Hebrew)
- Rebhun, M. Sustainable wastewater reuse – Treatment level and wastewater quality required for Israel. *Water & Water Engineering*. v.57, p.18-22, 2003. (in Hebrew)
- Rebhun, M.; Ronen, D.; Eren, J. Monitoring and study program of an inter-regional wastewater reclamation system for agriculture. *Journal - Water Pollution Control Federation*, v.59, n.5, p.242-248, 1987.
- Shelef, G. (Committee Chairman) Final report on wastewater quality standards for agricultural irrigation. Israel: Advisory Committee for determining wastewater quality standards for agricultural irrigation, Ministry of Health. 1977. (in Hebrew)

- Shelef, G. The role of wastewater reuse in water resources management in Israel. *Water Science and Technology*, v.23, n.10-12, p.2081-2090, 1991.
- Shelef, G.; Juanicó, M.; Vikinsky, M. Reuse of stabilization pond effluent for agricultural irrigation in Israel. *Water Science and Technology*, v.19, n.12, p. 299-305, 1987.
- Tarchitzqui, J.; Bar-Hay, M.; Levingert, A.; Puzin, Y.; Sokolobsky, E.; Peres, M.; Silverman, A.; Einskoot, E.; Menashe, Y.; Gal, Y., Kanig, E.; Eizenstedet, Y. National effluents survey 1998-2003. *Water Irrigation*, v.459, p.8-24, 2005. (in Hebrew)
- Teltsch, B.; Juanicó, M.; Azov, Y.; Ben-Harim, I.; Shelef, G. The clogging capacity of reclaimed wastewater: A new quality criterion for drip irrigation. *Water Science and Technology*, v.24, n.9, p.123-132, 1991.
- Vasl, R.; Kott, Y. Fate of enteroviruses at Haifa's municipal wastewater treatment plant. In: Shuval, H. (ed.) *Developments arid zone ecology and environmental quality*, Rehovot: Balaban International Science Services, 1981, p.233-238.
- Weber, B.; Juanicó, M. Variability of effluent quality in a multi-step complex for wastewater treatment and storage. *Water Research*, v.24, n6, p.765-771, 1990.
- Weber, B.; Juanicó, M. Salt reduction in municipal sewage allocated for reuse: The outcome of a new policy in Israel. *Water Science and Technology*, v.50, n.2, p.17-22, 2004.
- Weber, B.; Juanico, M.; Avnimelech, Y. Salt enrichment of municipal sewage - New approaches to prevent it in Israel. *Environmental Management*, v.20, n.4, p.487-495, 1996.
- Zaslavski, D. The technological, legal and administrative aspects of the shift from potable water to reclaimed effluent. *Water Fluids and Irrigation Engineering*, n.11, p.18-20, 2001. (in Hebrew)

Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro

**José A. Marengo¹, Lincoln M. Alves¹,
Elder A. Beserra¹ & Francinete F. Lacerda²**

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

² Laboratório de Meteorologia de Pernambuco

- 13.1 Introdução
- 13.2 Clima do semiárido brasileiro
- 13.3 Variabilidade espacial e temporal do clima no semiárido
 - 13.3.1 Variabilidade sazonal e intrasazonal
 - 13.3.2 Variabilidade inter anual: El Niño Oscilação Sul (ENOS) e influência do Oceano Atlântico Tropical
 - 13.3.3 Variabilidade interdecadal
 - 13.3.4 Tendências de longo prazo
- 13.4 Extremos climáticos observados
- 13.5 Estudo de casos: Secas e cheias na região
- 13.6 Mudanças climáticas no semiárido
 - 13.6.1 Cenários de emissão de gases de efeito estufa
 - 13.6.2 Projeções de modelos regionais do Relatório de Clima do INPE
 - 13.6.3 Novas projeções do modelo regional Eta CPTEC-HadCM3 até 2100
 - 13.6.4 Projeções do balanço hídrico (Precipitação-Evapotranspiração)
 - 13.6.5 Mudanças na delimitação do semiárido do Nordeste do Brasil
- 13.7 Considerações finais
- 13.8 Agradecimentos
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas

ISBN 978-85-64265-01-1



INSA

Instituto Nacional do Semiárido

Campina Grande - PB

2011

Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro

13.1 INTRODUÇÃO

A história do semiárido brasileiro está intimamente relacionada cujos às secas, efeitos se apresentam nas mais variadas formas, seja pelo aumento do desemprego rural, fome, pobreza, ou pela conseqüente migração das áreas afetadas.

Devido à irregularidade das chuvas e aos baixos índices pluviométricos (abaixo de 800 mm por ano) grande parte da região enfrenta um problema, já crônico, de falta de água, motivo desses obstáculos ao desenvolvimento das atividades agrárias e agropecuárias. A ausência de sistemas eficientes para o armazenamento da água – recurso que está quase sempre concentrado nas mãos de poucos, intensifica ainda mais os efeitos sociais. Ciclos de fortes estiagens, secas e enchentes, costumam atingir a região em intervalos que vão de poucos anos até décadas, visto que colaboram para desarticular de vez as já frágeis condições de vida da população que vive no semiárido, em particular pequenos produtores e comunidades pobres.

Em estudos abrangentes desenvolvidos pelo NAE (2005), Kayano & Andreoli (2009) e Marengo (2009), discutem a vulnerabilidade do semiárido aos extremos da variabilidade de clima e suas mudanças. A ocorrência de chuvas, por si só, não garante que as culturas de subsistência de sequeiro sejam bem-sucedidas e um veranico ou período seco dentro da quadra chuvosa pode provocar impactos bastante adversos à agricultura regional. No semiárido é comum a ocorrência de períodos secos durante a estação chuvosa os quais, dependendo da intensidade e da duração, provocam fortes danos às culturas de subsistência (NAE, 2005). Quando a agricultura começou a se estender na região semiárida do Nordeste do Brasil, a maior parte da área era ocupada por imensas fazendas de criação de gado, utilizando-se do pasto nativo (caatinga), com pequenos subsistemas de roçados para alimentação dos trabalhadores que era extremamente vulnerável às condições ambientais.

Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação aos lagos, açudes, reservatórios e aumento

da evapotranspiração das plantas. Nos últimos 40 anos os termômetros registraram um aumento de mais de 3°C em cidades como Vitória de Santo Antão, PE, enquanto o resto do planeta esquentou em torno de 0,4 °C, fenômeno que se deve, em parte, às mudanças climáticas decorrentes da emissão de gases estufa mas também à urbanização crescente da região. Ao mesmo tempo, as chuvas se estão tornando raras; no entanto, chegam com intensidade capaz de destruir cidades inteiras. Se a este fato se adiciona redução no volume das chuvas e dos seus extremos, como sugerem as projeções dos modelos climáticos globais e regionais até finais do Século XXI do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), isto poderá agravar ainda mais a situação e, certamente, atividades associadas à agricultura de subsistência causariam maior impacto na qualidade de vida das populações, especialmente aquelas que dela dependem, isto é, projeta-se que a água se tornará um bem escasso e trará sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional. Reduções nas chuvas podem também afetar a geração de energia hidroelétrica na bacia do Rio São Francisco.

Sem dúvidas, o SAB representa uma das regiões mais vulneráveis do País às mudanças e à variabilidade do clima, sobretudo aquelas associadas às secas e às enchentes. Consequentemente, esta vulnerabilidade, atividades como agricultura, geração de hidroenergia, saúde e migrações podem ser impactadas (Assad & Pinto 2008; CEDEPLAR & FIOCRUZ, 2009; Schaeffer et al., 2009). Por exemplo, migrações da população desta região para outras cidades e/ou outros estados, poderiam agravar problemas sociais já existentes nas grandes cidades pelos denominados “refugiados do clima”. Os estados do Nordeste apresentam baixos indicadores sociais e de saúde e se acrescenta, a isto, a existência de um clima semiárido na maior parte da região, aumentando a vulnerabilidade socioambiental da população.

Extremos climáticos intensos associados à degradação do solo, poderiam levar à aceleração do processo de desertificação no semiárido; assim, a possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações que habitam o semiárido, especialmente daqueles mais pobres. Desta forma, faz-se necessário entender o problema de mudanças do clima e seus impactos e então empreender ações de adaptação e mitigação. Sugere-se, ao leitor, acessar as seguintes referências bibliográficas para expandir os conhecimentos sobre mudanças de clima no Nordeste (IPCC, 2007 a, b; Marengo & Dias, 2007; Marengo et al., 2009 a, b, 2010)

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica de alguns aspectos do clima do semiárido do Nordeste, com ênfase à variabilidade de longo prazo e mudanças do clima na região. Neste contexto se analisam os extremos da variabilidade sazonal do clima, da variabilidade interanual e de longo prazo, além das projeções climáticas e seus extremos para a região, até o final do Século XXI, em vários cenários de aumento de emissão de gases de efeito estufa e de mudanças no uso da terra. Pode-se dizer que, no semiárido, mesmo que a seca seja uma situação crônica e contínua, a população ainda não se adaptou ao fenômeno.

13.2 CLIMA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O clima semiárido no interior da região Nordeste apresenta, em média, precipitação acumulada inferior a 600 mm ano⁻¹ (Figura 13.1A). No norte da região, área que abrange a maior parte do semiárido, o período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Este setor se destaca em virtude de nele ocorrerem as maiores secas. A estação seca ocorre, na maior parte da região, entre os meses de agosto e outubro. Utilizando-se como critério para avaliar a vulnerabilidade climática da região o percentual de dias com déficit hídrico (relação entre o número de dias com déficit hídrico e o número total de dias) para o período 1970-90 (Figura 13.1B) sugere-se que o semiárido apresenta déficit hídrico em pelo menos 70% do ano.

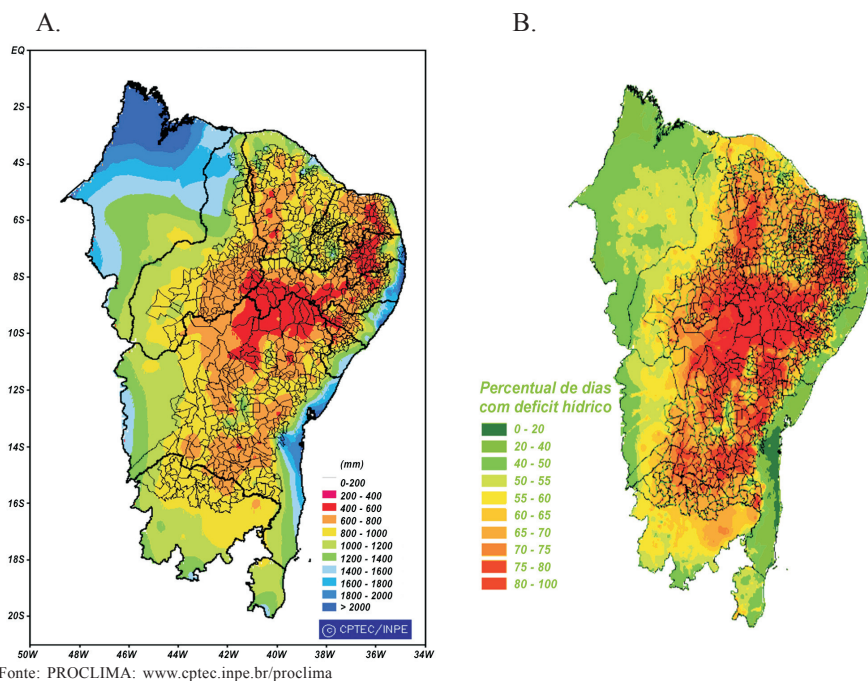


Figura 13.1 Mapa de precipitação no período de 1961 - 1990 em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período 1970 - 1990 em % (B)

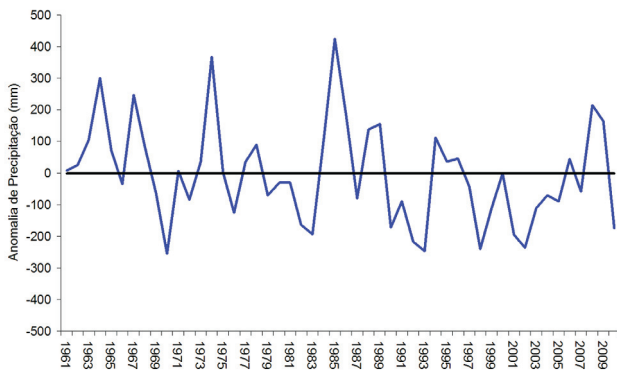
Historicamente, a Região Nordeste sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região (Tabela 14.1). Estatisticamente, ocorrem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. Kane (1989) indicou, para o Nordeste, que em 29 anos de ocorrência do fenômeno El Niño, durante 137 anos, do período de 1849 a 1985, apenas 12 anos estiveram associados às secas na região.

No semiárido nordestino essa variabilidade climática, em particular as relacionadas à seca, sempre é sinônimo de agruras para as populações rurais do interior da região e tem sido objeto de preocupação da sociedade e de setores do governo, ao longo dos anos. A prova cabal dessa preocupação é a construção dos primeiros reservatórios hídricos no semiárido nordestino, que datam do final do século XIX, durante o período imperial.

Tabela 13.1 Anos de seca no Nordeste brasileiro coincidentes com anos de El Niño, durante os últimos quatro séculos (Magalhães et al. 1988), atualizados para 2009

Século XVII	Século XVII	Século XIX	Século XX	Século XXI
1603	1711	1804	1900	2001
1614	1721	1809	1902	2002
1692	1723-24	1810	1907	
	1736-37	1816-17	1915	
	1744-46	1824-25	1919	
	1754	1827	1932-33	
	1760	1830-33	1936	
	1772	1845	1941-44	
	1776-77	1877-79	1951	
	1784	1888-89	1953	
	1790-94		1958	
			1970	
			1979-80	
			1981	
	1790-94	1891	1982-83	
		1898	1986-87	
			1991-92	
			1997-98	

O semiárido nordestino também é vulnerável a enchentes e chuvas intensas (Alves et al., 2005). Entre os anos mais chuvosos na região, tem-se: 1985, 1974, 1964, 1967, 1986, 2009, 1989, 1988, 2004 e 1994. Um exemplo reside nos vários episódios de chuvas intensas, na categoria forte (maior que 60 mm h^{-1}), em 1985, e as fortes chuvas ocorridas em janeiro de 2004; no último caso, apenas neste mês choveu mais de 1.000 mm. A média histórica varia entre 550 mm a 600 mm anuais. Comunidades ficaram isoladas, casas, barragens e açudes foram destruídos, pessoas e animais morreram e a produção agrícola sofreu perda significativa. Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, a causa dessas chuvas intensas foi o transporte de umidade desde o Atlântico tropical e da bacia Amazônica, até o Nordeste, fenômeno incomum mas não impossível. Registros desde 1961 mostram que o ano mais chuvoso foi 1985 (Figura 13.2), quando o total acumulado de chuva no período chuvoso (fevereiro a maio) foi superior aos 900 mm, ou seja, aproximadamente 400 mm acima da média histórica, em toda a região.



Fonte: CPTEC/INPE

Figura 13.2 Série temporal das anomalias de chuva na região do semiárido do Nordeste do Brasil (Latitude: 10-5°S, Longitude: 45-38°W) durante o período chuvoso Fevereiro/Março/Abril/Maio. As anomalias se referem à média histórica de 1961 a 2009, que é de 541 mm

13.3 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO CLIMA NO SEMIÁRIDO

As variabilidades temporais e espaciais das precipitações pluviométricas constituem uma característica marcante do clima da região Nordeste do Brasil, em particular sobre a porção semiárida, em que a irregularidade temporal e espacial das chuvas constitui fator relevante, se não mais, do que os totais pluviométricos sazonais propriamente ditos, em especial para a agricultura de sequeiro, que depende da manutenção da umidade do solo durante o período de cultivo.

O Nordeste do Brasil apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente em relação à precipitação e à disponibilidade dos recursos hídricos, com anos extremamente secos e outros chuvosos. Segundo Kayano & Andreoli (2009), esta região é uma das principais na América do Sul, em que os sinais da variabilidade intrassazonal são mais evidentes.

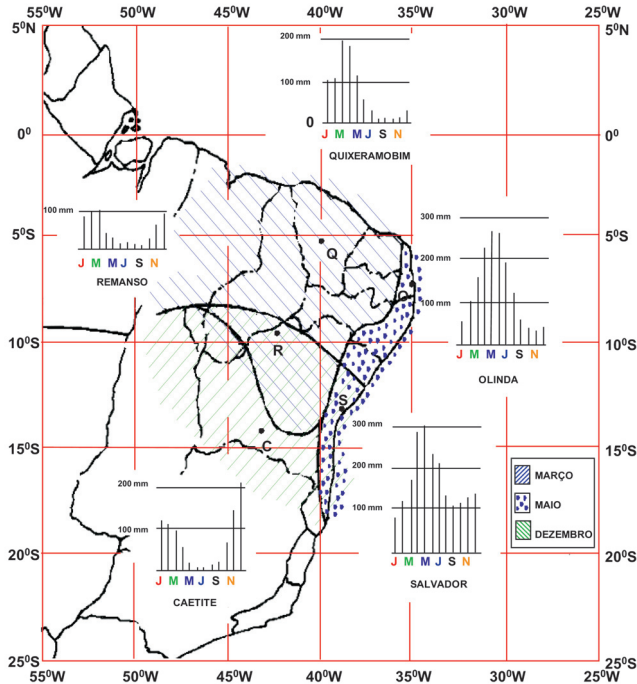
13.3.1 Variabilidade sazonal e intrassazonal

Entre os principais fatores que determinam a variabilidade do clima na região, se acham a posição geográfica, o relevo, as características da superfície e os sistemas de tempo atuantes na região. As circulações do verão austral nos trópicos são fortemente influenciadas pelas ondas estacionárias, particularmente sobre a América do Sul, onde se desenvolve uma circulação quase-estacionária, em altos níveis, chamada Alta da Bolívia (AB). Associado à circulação há um cavado que, eventualmente, se fecha, e é denominado vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) do Nordeste do Brasil. Esta circulação está relacionada às fontes de calor sobre o continente sul-americano e a outras de origem remota (Figuroa et al., 1995; Figuroa, 1997; Gandu & Silva Dias, 1998). Referidas circulações exercem grande influência

sobre o clima do Brasil. As variações interanuais da posição e intensidade da AB estão relacionadas à precipitação na região (Figuroa, 1997). O cavado do Nordeste está associado aos VCAN (Rao & Bonatti, 1987), cuja penetração no continente está associada à precipitação no Nordeste do Brasil (Kousky & Gan, 1981).

O mais importante sistema causador de chuvas na região é a zona de convergência intertropical (ZCIT), que representa o eixo do cavado equatorial e suas variações em posição e intensidade que estão diretamente relacionadas às alterações nas posições e intensidades das altas subtropicais do Atlântico Norte e Sul. A ZCIT apresenta, no Atlântico, a convergência dos ventos alísios do Norte e Sul, com movimentos ascendentes, baixas pressões, nebulosidades e chuvas abundantes e segue, preferencialmente, as regiões em que a temperatura da superfície do mar TSM é mais elevada.

A Figura 13.3 mostra a distribuição espacial do mês quando a precipitação média mensal atinge o máximo e mostra o histograma da distribuição anual da precipitação para cinco estações representativas. Na maior parte da região a estação seca é



Fonte: CPTEC/INPE, adaptado de Kousky (1979)

Obs.: Os dados utilizados são para o período de 1931 a 1960. A localização das estações está indicada pelas letras Q (Quixeramobim), O (Olinda), S (Salvador), C (Caetité) e R (Remanso).

Figura 13.3 Distribuição espacial do mês no qual a precipitação média mensal atinge o máximo e histogramas da distribuição anual de precipitação (eixo vertical em mm) para cinco estações, representando diferentes regimes pluviométricos do Nordeste

observada de setembro a dezembro. O trimestre mais seco ocorre entre agosto e outubro, numa faixa orientada no sentido noroeste/sudeste, desde o extremo oeste do Nordeste. A máxima precipitação no semiárido normalmente ocorre entre fevereiro e abril, representada por Quixeramobim e Remanso, nas Figuras 13.3 e 13.4, o que se deve à influência da ZCIT quando posicionada mais ao sul ($\sim 4^\circ\text{S}$) neste período. Desta forma, tal influência mostra que a ZCIT é o principal mecanismo dinâmico responsável pelas chuvas do semiárido entre fevereiro e maio. Os mínimos de chuva acontecem entre junho a setembro, quando a ZCIT migra para o hemisfério norte e se posiciona climatologicamente entre 4 a 5°N (Figura 13.4).

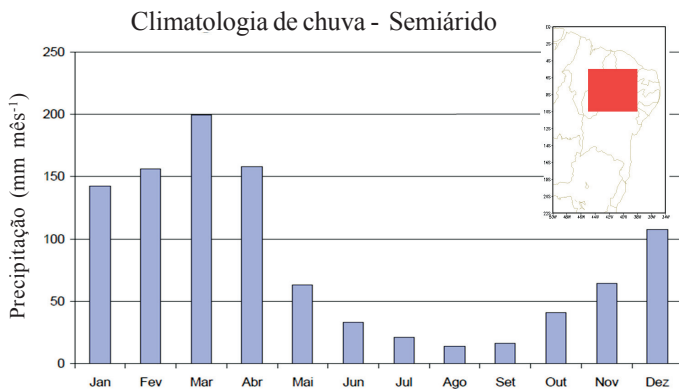


Figura 13.4 Ciclo anual da chuva no semiárido do Nordeste (Climatologia 1971-2000)

13.3.2 Variabilidade interanual: El Niño Oscilação Sul ENOS e influência do Oceano Atlântico Tropical

Diversos fatores contribuem para modular a variabilidade da precipitação sobre a América do Sul e áreas adjacentes como, por exemplo, a variabilidade da TSM do Oceano Pacífico tropical e do Atlântico. Normalmente, anomalias nas TSMs desses oceanos estão associadas a mudanças na circulação da atmosfera e, consequentemente, a flutuações interanuais na precipitação do Nordeste do Brasil. Nesta seção serão discutidos os efeitos das anomalias das TSMs nos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, na variabilidade interanual da precipitação no semiárido do Nordeste.

13.3.2.1 El Niño e La Niña

O ENOS, ou El Niño-Oscilação do Sul representa, de forma geral, um fenômeno global de interação oceano-atmosfera. As anomalias climáticas relacionadas são persistentes e duram vários meses, sobretudo na atmosfera tropical. Exemplos são as secas na Indonésia, Austrália e norte do Nordeste do Brasil e chuvas acima da normal ocorrem no Peru, Equador e Ilhas do Pacífico central e leste. Portanto, as anomalias

climáticas associadas ao fenômeno ENOS, podem ser desastrosas e provocar grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais (Dias & Marengo, 2002; Marengo & Silva Dias, 2006; IPCC, 2007).

O El Niño é um fenômeno caracterizado pelas alterações dos padrões normais da TSM (aquecimento) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e o Pacífico oeste, próximo à Austrália; altera o clima regional e global, mudando os padrões de vento em nível mundial afetando, assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Nos anos de El Niño a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico e aumenta no restante da região tropical. Os baixos valores de pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e o enfraquecimento dos ventos alísios, aumentam os movimentos ascendentes, formam mais nuvens e produzem mais chuva. Os movimentos ascendentes acelerados e o calor latente de condensação (liberado no processo de formação das nuvens) modificam a circulação geral (Célula de Walker), causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e reduzem a precipitação (com secas normalmente em eventos moderados a fortes), como no caso do norte do Nordeste do Brasil e da Indonésia.

Em geral, os episódios começam a se desenvolver em meados do ano, atingem sua intensidade máxima no final daquele mesmo ano e se dissipam cerca de seis meses depois. O fenômeno de características opostas ao El Niño, também conhecido como La Niña ou episódio frio, caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial; comumente, as anomalias climáticas associadas a La Niña são contrárias àquelas observadas em anos de El Niño mas o mesmo não é estritamente linear.

Em geral, episódios de El Niño e La Niña podem ser caracterizados como cíclicos; entretanto, não possuem um período estritamente regular reaparecendo, em média, em intervalos de 2 a 7 anos; todavia, episódios de La Niña têm ocorrido em menor frequência de que o El Niño durante as últimas décadas. Ropelewski & Halpert (1987; 1989), Xavier (2001) e Xavier et al. (2003) entre outros autores, mostraram que os episódios El Niño e La Niña causam impactos sobre a precipitação do Nordeste, principalmente na quadra chuvosa (fevereiro, março, abril e maio - FMAM).

Registros de eventos de El Niño anteriores indicam que os episódios 1982/83 e 1997/98 foram um dos mais intensos desde o início das medições, com anomalias da TSM chegando a até 4 °C e causando proporções catastróficas na região semiárida do Nordeste. Assim como o El Niño, a La Niña também pode variar em intensidade e causar transtornos à região. Um exemplo dessa variação são os eventos ocorridos em 1984/85 e 1988/89. É oportuno mencionar que os primeiros estudos mostrando a dependência da precipitação do semiárido brasileiro com as anomalias de TSM no Atlântico Tropical foram realizados por Hastenrath & Heller (1977), Moura & Shukla (1981) e Silva (2004).

13.3.2.2 Influência do Oceano Atlântico Tropical

O oceano Atlântico Tropical tem papel fundamental na variabilidade do tempo e do clima em regiões ao leste dos Andes. Particularmente sobre o Brasil, a região do semiárido está entre as mais significativamente influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Tropical (Namias, 1972; Hastenrath & Heller, 1977; Moura & Shukla, 1981; Hastenrath, 1984; Mechoso et al., 1990; Hastenrath & Greischar, 1993; Alves et al., 1993, 1997; Rao et al., 1993; Nobre & Shukla, 1996; Uvo et al., 1998; Giannini et al., 2004).

As relações entre os padrões anômalos de TSM do Atlântico Tropical com o clima do Nordeste do Brasil foram, inicialmente, abordadas no artigo de Serra (1941). Existem fortes evidências observacionais e teóricas, tal como, também, resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, de que as condições oceânicas e atmosféricas sobre a bacia do Atlântico Tropical influenciam bastante a variabilidade interanual do clima sobre a América tropical, a leste dos Andes. O padrão espacial predominante do ciclo anual e da variabilidade interanual das TSM e ventos à superfície sobre o Atlântico, apresentam uma estrutura norte-sul mais pronunciada do que a estrutura leste-oeste.

A estrutura norte-sul das anomalias de TSM observadas no Atlântico, é conhecida como o dipolo ou gradiente do Atlântico Tropical. Este padrão dipolo no Atlântico Tropical propicia a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais afetam, sobremaneira, a posição latitudinal da ZCIT, modulando a distribuição sazonal da precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, na parte norte do Nordeste do Brasil até a parte central da Amazônia (Marengo & Hastenrath, 1993; Nobre & Shukla, 1996; Uvo et al., 1998; Marengo, 2004). Em anos nos quais a TSM sobre o Atlântico Tropical Sul (entre a linha do Equador e 15°S) está mais quente que a média de longo período, durante março-abril-maio, e o Atlântico Tropical Norte (entre 12°N e 20°N) está menos aquecido do que a média, existe a formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM no sentido de norte para sul. Nesta situação se observa, concomitantemente, uma pressão no nível do mar (PNM) mais baixa do que a média sobre o Atlântico Sul e mais alta do que a média sobre o Atlântico Norte; os alísios de sudeste mais fracos do que a média e os alísios de nordeste mais intensos do que a média. O eixo de baixa pressão à superfície e confluência dos ventos alísios deslocado mais para sul, relativamente ao seu posicionamento médio, e totais pluviométricos acima da média sobre o norte do Nordeste (Hastenrath & Heller, 1977).

As circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições espaciais da TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico, influenciando a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e Norte da América do Sul. Apesar da variabilidade interanual das TSM e os ventos sobre o Atlântico Tropical serem significativamente menores do que aquela observada sobre o Pacífico Equatorial, referida variabilidade exerce profunda influência na variabilidade climática sobre a América do Sul, em nível global e sobre a região Nordeste do Brasil.

Alguns consideram que a relação entre ENOS e o clima do Nordeste não é direta mas se processa via Atlântico tropical, em particular no seu setor Sul (Hastenrath & Heller, 1977; Covey & Hastenrath, 1978). Assim, as anomalias climáticas no Nordeste do Brasil podem, em parte, ser relacionadas às variações inversas de pressão a nível do mar no Pacífico tropical leste e no Atlântico tropical, que fazem parte do ajustamento de massa de grande escala associados ao ENOS. Saravanan & Chan (2000) propuseram que as teleconexões do ENOS têm papel importante na variabilidade climática do Atlântico tropical que, por sua vez, afeta o clima do Nordeste do Brasil.

Kayano & Andreoli (2006), mostram que alguns anos secos ou chuvosos no Nordeste não dependem das fases do ENOS (El Niño ou La Niña), confirmado na Tabela 14.1, ou seja, pode ocorrer seca com a presença do fenômeno La Niña ou Pacífico neutro e chuvoso durante um evento de El Niño. Os sinais de anomalia da TSM no Atlântico tropical Sul se manifestaram antes da quadra chuvosa, confirmando a proposta de Giannini et al. (2004), segundo a qual as anomalias de TSM no Atlântico tropical podem pré-condicionar as teleconexões do ENOS e as chuvas no semiárido e áreas adjacentes.

Em algumas ocasiões o Atlântico pode apresentar variações de TSM num modo que se assemelha à variabilidade do ENOS em vários aspectos, devido ao fato das variações anuais do Pacífico e do Atlântico serem similares. A variabilidade interanual no Pacífico e Atlântico se relaciona com deslocamentos da ZCIT. A oscilação sul possui um componente adicional que o Atlântico não apresenta: o deslocamento leste-oeste da convergência sobre o Pacífico Tropical do Oeste. Para explicar o que ocorre com a variabilidade no Atlântico Tropical, devem ser consideradas as mudanças na circulação global da atmosfera e fatores similares devem afetar o Pacífico, sendo este o motivo da frequência dos episódios El Niño oscilarem na escala de tempo interdecadal.

13.3.3 Variabilidade interdecadal

No Atlântico Tropical e no Nordeste, Wagner (1996) e Nobre & Shukla (1996) estudaram tendências decadais dos mecanismos que controlam o gradiente meridional da TSM na região; posteriormente, Hastenrath (2001) identificou tendências de longo prazo na chuva do Nordeste, no Atlântico Tropical e áreas adjacentes, caracterizadas por um deslocamento da ZCIT e banda de nuvens mais ao sul da sua posição climatológica, o que poderia explicar as tendências positivas de chuva no Nordeste, identificadas por Hastenrath & Greischar (1993) e Marengo et al. (1998). Wagner detectou um aquecimento sistemático do Atlântico Tropical Sul observado principalmente nos meses de verão (fevereiro/março), enquanto a TSM no Atlântico Norte aumenta no inverno (agosto/setembro) e diminui no verão. Como consequência do incremento do gradiente meridional de TSM no verão, a ZCIT se deslocou mais ao sul e a chuva no norte do Nordeste tendeu a ser maior no período 1951 - 1990.

A partir da década de 1970 o volume de chuvas tem sido menor em relação aos anos anteriores, com exceção do ano de 1985, que foi muito úmido. Esta variabilidade também tem sido observada nas vazões do rio São Francisco, em Sobradinho, em que

a tendência, relativamente positiva desde 1931, contrasta com a tendência negativa observada a partir de 1979. Ainda que esta queda de vazões possa estar associada, em parte, a essa variabilidade da chuva, também poderia estar associada ao uso da água para irrigação e outras formas de uso. Esta tendência negativa também pode ser observada na Tabela 13.1, com sete eventos de seca entre 1970 a 1998.

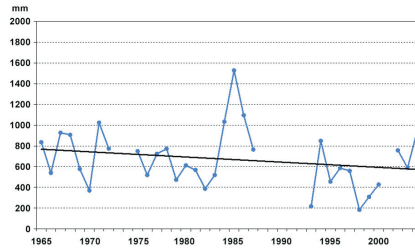
Em relação ao modo da variabilidade de mais baixa frequência, tal como a oscilação decadal do pacífico (ODP - Mantua et al., 1997) que pode modular a variabilidade interanual, mudanças no regime da ODP foram registradas em meados das décadas de 1910's, 1940's, 1970's e, possivelmente, no início do Século XXI. De 1910's-1940's e 1970's-2000, observou-se a fase positiva da ODP com mais eventos El Niño e mais e menos eventos La Niña, de 1940's-1970's e de 2000; tem-se, presente, até a fase negativa da ODP, com mais eventos La Niña e menos eventos El Niño. Kayano e Andreoli (2006) sugerem anomalias intensas (fracas) de chuva na América do Sul quando o ENSO e a ODP estão na mesma fase (fase oposta). Os autores mostram que as anomalias positivas de chuva no semiárido ocorrem durante La Nina nessa região, em março-abril, tanto na fase positiva como na negativa da ODP. Por sua vez, as anomalias negativas de chuva ocorrem, nessa região, em março-abril, somente com El Niño na fase neutra da ODP. Como o ENOS e a ODP são fenômenos do Pacífico, este resultado reforça que o clima do Nordeste depende mais do Atlântico que do Pacífico.

Giannini et al. (2004) e Kayano & Andreoli (2006) verificaram que na escala decadal a influência do Atlântico Tropical Sul independe do Atlântico Tropical Norte, no que diz respeito à precipitação na região semiárida. Os autores mostraram que a precipitação nessa área se relaciona com as anomalias da TSM do Pacífico Tropical Leste, via circulação atmosférica norte extratropical e com anomalias da TSM do Atlântico Tropical Norte. Uma revisão completa desses aspectos pode ser encontrada em Kayano e Andreoli (2009).

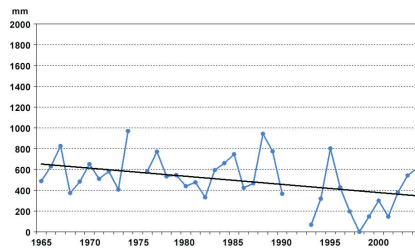
13.3.4 Tendências de longo prazo

A longo prazo, o trabalho de Haylock et al. (2006) identificou tendência de diminuição das chuvas anuais em duas localidades no Ceará ratificando, ainda, com uma pequena amostragem, o fato de que as tendências de diminuição estão prevalecendo. Estudos posteriores em vários estados do Nordeste mostram, para o Ceará, com 32 estações pluviométricas, para período de 1974 a 2003, tendência de diminuição na precipitação total anual em 27 das 32 localidades analisadas (Moncunill, 2006). Santos & Brito (2007), encontraram para os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte no período de 1935 a 2000, tendência de aumento no total anual de precipitação pluviométrica em 19 localidades. Para o Sertão de Pernambuco, Lacerda et al. (2009a) identificaram uma diminuição da precipitação em oito postos pluviométricos, no período de 1965 a 2004, instalados na área da bacia do Pajeú. A Figura 13.5 mostra a tendência de redução de chuva total em vários postos da bacia do Pajeú. Todos esses estudos usaram o índice de precipitação total anual - PRCPTOT.

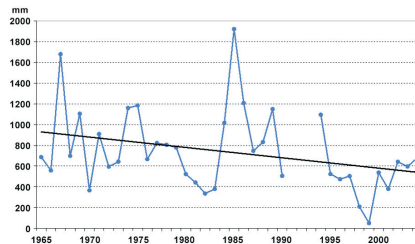
Posto: Afogados da Ingazeira



Posto: Betânia



Posto: Carnaíba



Fonte: Lacerda et al. (2009a)

Figura 13.5 Séries temporais do índice precipitação total no período de 1965 - 2004 em 3 postos pluviométricos localizados na bacia do Pajeú, sertão de Pernambuco

Em conclusão, a tendência nas chuvas vai depender do período de tempo analisado e não existe consenso sobre existência de reduções sistemáticas na chuva na região nos últimos 60-70 anos, mas o que realmente existe são variações decadais possivelmente associadas, à ODP.

Tendências hidrológicas podem ser esperadas como consequência de variações no regime de chuvas. Em seu estudo, Daí et al. (2009) observaram redução da ordem de 35% nas vazões do Rio São Francisco nos últimos 50 anos, cuja variação não está associada a mudanças no volume de chuva da região e, sim, a fatores antropicos, ao uso das águas para irrigação e à geração de energia elétrica com a construção da Barragem de Sobradinho. Um provável aumento na evaporação como consequência do aumento da temperatura, poderia também ser uma das causas na queda das vazões do Rio.

Uma elevação da temperatura já foi registrada na América Central e na América do Sul, em um século (1 °C), ante a média mundial de 0,74 °C (Magrin et al., 2007). Na América do Sul os estudos de Vincent et al. (2005) e Obregon & Marengo (2007) têm mostrado aumento nas temperaturas do ar médias e extremas anuais no Brasil. Em alguns pontos do Nordeste a média aumentou entre 0,5-0,6 °C em 30 anos, a máxima aumentou entre 0,4-0,6 °C em 30 anos e a mínima entre 0,6-0,7 °C em 30 anos, durante 1961-2000. Os aumentos tendem a ser maiores no inverno se comparados aos do verão.

Análises posteriores detalhadas permitem uma visão mais clara do aquecimento observado no semiárido do Nordeste. A área do Agreste, transição com a Zona da Mata Pernambucana, mostra aumento nos valores de temperaturas máximas e valores mínimos das temperaturas máximas durante o inverno (julho) para a estação de Vitória de Santo Antão, de 1955 até 2005 (Figura 13.6). A máxima da temperatura máxima tem aumentado na ordem de 2,7 °C em 48 anos e a mínima da temperatura máxima tem aumentado entre 3,0 °C em 48 anos.

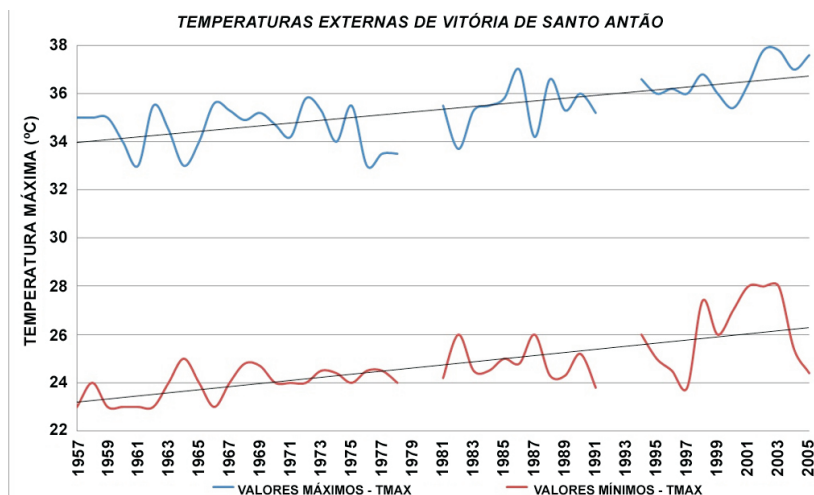


Figura 13.6 Séries históricas de extremos (máximos e mínimos) de temperaturas máximas de 1955 a 2005, em Vitória de Santo Antão, PE. As linhas azuis e vermelhas representam as médias móveis de 10 anos dos valores máximos das temperaturas máximas e mínimas de temperatura máxima, respectivamente (Fonte: F. Lacerda)

13.4 EXTREMOS CLIMÁTICOS OBSERVADOS

Extremos climáticos associados à precipitação pluviométrica afetam diretamente os recursos hídricos, a agricultura e a população; em particular o aumento de perdas econômicas, materiais e até de vidas humanas. Estudos de extremos de clima no

Nordeste têm sido desenvolvidos em nível regional ou microrregional, e as diferentes métricas e definições usadas para definir extremos, tal como a ausência de séries completas e longas de dados climáticos a nível diário, não permitem uma integração dos resultados a nível regional.

Estudos realizados por Lacerda et al. (2009b) na microrregião do Pajeú, no Sertão de Pernambuco, mostram haver aumento dos dias secos, do comprimento médio dos veranicos e dos máximos veranicos. Além disso, as análises de tendência das séries de precipitação evidenciam que precipitações extremas estão aumentando. Os autores definem veranicos, ou seja, número de dias consecutivos sem chuva considerando-se todos os valores da série menores ou iguais a 5 mm. Calcularam-se, também, o maior número de dias consecutivos sem chuva, o total de dias secos e a frequência de ocorrência de chuvas intensas; para esta última análise foram consideradas as precipitações máximas.

Durante o período médio de 65 anos, compreendido entre 1935 a 2000, Santos e Brito (2007) usaram, nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, os índices de extremos climáticos do IPCC AR4, e diagnosticaram um aumento no número de dias com chuvas, na precipitação total anual e no número de dias extremamente úmidos, além de algumas regiões com aumento na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm, concordando com Haylock et al. (2006), que observaram um aumento da umidade sobre a América do Sul. Em todas essas análises não se pode afirmar, categoricamente, que ditas tendências estejam relacionadas apenas com uma mudança dos padrões globais do clima e, sim, com uma variabilidade climática. As tendências observadas nos índices podem estar associadas a anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico tropical, na forma do ENOS e do Dipolo do Atlântico, que exerce grande influência sobre o clima do Nordeste. Santos & Brito (2007) sugerem que índices extremos de chuva, com exceção para os dias consecutivos secos, demonstraram forte correlação com a dinâmica vegetativa do bioma Caatinga, que é mais dependente dos extremos de precipitação do que o da região do Leste, composto pelo bioma Mata Atlântica.

Para o semiárido da Bahia, Silva & Azevedo (2008), mostram que no período 1970-2006 o município de Irecê apresentou um aumento na intensidade das chuvas, na forma de aumento de dias com precipitação maiores a 20 mm e diminuição do número de dias com precipitação acima de 1 mm, com diminuição do total anual.

Os estudos acima mencionados (Moncunil, 2006; Santos & Brito, 2007; Silva & Azevedo, 2008; Lacerda et al., 2009b) juntamente com o de Haylock et al. (2006), usaram os mesmos índices de extremos definidos por Frish et al. (2002) que foram amplamente utilizados no relatório do IPCC AR4. Esses índices usam dados diários de temperaturas extremas e chuva e permitem intercomparações. Ainda que todos os estudos mostrem, para diferentes regiões do semiárido do Nordeste, tendência de aumento de chuvas extremas e redução do total anual de chuva no Século XX, não se pode generalizar nem fazer afirmações concretas sobre essas tendências, pois todos os estudos utilizam diferentes bases de dados e períodos, o que impossibilita comparações.

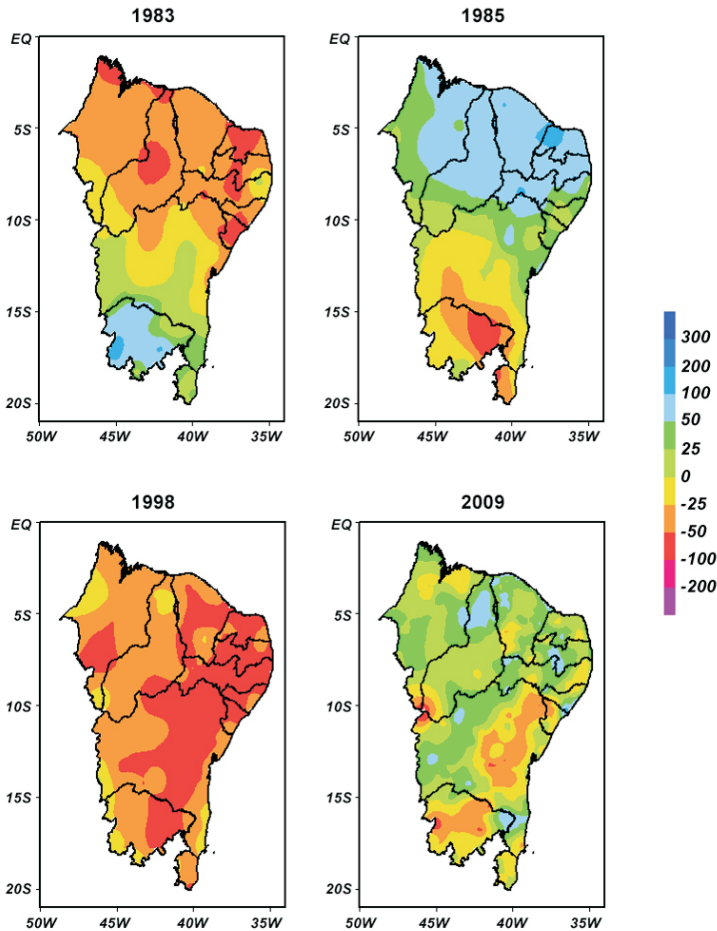
13.5 ESTUDO DE CASOS: SECAS E CHEIAS NA REGIÃO

Sabe-se que as chuvas do semiárido da região Nordeste apresentam enorme variabilidade espacial e temporal. Anos de seca e chuvas abundantes se alternam de forma irregular, conforme observado nos anos de 1710-11, 1723-27, 1736-57, 1744-45, 1777-78, 1808-09, 1824-25, 1835-37, 1844-45, 1877-79, 1982-83, 1987, 1997-98 períodos com fortes secas, e 2003 e 2005, secas de menor intensidade e magnitude. O El Niño de 1987 atingiu, de forma intensa, o norte do Nordeste, numa época em que ainda não havia um sistema eficiente de monitoramento e alerta sobre o fenômeno. Neste episódio a perda na produção de grãos no Ceará foi da ordem de 75% e, entre as enchentes, as mais intensas e recentes são as de 1985, 2004 e 2009.

O início do episódio El Niño de 1982/1983, foi anômalo; o aquecimento da TSM ocorreu, inicialmente, no Pacífico Central e depois se estendeu para a costa da América do Sul. Esta diferença foi analisada por Wang (1995). O evento do El Niño/Oscilação de Sul de 1982 - 1983 foi um dos mais intensos e afetou o tempo e o clima da América do Sul, de várias maneiras. No Nordeste, os efeitos resultaram em morte dos rebanhos e destruição das colheitas. Segundo a CONAB (Silva Dias e Marengo 2002), a produção de grãos no Nordeste caiu de 961×10^6 t em 1981 - 1982 para 345×10^6 em 1982 - 1983 devido, sobretudo, à seca, que afetou a região. O El Niño e a seca de 1983 afetaram 1.328 municípios, com uma população atingida da ordem de 28.954.000 pessoas. Uma análise climática da seca pode ser encontrada em Xavier et al. (2001); contudo, a Figura 13.7 mostra que grandes áreas do norte do Nordeste e semiárido apresentaram uma quadra chuvosa (FMAM) com desvios de precipitação entre 60 e 100% menor que a média histórica, em grandes áreas, desde o norte do Ceará até o norte da Bahia, e do oeste do Rio Grande do Norte até o Centro-Leste do Piauí.

No Brasil, o fenômeno El Niño (1997/1998) provocou grande seca no semiárido do Nordeste, em 1998, talvez o mais intenso nos últimos 150 anos, apresentando uma característica diferente do padrão normal e extremamente importante: a taxa de crescimento da anomalia de TSM foi muito superior à normal e ao prognosticado nas previsões realizadas pelos principais centros meteorológicos mundiais, em relação a outros fenômenos El Niño. A seca de 1998 resultou em uma queda de 72% na produção de feijão, milho, arroz, algodão e mandioca, segundo o estudo da Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj) numa pesquisa envolvendo 15 municípios de cinco estados afetados. Após o desastre da seca gerada pelo fenômeno climático, o governo federal disponibilizou 465 milhões de reais, de um total de 1,6 bilhão para atender aos flagelados da seca (NAE, 2005).

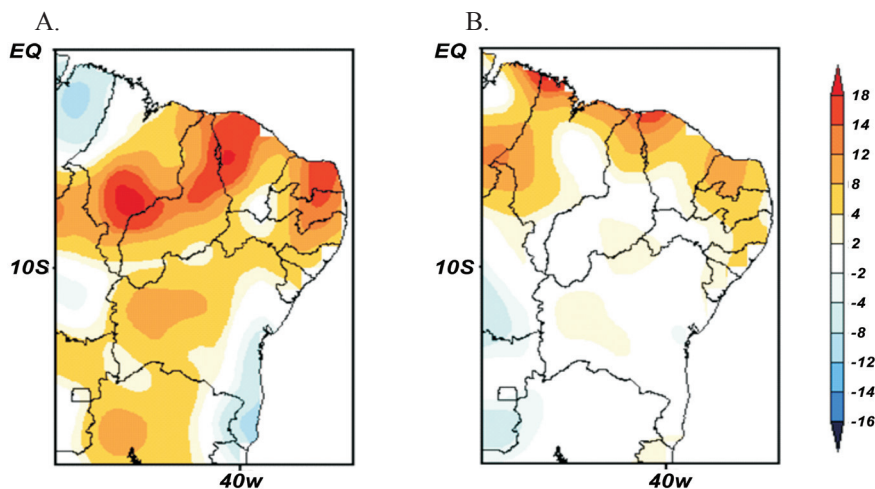
Em 1985 grandes áreas do Nordeste apresentaram excesso de chuva de até 300% acima da média histórica, em praticamente todos os estados (Figura 13.7) e o fenômeno ocorreu no final do mês de abril e início de maio, enquanto as de 2004 no final do mês de janeiro para início de fevereiro. Na verdade, em 94 anos de observações e de registros pluviométricos existentes nos arquivos do DNOCS e SUDENE, jamais choveu tanto como no mês de janeiro de 2004.



Fonte: CPTEC/INPE

Figura 13.7 Anomalia de Precipitação (%) para a quadra chuvosa (fevereiro, março, abril e maio) do semiárido para anos secos (1983 e 1998) e chuvosos (1985 e 2009)

Em 2009 excessos de chuva e ocorrência de enchentes afetaram os estados do Nordeste, particularmente entre abril e maio, quando o volume de chuva se manteve entre 200 a 300 % acima do normal na maior parte dos estados do Nordeste (Figura 13.7). Além do elevado total acumulado de chuvas durante a quadra chuvosa (FMAM) de 2009, outro aspecto observado foi o maior número de casos de dias com precipitação moderada (Figura 13.8) no semiárido e litoral norte, e de dias com chuvas fortes no litoral norte e semiárido do Rio Grande do Norte e Pernambuco. Os impactos das enchentes de 2009 foram intensos no Nordeste; apenas no Ceará 17 pessoas morreram em decorrência das chuvas e deslizamentos; a situação também foi crítica no Maranhão,



Fonte: Alves et al. (2009)

Figura 13.8 Anomalia do número total de dias com (A) chuva moderada (entre 5 e 15 mm dia⁻¹ e (B) chuva forte (>15 mm dia⁻¹) entre os meses de fevereiro, março, abril e maio de 2009, período base é 1961 - 1990

com 12 mortes, seguido da Bahia (7), Alagoas (7), Paraíba (2), Sergipe (2) e Pernambuco (1), segundo o Jornal O Estado de São Paulo, de abril 2009.

Com as cheias de 1985 e 2009, houve um aumento considerável na frequência de ocorrência de grandes vazões na primeira década do século XXI, de tal forma que as vazões máximas verificadas em 2004 (2.880 m³ s⁻¹), 2008 (2.920 m³ s⁻¹) e a de 2009, se situam entre os quatro maiores valores observados em 43 anos de dados disponíveis. O valor de 3.210 m³ s⁻¹ de vazão máxima de abril em 1985 passa a ser, agora, a segunda maior vazão registrada, sendo sua recorrência ora estimada em 25 anos. Ressalta-se que, antes do evento crítico ocorrido neste ano, as análises estatísticas indicavam, para a vazão máxima de 1985, uma recorrência da ordem de 35 anos.

Em 2010 enchentes em Alagoas e Pernambuco ocorreram durante o mês de junho, ao longo dos rios Mundaú e Canhoto. Mais de 30 municípios dos dois estados declararam situação de emergência; tal catástrofe se deve ao evento extremo de chuva nas cabeceiras dos rios Mundaú e Paraíba; essas chuvas foram da ordem de 400 milímetros em quatro dias.

13.6 MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO

O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, como indicado em estudos recentes (Marengo, 2007; Ambrizzi et al., 2007; Marengo et al., 2009 a, b; Obregon & Marengo, 2007). Essas publicações destacam as principais tendências climáticas observadas

no clima atual para a América do Sul e fazem também análises dos cenários climáticos previstos pelos modelos do IPCC para os cenários de altas e baixas emissões. No Brasil, a região é mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a uma possível aridização e subsequente desertificação devido às mudanças climáticas é o Nordeste.

Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima na forma de falta de chuva ou pouca chuva, acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e alta competição pelos recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como aqueles de subsistência na área do semiárido do Nordeste. Levando em conta um semiárido mais árido e o aumento da frequência de ocorrência das secas, a base de sustentação para as atividades humanas diminuirá, sendo provável que aumente o deslocamento da população para as grandes cidades ou para as áreas nas quais seja possível desenvolver a agricultura irrigada.

13.6.1 Cenários de emissão de gases de efeito estufa

Os cenários climáticos projetados para este século indicam que a temperatura média do planeta continuará subindo, no mínimo mais 1,8 °C e, no máximo cerca de 4,0 °C, com a melhor estimativa em torno de 3,0 °C (IPCC, 2007a). Este aquecimento varia segundo o grau de emissão dos gases de efeito estufa (GEE). Nas subseções seguintes faz-se uma revisão dos modelos climáticos e do cenário de emissão dos GEE utilizados nas projeções climáticas para o século XXI.

Os cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que têm efeito radiativo potencial (GEE, aerossóis), baseado numa combinação coerente e internamente consistente de hipóteses sobre forçantes controladoras, tais como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudança na tecnologia, assim como suas interações (IPCC 2001a, b, 2007a, b). As projeções climáticas até 2100 do Quarto Relatório (AR4) – IPCC (2001, 2007) e as apresentadas neste capítulo, consideram projeções de clima até 2100 com os modelos rodados para alguns desses cenários de emissão.

A Figura 13.9 mostra as estimativas e faixas prováveis para a variação da temperatura média global para seis cenários de emissão de gases de efeito estufa (IPCC 2007). O quarto relatório de avaliação utiliza técnicas modernas que permitem obter melhores estimativas e faixas de probabilidade associadas a cada um dos cenários. A nova avaliação das faixas prováveis agora se baseia em um número maior de modelos climáticos, de crescente complexidade e realismo e em novas informações acerca da natureza dos processos de realimentação do ciclo do carbono e das restrições sobre a resposta do clima, a partir de observações.

13.6.2 Projeções de modelos regionais do Relatório de Clima do INPE

O Relatório de Clima do INPE publicado em 2007 tem apresentado cenários de mudanças de clima no Brasil até finais do século XXI (Marengo et al., 2007). O relatório descreve os cenários regionalizados de clima para o futuro (2071-2100) derivados de 3 modelos climáticos regionais (Eta-CCS, HadRM3P e RegCM3, com

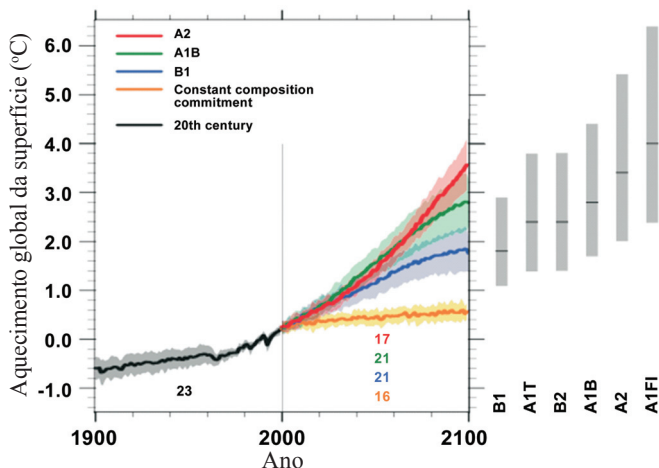


Figura 13.9 Variações da temperatura média global a partir de 1900 e cenários projetados para o Século XXI, diferentes cenários de emissão SRES (IPCC 2007a)

resolução espacial de 50 km latitude-longitude) forçados com o modelo global atmosférico do Centro Climático do Reino Unido (Hadley Centre) HadAM3P, para os cenários extremos de emissão A2-pessimista e B2-otimista. Maiores detalhes podem ser vistos em Marengo et al. (2007 a, b, 2009) e Ambrizzi et al. (2007). Projeções sazonais de mudanças de temperatura e chuva para o Nordeste durante 2071-2100 em relação ao presente (definido como 1961-90) foram obtidos para os dois cenários climáticos A2 (pessimista-altas emissões) e B2 (otimista-baixas emissões) para a média dos 3 modelos regionais. Segundo este relatório do INPE, no cenário climático pessimista as temperaturas aumentariam de 2 a 4 °C e as chuvas teriam uma redução de 15 a 20% (2-4 mm dia⁻¹) no semiárido, até o final do século XXI. No cenário otimista o aquecimento seria entre 1 a 3 °C e a chuva ficaria entre 10 a 15% (1-2 mm dia⁻¹) menor que no presente a nível anual.

Em relação a eventos extremos, o impacto mais importante seria um aumento no índice de dias secos consecutivos CDD (indicadores dos chamados “veranicos”), chegando a até mais de 30 dias ano⁻¹ em 2071-2100, no cenário pessimista (A2) comparado a 12 dias ano⁻¹ no clima do presente, assim como uma redução de dias com extremos intensos de chuva, especialmente no interior do Nordeste e no litoral do Piauí e da Bahia.

O cenário pessimista sugere uma tendência de extensão da deficiência hídrica (maior frequência de dias secos consecutivos) por, praticamente, todo o ano, para o Nordeste, isto é, tendência de “aridização” da região semiárida até final do século XXI. Define-se “aridização” como sendo uma situação na qual o déficit hídrico que atualmente se apresenta no semiárido durante 6-7 meses do ano, seja estendido para todo o ano, consequência de um aumento na temperatura e redução das chuvas. Em

resumo, grande parte do semiárido nordestino, onde a agricultura de sequeiro já é atividade marginal, tornar-se-ia ainda mais marginal vulnerável.

A caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro; abriga uma fauna e uma flora únicas, com muitas espécies endêmicas, que não são encontradas em nenhum outro lugar do planeta. Trata-se de um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com grande parte de sua área tendo já sido bastante modificada pelas condições extremas de clima, observadas nos últimos anos e, potencialmente, são muito vulneráveis às mudanças climáticas. Resultados de experiências de modelagem de vegetação associadas aos cenários de mudanças de clima de altas emissões (Salazar et al., 2007; Oyama & Nobre, 2003) sugerem que no semiárido, como consequência de aumentos na temperatura e redução na chuva, a caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas ou de deserto, com predominância de cactáceas, até finais do Século XXI.

13.6.3 Novas projeções do modelo regional Eta CPTEC-HadCM3 até 2100

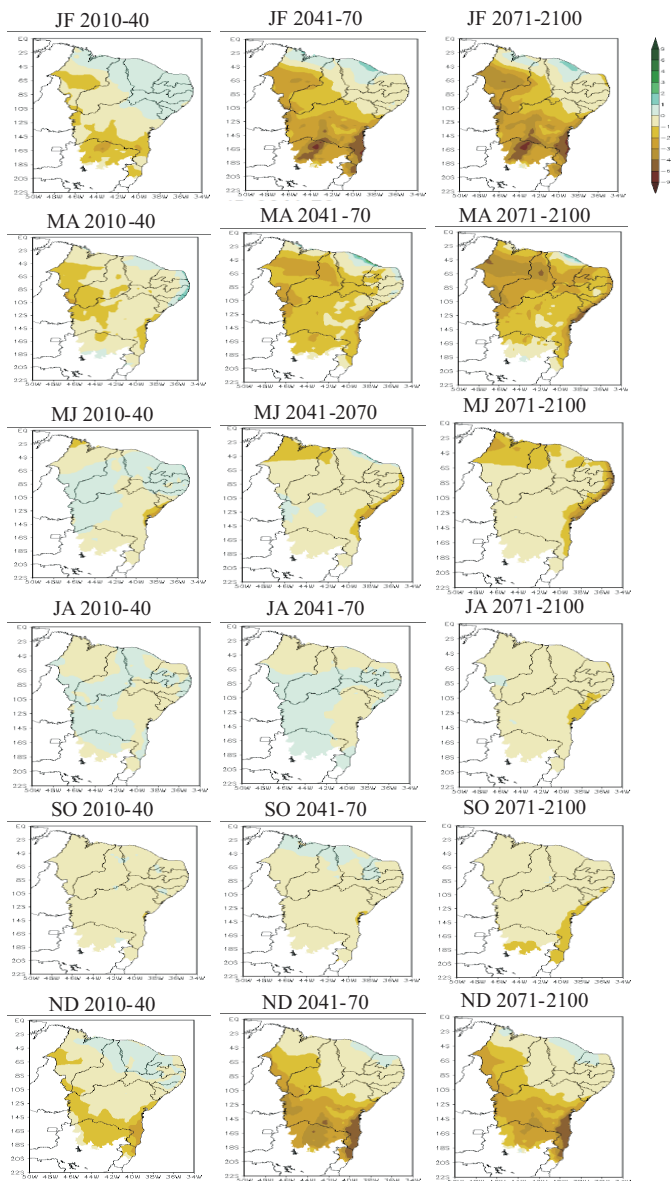
Uma nova geração de cenários climáticos futuros para a América do Sul foi gerada em 2010. Diferentemente das projeções feitas no Relatório de Clima do INPE, utilizando-se o Eta CCS (Marengo et al., 2009b) com uma resolução horizontal de 50 km e concentrações constantes de CO₂ até 2100, essa nova geração utiliza uma outra versão aprimorada do modelo regional Eta (Eta-CPTEC) com resolução mais refinada (40 km) e projeções para o horizonte de 2011 a 2100, cenário de emissões intermediário A1B, as quais são necessárias para estudos de impactos e vulnerabilidade, no curto e médio prazos.

Os novos cenários do Eta-CPTEC utilizaram, como condições laterais, as condições do modelo global acoplado ao oceano-atmosfera HadCM3. Além disto, nesta versão do modelo Eta-CPTEC o CO₂ tem uma taxa de variação decadal. As análises de chuva e temperatura e dos extremos climáticos apresentadas a seguir, são baseadas nesses novos cenários.

13.6.3.1 Projeções de chuva e extremos de chuva

As projeções do modelo Eta CPTEC para o Nordeste mostram reduções de chuva no semiárido e na maior parte do polígono das secas, reduções essas mais intensas nos meses da pré-estação chuvosa (outubro-dezembro) até os meses da quadra chuvosa, de janeiro até abril. As reduções de chuva são mais intensas a partir do período 2041-2070 alcançando maiores intensidades no período de 2071-2100 (Figura 13.10).

No semiárido, durante a estação chuvosa de março a abril as reduções de chuva em 2010-2040 variarão entre 1 a 2 mm dia⁻¹, podendo chegar a 3 mm dia⁻¹ em 2041-2070 alcançando até 6 mm dia⁻¹ em 2071-2100. As mudanças mais intensas parecem ocorrer nos meses de janeiro e fevereiro, na região entre o sul da Bahia e o norte de Minas Gerais onde, em 2010-2040, as reduções de precipitação podem variar de 3 até mais de



Obs.: Unidades em mm dia^{-1} . Cores verde/marrom representam tendências positivas/negativas e a escala de cores aparece na última coluna da direita da primeira linha da tabela

Figura 13.10 Mudanças bimensais janeiro/fevereiro (JF), março/abril (MA), maio/junho (MJ), julho/agosto (JA), setembro/outubro (SO) e número de dias (ND) de chuva projetada pelo Eta-CPTEC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100 relativos a 1961 - 1990

6 mm dia⁻¹ em 2071-2100. Mencionadas projeções serão, em 2071-2100, consistentes com aquelas derivadas dos 3 modelos regionais do relatório de clima do INPE apresentadas em Marengo et al. (2009) que usaram o cenário A2.

Em comparação com a média dos modelos globais do IPCC AR4, cenário A1B, apresentados por Christhensen et al. (2007), observam-se algumas diferenças em termos de magnitude e áreas afetadas sendo que, em média, os modelos globais sugerem reduções de chuva no semiárido com pequenas variações no verão e muito grandes no inverno (junho-agosto). O Eta CPTEC foi rodado com as condições de contorno do modelo global HadCM3, que foi um dos 12 modelos usados por Chisthensen et al. (2007), e talvez o modelo regional reflita o comportamento do modelo global, que mostra fortes reduções de chuva nas regiões da Amazônia e do Nordeste brasileiro, até 2100.

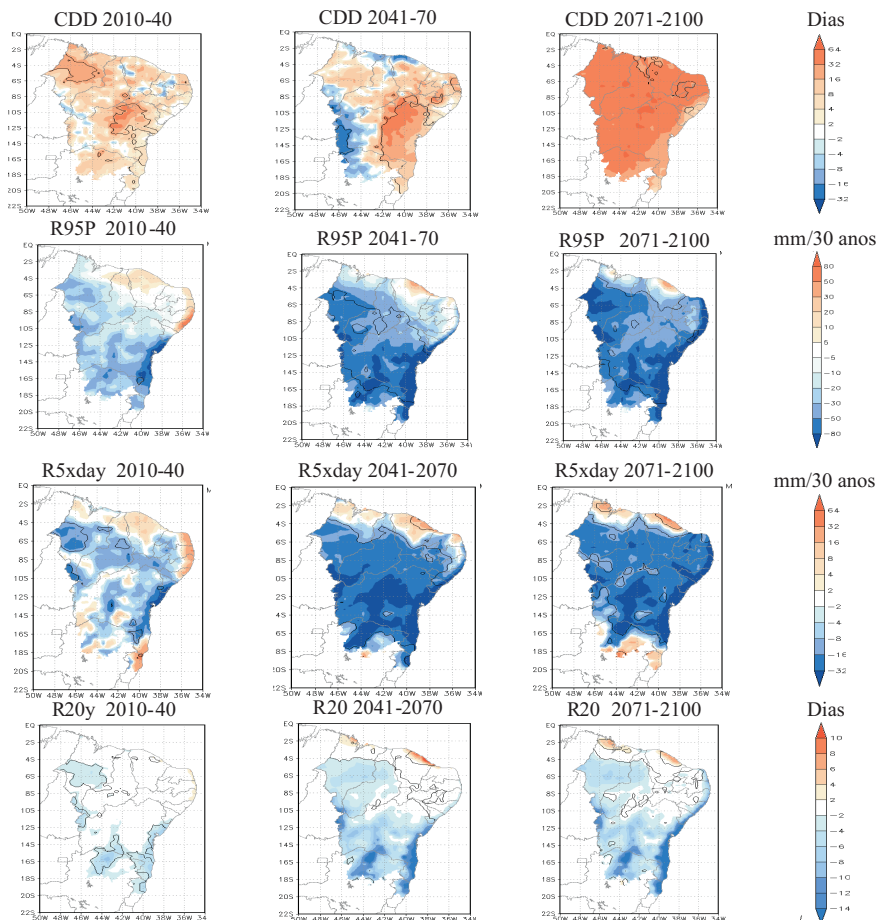
No verão, o máximo de chuva que ocorre na região que vai desde Sul da Amazônia até o Sudeste do Brasil, assim como as projeções mostradas na Figura 13.10 sugerem um enfraquecimento da Zona de Convergência do Atlântico, principal mecanismo produtor de chuva nesta região durante o pico do verão, no período entre novembro e fevereiro. Nos meses da quadra chuvosa, março-abril, o déficit de chuva pode estar, no futuro, associado a uma redução na intensidade dos ventos alísios do Atlântico Tropical norte e fortalecimento dos alísios do Sul, que levam a uma posição mais ao norte da Zona de Convergência Intertropical reduzindo, portanto, as chuvas no semiárido (Marengo et al., 2010).

As projeções de extremos e de chuva (Figura 13.11) sugerem um aumento no índice de dias secos consecutivos CDD (indicadores dos chamados “veranicos”), chegando a aumentar em mais de 30 dias ano⁻¹ em 2041-207 e mais de 60 dias ano⁻¹ em 2071-2100, sendo o semiárido o mais impactado. Os índices de extremos de chuva sugerem uma redução de chuva intensa no semiárido, norte de Minas Gerais e leste do Nordeste e aumento no litoral norte do Ceara e Piauí, com mudanças mais intensas no médio e longo prazos. A redução dos extremos e o aumento na extensão e intensidade dos veranicos, acompanhados de uma redução no total de chuva, sugerem um clima futuro mais seco, com secas mais extensas e com estação chuvosa muito reduzida ou quase ausente, principalmente no sertão da região, como um todo (Figura 13.11).

13.6.3.2 Projeções de temperatura e extremos de temperatura

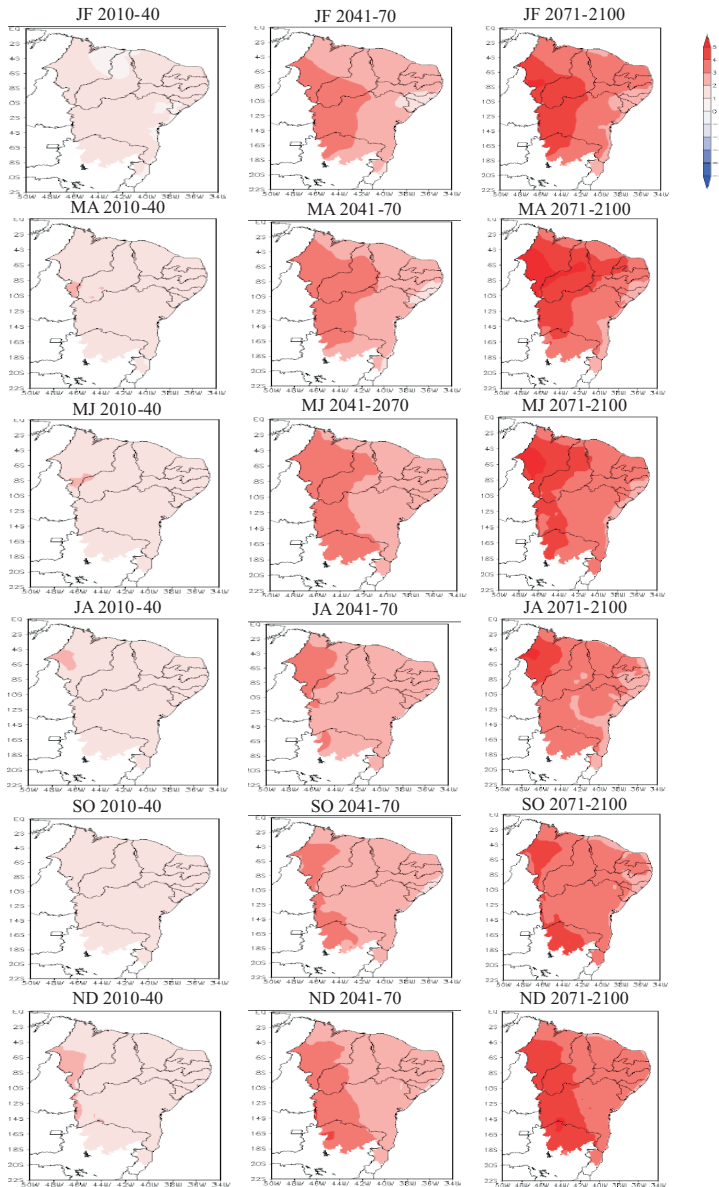
Os cenários de temperatura do ar para o futuro revelam, no Nordeste, alto grau de aquecimento, em especial na região do semiárido, que será maior em 2041-2070 e 2071-2100 comparado com 2010-2040. O aquecimento tende a ser maior na primavera, verão e outono, comparado com o inverno (julho-agosto). No verão, a temperatura tende a aumentar de 2 a 3 °C em 2010, chegando a aumentar entre 3 a 4 °C em 2041-70 e até mais de 4 °C em 2071-2100. Na estação seca (julho-agosto), é detectado o maior aquecimento com valores variando de 4 a 6 °C no estado do Maranhão e Norte de Minas Gerais,

tanto que nas outras épocas do ano, desde o Maranhão até o norte de Minas Gerais, também se experimentam aumentos na temperatura (Figura 13.12). O padrão de aquecimento projetado para 2071-2100 também é bastante consistente com os cenários derivados dos 3 modelos regionais do relatório de Clima (Marengo et al., 2007) em relação à cobertura geográfica, porém o aquecimento projetado pela média dos 3 modelos regionais se situa acima de 6 °C, pelo fato de ser o cenário extremo de altas emissões A2.



Obs.: Cores avermelhadas/azuis representam tendências positivas/negativas do CDD, R95P, R5Xday, e R20, e escala de cores aparece na última coluna da direita

Figure 13.11 Anomalias dos índices de extremos de chuva CDD, R95P e R5Xday projetados pelo Eta-CPTeC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010-40, 2041-70 e 2071-2100 relativos a 1961-90. Unidades são em dias (CDD), mm/30 anos (para R95P e R5Xday) e número de dias avara (R20)



Obs.: Cores avermelhadas/azuis representam tendências positivas/negativas e escala de cores surge na última coluna da direita da primeira linha da tabela

Figura 13.12 Mudanças bimensais janeiro/fevereiro (JF), março/abril (MA), maio/junho (MJ), julho/agosto (JA), setembro/outubro (SO) e número de dias (ND) de temperatura do ar projetada pelo Eta-CPTec para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010-40, 2041-70 e 2071-2100 relativo a 1961-90. Unidades em °C

As projeções dos extremos de temperatura (Figura 13.13) sugerem um quadro de aumento nas temperaturas diurnas e noturnas, especialmente no semiárido e no Maranhão, com a máxima aumentando de dia e a mínima de noite. O número de dias frios tende a diminuir no semiárido e no Maranhão, e o número de dias e noites quentes tendem a aumentar, sendo o aumento maior na frequência de noites quentes. Esta situação caracteriza um aumento em ondas de calor o que, juntamente com a secura do ar e a presença de veranicos mais longos, pode afetar seriamente o conteúdo de umidade de solo, com impactos na agricultura de subsistência. As mudanças nos extremos são consistentes com as projeções da média de 9 modelos globais do IPCC AR4 para o Nordeste no cenário A1B, para 2080-99 relativo a 1961-90 de Tebaldi et al. (2006), sugerindo alta confiabilidade nessas projeções de extremos de temperatura.

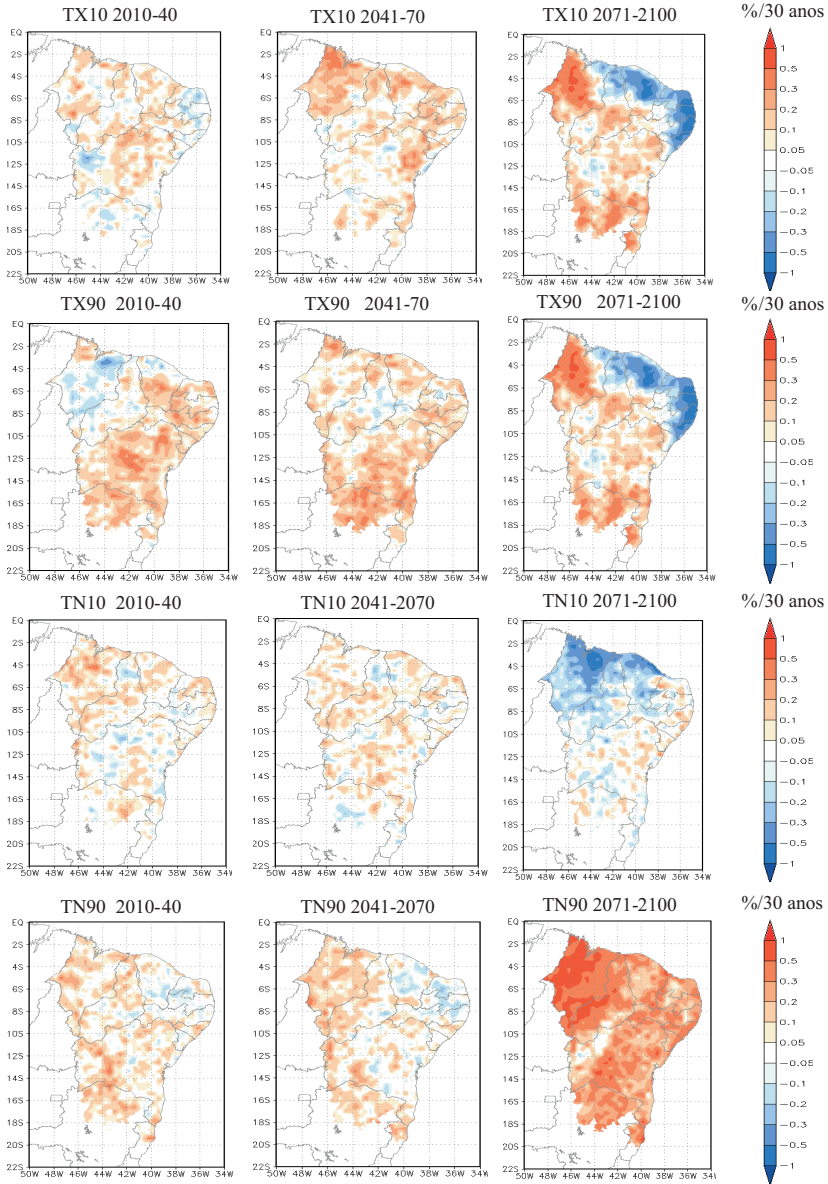
13.6.4 Projeções do balanço hídrico (Precipitação-Evapotranspiração)

Os cenários da diferença P-E (Figura 13.14), indicadores do balanço hídrico, mostram deficiência hídrica bastante intensa no semiárido, que varia entre 2 a 3 mm dia⁻¹ em 2010-40 até mais de 6 a 9 mm dia⁻¹ em 2071-2100, especialmente nas áreas das bacias dos rios São Francisco e Parnaíba. As diferenças são maiores nos meses de verão, especialmente de janeiro a fevereiro. A combinação do aumento da temperatura do ar, redução das chuvas e redução da umidade atmosférica, fornecem as ferramentas necessárias para gerar secas ($P < E$), que podem, de fato, reduzir a umidade armazenada pelo solo, impactar negativamente a agricultura comercial e de subsistência e gerar um processo de aridização que pode levar à intensificação da desertificação no semiárido, alterar a vegetação natural caatinga, além de reduzir as vazões dos rios e geração de energia hidroelétrica, como no caso da bacia do Rio São Francisco.

De certa forma, o valor de P-E é um indicador da componente de escoamento superficial (comparável a vazões dos rios). A Figura 13.14 mostra reduções da ordem de 3 a 5 mm dia⁻¹, correspondentes a 10 a 30% (Marengo et al., 2010). Um estudo desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Serviço Geológico dos Estados Unidos (Milly et al., 2005) avalia o impacto das mudanças climáticas nas vazões dos rios em nível mundial, cuja média foi feita com 12 modelos do IPCC AR4 para o período entre 2041-2060, em relação ao clima atual, 1900-70, e eles detectaram reduções nas vazões no Rio São Francisco entre 15 a 20% para o período 2080-2099 em relação presente.

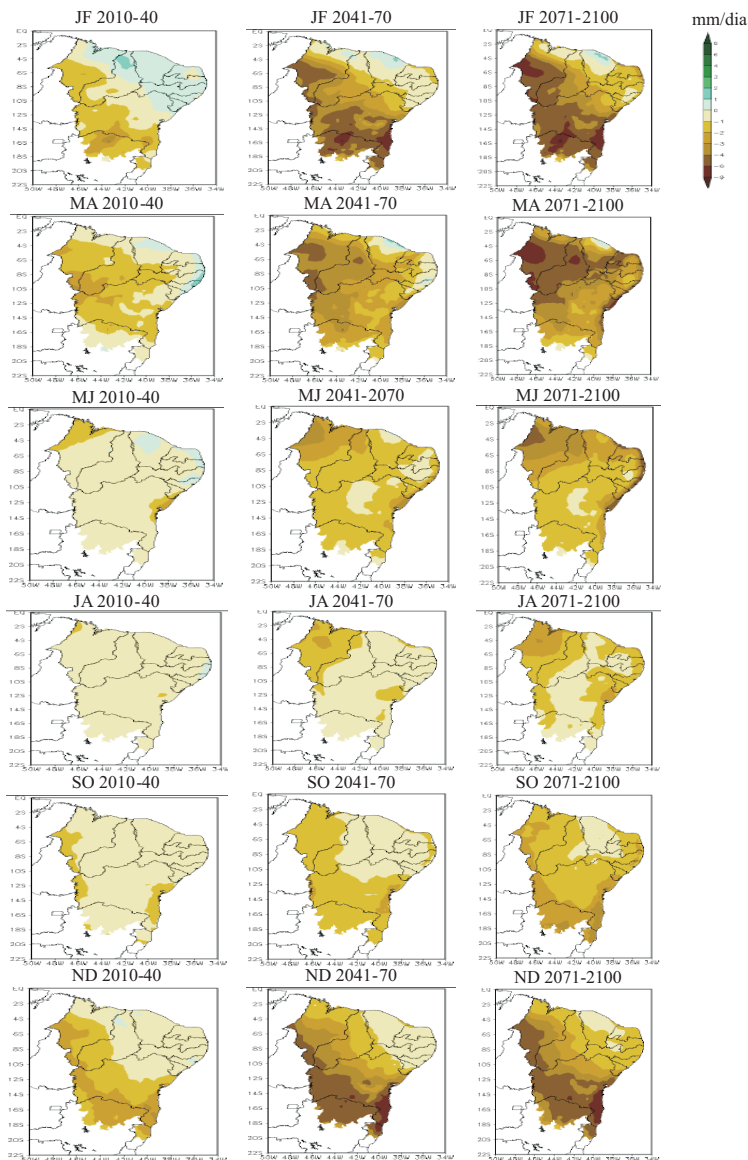
Os cenários futuros de P-E e os extremos de chuva sugerem tendência de aumento na duração da deficiência hídrica (maior frequência de dias secos consecutivos) em praticamente todo o ano, no Nordeste, isto é, tendência à “aridização” da região até final do século XXI.

Resultados de estudos mostrados no Relatório do Grupo de Trabalho II do IPCC (2007b) revelam que, no processo de aquecimento global, não só choverá menos e as secas serão mais intensas mas há outro perigo - alguns indicadores apontam que o



Obs.: Unidades são em porcentagem (%). Cores avermelhadas/azuis representam tendências positivas/negativas dos quatro índices e escala de cores aparece na última coluna da direita

Figure 13.13 Anomalias dos índices de extremos de temperatura TX10, TX90, TN10 e TN90 projetados pelo Eta-CPTC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100 relativos ao período 1961 - 1990



Obs.: Unidades em mm dia^{-1} . Cores verde/marrom representam tendências positivas/negativas, e escala de cores aparece na última coluna da direita da primeira linha

Figura 13.14 Mudanças bimensais janeiro/fevereiro (JF), março/abril (MA), maio/junho (MJ), julho/agosto (JA), setembro/outubro (SO) e número de dias (ND) de P-E (precipitação menos evaporação) projetada pelo Eta-CPTEC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100 relativo ao período 1961 - 1990

processo de aquecimento global também significará uma redução no nível de água dos reservatórios subterrâneos. Comenta-se muito que água do subsolo irá resolver, de vez, os problemas hídricos da região semiárida nordestina; porém, como consequência das mudanças climáticas, espera-se uma redução de água nos aquíferos nordestinos, que poderá chegar a 70% até o ano 2050.

A Tabela 14.2 apresenta o sumário das mudanças de clima projetadas para o semiárido até 2100, com base nas projeções do modelo regional Eta CPTEC e nas projeções dos modelos de IPCC AR4 (Tebaldi et al., 2006) e outras referências (Milly et al., 2005) e Christhensen et al. (2007).

Tabela 13.2 Sumário das projeções climáticas derivadas do modelo regional Eta-CPTEC e dos modelos globais do IPCC AR4 para o semiárido do Nordeste (segundo Tebaldi et al 2006), cenário A1B para o curto (2010-40), meio (2041-70) e longo prazos (2071-2100) relativos a 1961-90

Extremo climático	Tendência no curto prazo	Tendência no médio prazo	Tendência no longo prazo	Confiabilidade ³
Chuva total				Alta
Temperatura				Alta
Dias secos consecutivos				Alta
Precipitação intensa				Baixa
Ondas de calor				Alta
Deficiência hídrica				Alta
Umidade do solo ^{1,2}				Alta*
Runoff ²				Alta*

¹ Mudanças em umidade do solo e runoff são de projeções de Christhensen et al (2007) e Milly et al (2005), para o mesmo cenário A1B derivado dos modelos globais do IPCC AR4.

² Caixas em branco indicam que a tendência não foi calculada no período.

³ Confiabilidade é definida, qualitativamente, com base na consistência entre as tendências da mudança projetada pelo Eta CPTEC e dos modelos globais apresentados por Tebaldi et al (2006).

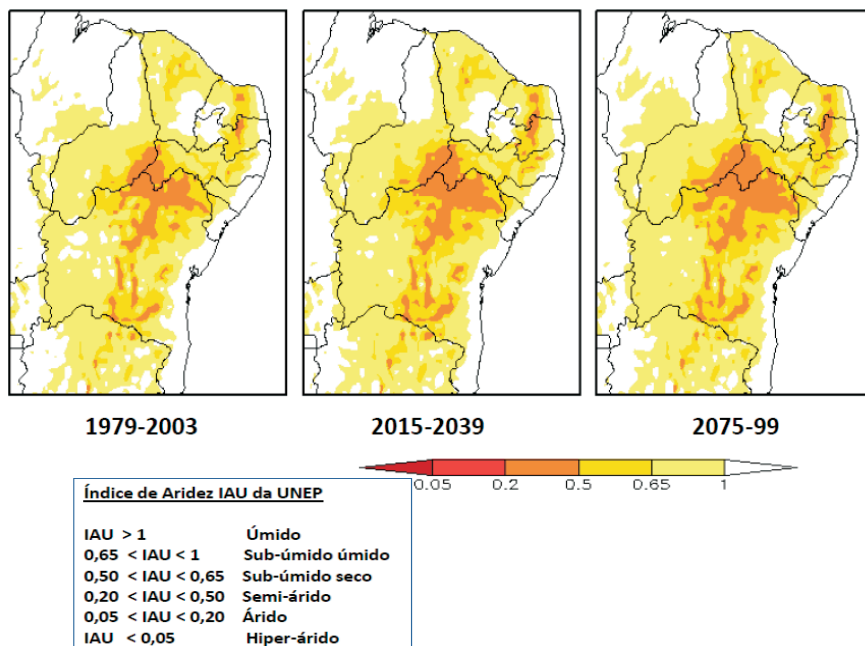
* Apresenta a confiabilidade já avaliada por Christhensen et al (2007) e Milly et al (2005)

13.6.5 Mudanças na delimitação do semiárido do Nordeste do Brasil

As seções anteriores consideram as projeções de clima futuro do modelo regional Eta CPTEC até 2100. Estudos recentes de Beserra (2011) usaram as projeções de cenários futuros de clima derivadas do modelo global de alta resolução MRI-GCM20 de 20 km de resolução horizontal do Meteorological Research Institute (MRI) do Japão. Este modelo, de altíssima resolução, foi desenvolvido para aplicações tanto em simulações de clima futuro quanto para previsão numérica de tempo (Mizuta et al., 2006), e tem sido usado em vários estudos para a geração de cenários futuros de clima e de extremos a nível global e para América do Sul (Kitoh et al., 2011). Os dados do modelo são divididos em períodos de tempo (time-slices): simulação do clima presente (controle), de 1979 a 2003 e projeção do clima futuro, abrangendo dois períodos base do século XXI, aqui denominados futuro próximo (2015-2039) e futuro (2075-2099). O

cenário de emissões usado é o A1B, o mesmo empregado nas projeções do modelo regional Eta-CPTEC.

Na década de 1980 a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu desertificação como sendo a diminuição ou destruição do potencial biológico das terras, podendo levá-las a condições semelhantes às dos desertos. Entretanto, em 1991 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) adotou, como conceito, a degradação das terras em áreas áridas, semiáridas e subúmida seca, devido principalmente aos efeitos antropogênicos. Assim, para a delimitação do semiárido usa-se o índice de aridez (IAU) (UNEP, 1992), utilizando-se evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith. A Figura 13.15 mostra as simulações do IAU para o presente 1979-83 e projeções para 2015-39 e 2075-99 gerados pelo modelo MRI GCM20 (a escala de IAU em cores aparece no mapa, indicando as categorias que variam de úmido a árido).



Obs.: O semiárido corresponde a valores do IAU entre 0,2 a 0,5 (Beserra, 2011)

Figura 13.15 Delimitação do semiárido do Nordeste para o presente 1979 - 2003 e futuro (2015 - 2039 e 2075 - 2099) segundo o índice de aridez em escala anual, derivada das projeções de clima do modelo global MRI GCM20

Observa-se, segundo as simulações do modelo MRI G20 que, para o presente, o semiárido cobre, maiormente, o leste de Piauí, oeste do Pernambuco e o norte da Bahia, com pequenas áreas no centro da Paraíba e Rio do Grande do Norte. No

futuro, como consequência de um clima mais quente e mais seco, a área de semiárido tende a se estender em cobertura geográfica nos estados já mencionados, e as projeções de clima geradas por este modelo não mostram regiões com características de zona árida no futuro. As áreas de aridez correspondem às áreas com valores de P-E menores de 20% (Figura 13.15); entretanto, sendo as projeções dos modelos diferentes é difícil fazer afirmações comparando modelos com características diferentes.

13.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima na forma de ausência ou escassez de chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e com competição por recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis a população mais carente, como os agricultores do semiárido do Nordeste, visto que esta região já enfrenta problema crônico de falta de água.

Ainda que a confiabilidade nas mudanças nos extremos de chuva seja menor comparada com os aumentos de temperatura média e valores extremos, o cenário futuro no Nordeste, projetado pelo modelo regional Eta-CPTEC, é consistente com as projeções dos modelos regionais do Relatório de Clima do INPE, e dos modelos globais do IPCC AR4 para o mesmo cenário de emissão A1B. As mudanças na temperatura do ar, juntamente com os extremos térmicos, tendem a dominar e, ainda mais, com diferenças nas distribuições de extremos de chuva no futuro. Neste contexto, a tendência geral seria de um clima mais seco, com reduções de chuva e aumento na deficiência hídrica, como resultado dos aumentos na temperatura do ar.

Os prováveis impactos da mudança de clima num cenário de aquecimento global, considerando-se os cenários otimistas e pessimistas identificados pelo IPCC AR4, e dos resultados do Relatório de Clima do INPE, são:

- aumento de 3 °C ou mais na temperatura média e reduções nas chuvas de até 3 a 4 mm dia⁻¹ (20 a 50%) deixariam bem mais secos os locais que hoje têm déficit hídrico agravando ainda mais a seca no semiárido;

- uma frequência maior de dias secos consecutivos e de ondas de calor decorrente do aumento na frequência de veranicos;

- alto potencial para evaporação no Nordeste, combinado com o aumento de temperatura, causaria diminuição da água nos lagos, açudes e reservatórios e nas vazões dos rios, levando a uma redução da produção de energia elétrica nas usinas do rio São Francisco;

- a área atualmente ocupada pelo semiárido poderia estender-se geograficamente no futuro, de forma particular na região que compreende o norte da Bahia, o leste do Piauí e o oeste de Pernambuco;

- o semiárido nordestino ficaria vulnerável a chuvas torrenciais e concentradas em curto espaço de tempo, resultando em enchentes e graves impactos socioambientais;

- a produção agrícola de subsistência de grandes áreas pode tornar-se inviável, colocando em risco a própria sobrevivência da população;
- a caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas, com predominância de cactáceas e
- as mudanças climáticas podem ter impactos sociais e econômicos graves, como aumento do desemprego, especialmente no setor agrícola, problemas de saúde e aumento de migração para áreas urbanas da região ou para outras regiões.

A Figura 13.16 apresenta um sumário das projeções de clima futuro até 2100, com indicadores de confiabilidade dessas mudanças e indicadores de impactos na região Nordeste.



Obs.: Os indicadores de mudanças (símbolos) aparecem na parte inferior direita, o grau de confiabilidade é avaliado considerando-se a consistência entre as projeções dos modelos regionais do INPE, dos modelos globais do IPCC AR4. Os impactos são avaliados segundo os estudos de Salazar et al. (2007), Assad et al. (2008), Schaeffer et al. (2008) e CEDEPLAR & FIOCRUZ (2009)

Figura 13.16 Sumário das mudanças de clima projetadas pelos modelos climáticos regionais sobre o Nordeste Brasil, até final do Século XXI para cenários de altas e baixas emissões

No Brasil, o impacto da mudança climática sobre os recursos hídricos, deverá ser mais dramático, em particular no semiárido nordestino, onde a escassez de água já é, atualmente, um problema. Hoje, a disponibilidade hídrica per capita na região é insuficiente nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, sem contar as variações regionais de déficit hídrico, que tornam a situação ainda mais insustentável para os habitantes do semiárido afetados pelo stress hídrico. São esperados impactos significativos na agricultura de subsistência, agroindústria e agropecuária, na geração de energia e irrigação, na saúde humana, migração e geração de emprego. Como acontece em secas já observadas na região, a estabilidade social e a segurança da população podem ser comprometidas. O risco de aridização pode afetar irreversivelmente a caatinga e outros ecossistemas naturais na região semiárida. Com a degradação do solo existe o alto risco de aumentar a migração para as cidades costeiras, agravando ainda mais os problemas urbanos, gerando ondas de “refugiados ambientais”, aumentando os problemas sociais já existentes nos grandes centros urbanos do Nordeste e do Brasil.

Para um país que tem uma região com tamanha vulnerabilidade, como é o caso do semiárido nordestino, deve-se desenvolver esforços objetivando mapear a vulnerabilidade e o risco, além de conhecer profundamente suas causas, setor por setor, e subsidiar políticas públicas de mitigação e de adaptação, ainda que se situa bem aquém de suas necessidades. Considerando a sensibilidade do Nordeste às variações climáticas e diante do significado potencial da mudança do clima na região, julgada como a mais vulnerável às reduções de chuva e ao aumento das temperaturas, torna-se urgente uma ação coordenada dos governos para enfrentar a mudança de clima, em cujo contexto são necessários estudos de vulnerabilidade do semiárido a mudanças dos usos da terra, clima, aumento populacional e conflito de uso de recursos naturais. Um plano de convivência com essa nova realidade incluiria ações de adaptação.

Os esforços de adaptação, sobremaneira no semiárido do Nordeste, deverão ser acelerados e envolver órgãos especializados dos governos federais, como Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) entre outros, além, ainda, de órgãos dos governos estaduais do Nordeste, universidades e organizações não governamentais. Ainda há tempo de se evitar os piores impactos das alterações climáticas, caso sejam tomadas, desde já, medidas rigorosas de mitigação e adaptação. A adaptação às alterações climáticas, ou seja, à tomada de medidas para desenvolver a resistência e minimizar os custos, é essencial.

13.8 AGRADECIMENTOS

Este documento é derivado principalmente dos resultados dos projetos Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território

brasileiro ao longo do século XXI, apoiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, com o apoio do MMA/BIRD/GEF/CNPq e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através dos projetos Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America e Dangerous Climate Change in Brazil. Os estudos de cenários futuros de clima no Brasil são derivados de pesquisas do projeto PNUD BRA/05/G31, da Rede Clima do MCT e do INCT-Mudanças Climáticas do CNPq e do Projeto FAPESP-2008/58161-1-Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and Strategies for Adaptation Options.

Os dados do modelo global MRI GCM20 foram fornecidos por Dr. Shoji Kusakoni no projeto “Projection of the change in future weather extremes using super-high-resolution atmospheric models” apoiado pelo programa KAKUSHIN do Ministério de Educação, Cultura, Esporte, Ciência e Tecnologia do Japão, aos quais os autores estendem seu agradecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. M. B.; Repelli, C. A.; Mello, N. G. A pré-estação chuvosa do setor norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.8, p.22-30, 1993
- Alves, J. M. B.; Souza, E.; Repelli, C. A.; Vitorino, M; Ferreira, N. Episódios de La Niña na bacia de oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intra-sazonal das chuvas no setor norte do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.12, p. 63-76, 1997.
- Alves, L. M. ; Coelho, C. A. S. ; Prestes, A. C. ; Farias, P. Análise das chuvas no Nordeste do Brasil durante a estação chuvosa de 2009. III Simpósio Internacional de Climatologia, Canela, 2009.
- Alves, L. M.; Silva Aragão, M. R.; Góis, R. S. S. Análise de intensidades máximas de chuva no Nordeste do Brasil. In. Simpósio Internacional de Climatologia, A Hidroclimatologia e Impactos Ambientais em Regiões Semi-áridas, Fortaleza, 2005.
- Ambrizzi, T.; Rocha, R. P.; Marengo, J. A.; Pisnitchenko, I.; Alves, L. M. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.
- Assad, E.; Pinto, H. S. Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, Agosto 2008. 82 pp.
- Beserra, E. A. Projeções de Aridez no Nordeste do Brasil para o Século XXI em um Cenário de Aquecimento Global. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Dissertação Mestrado

- Cedeplar e Fiocruz. Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Belo Horizonte: CEDEPLAR/FICRUZ, Julho de 2008. Relatório de Pesquisa (Research Report)
- Christensen, J. H.; Hewitson, B.; Busuioc, A.; Chen, A.; Gao, X.; Held, I.; Jones, R.; Kolli, R. K.; Kwon, W-T.; Laprise, R.; Magaña Rueda, V.; Mearns, L.; Menéndez, C. G.; Räisänen, J.; Rinke, A.; Sarr, A.; Whetton, P. Regional Climate Projections. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (ed.) *Climate Change The Physical Science Basis*. Chapter 11, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2007
- Covey, D.; Hastenrath, S. The Pacific El Niño Phenomenon and the Atlantic circulation. *Monthly Weather Review*, v.106, p.1280-1287, 1978.
- Figueiroa, N.; Nobre, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, v.5, p.36 - 40. 1990.
- Figueiroa, N.F.; Satyamurty, P.; Silva Dias, P. L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, v.52, p.1573 - 1584. 1995.
- Frich, P., L.; Alexander, L.; Della-Marta, Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A. M. G.; Peterson, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, v.19, p.193-212, 2002.
- Gandu, A.W.; Silva Dias P. L.. Impact of Tropical Heat Sources on the South American Tropospheric Upper Circulation and Subsidence. *Journal of Geophysical Research*, v.103, p. 6001-6015. 1998.
- Giannini, A.; Saravanan, R.; Chang, P. the preconditioning role of Tropical Atlantic Variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. *Climate Dynamics*, v.22, p. 839-855, 2004.
- Hastenrath, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1097-1107, 1984.
- Hastenrath, S.; Greischar, L. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. *Journal of Climate*, v. 6, p. 743-758, 1993.
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. *Quartely Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 110, p. 411-425, 1977.
- Haylock, M. R.; Peterson, T. C.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y. M. T.; Baez, J.; Barros, V. R.; Berlato, M. A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Garcia, V. J.; Grimm, A. M.; Karoly, D.; Marengo, J. A.; Marino, M. B.; Moncunill, D. F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J. L.; Trebejo, I.; Vincent, L. A Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, p. 1490-1512, 2006.
- Hastenrath S. Interannual and longer-term variability of upper air circulation in the Northeast Brazil-Tropical Atlantic sector. *J Geophys Res.*, 105, 7327-7335, 2001

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (ed.) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp, 2007a
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (ed.) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp, 2007b
- Kane, R. P., Relationship between the southern oscillation/El Niño and rainfall in some tropical and midlatitude regions. *Proceedings of Indian Academy of Science (Earth Planet Science)*, v.3, p. 223-235, 1989.
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. Relations of the South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.1417, 2006
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. Variabilidade decenal e multidecenal, In: Cavancanti, I.; Ferreira, N.; Silva, M. G. J. da; Dias, M. A. F. S. (ed.). *Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos*, Sao Paulo, 2009. p. 375-383.
- Kitoh, A., S. Kusunoki, and T. Nakaegawa. Climate change projections over South America in the late twenty-first century with the 20-km and 60-km mesh MRI-AGCM, *Journal Geophysical Research*, doi:10.1029/2010JD014920, in press.
- Kousky, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1140-1153. 1979.
- Kousky, V. E. The global climate for December 1986-February 1987: El Niño returns to the Tropical Pacific. *Monthly Weather Review*, v.115, p.2822-2838, 1987.
- Kousky, V. E.; Gan, M. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South America. *Tellus*, v.33, n.6, p.538-551, 1981.
- Lacerda, F.F.; Nobre, P.; Dias, H.; Santos, A. A.: Um Estudo de Detecção de Mudanças Climáticas no Semi-árido de Pernambuco In: *Simpósio Internacional de Climatologia*, 3, Canela-RS, 2009.
- Lacerda, F. L.; Vieira de Melo, A. V. P.; Soares, D, B. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade?, In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 18, 2009, Campo Grande-MT. Anais..., CD Room, 2009.
- Magalhães, A.; Filho, H. C.; Garagorry, F.; Gasques, J. G.; Molion, L. C.; Neto M.; Nobre, C. A.; Porto, E.; Rebouças, O.: 1988: The effects of climate variations on agriculture in Northeast Brazil. In: Parry, M.; Carter, T.; Konijn, N. (ed.) *The impact of climate variations on agriculture*. v.2. Assessments in semi-arid regions. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.277-304.

- Magrin, G.; Gay García, c.; Cruz Choque, D.; Giménez, J. C.; Moreno, A. R.; Nagy, G. R.; Nobre, C. A.; Villamizar, A., Latin America. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. In: Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (ed.) *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p.581-615.
- Mantua, N. J.; Hare, S. R.; Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Francis, R. C. A. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin American Meteorological Society*, v.78, p.1069-1079, 1997.
- Marengo, J. A. Cenários de Mudanças Climáticas para o Brasil em 2100. *Ciência & Ambiente*. v.34, p.100-125, 2007a.
- Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Segunda Edição). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, v.1. p.214. 2007b.
- Marengo J. A.; Silva Dias P. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos In: *Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos exploração racional e conservação*. Rebouças, A. da C.; Braga Jr., B.; Tundisi, J. G. (ed.) 2ns Ed. IEA/USP, 2007. p. 63-109.
- Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Uvo, C. Long-term stream flow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazônia, Eastern Brazil and Northwest Peru. *J. Geophysical Research*. v.103, p.1775-1783, 1998.
- Marengo, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. v.78, p.79-96, 2004.
- Marengo, J. A. Vulnerabilidade, Impactos e adaptação as mudança de clima no semi árido do Brasil, In *Parcerias Estrategicas/Centro de Gestão de Estudos Estratégicos-Ministerio da Ciencia e Tecnologia*, v.1, n.1, Braslia DF, p. 149-176, 2009
- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Valverde, M. C.; da Rocha, R. Laborbe, R. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. *Relatório 5*, Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. 2007a.
- Marengo J.A; Ambrizzi, T.;Rocha, p., Alves, L. M.; Cuadra, S. V.; Valverde, M. C.; Ferraz, S. E. T.; Torres R. R.; Santos D. C. Future change of climate in South America in the late XXI Century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-009-0721-6, 2009b

- Marengo, J. A.; Chou, S. C.; Betts, R.; Kay, G.; Alves, L. M.; Torres, R.; Santos, D. Development of regional climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. *Climate Dynamics*, 2010. (To be submitted)
- Marengo J.A.; Jones R.; Alves L. M.; Valverde M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*. doi:10.1002/joc.1863, 2009a
- Mechoso, C.; Lyons, S.; Spahr, J. The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall in northeast Brazil. *Journal of Climate*, v.3, p.812-826, 1990
- Milly, P. C. D.; Dunne, K. A.; Vecchia, A. V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, v.438, n.17, p.4312-4314, 2005.
- Mizuta, R.; et al. 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model - Mean climate states. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.84, p. 165-185, 2006.
- Moncunill, D. F. The rainfall trend over Ceará and its implications. In 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu, Abr. 2006, pp. 315-323, 2006
- Moura, A. D.; Shukla, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal Atmospheric Science*, v. 38, n. 12, p. 2653-2673, 1981.
- NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Mudança de Clima, Vol. I: Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação á mudança de clima. Cadernos NAE, NAE-SECOM 2005. Brasília, 250 pp*
- Namias, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus*, v.24, p.336-342, 1972
- Nobre. P.; Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v.9, p.2464-2479, 1996.
- Obregon, G.; Marengo, J. A. *Caracterização do clima do Século XX no Brasil: tendências de chubas e temperaturas medias e extremas. Relatório 2, Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade –DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Fevereiro 2007.*
- Oyama, M. D.; Nobre, C.A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical. Research Letters*, v. 30, n. 23, p.2199-2203, 2003
- Ramos, P. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. *Journal Geophysical Research*, v.80, p.1665-1678. 1975.
- Ratisbona, L. R.: *The climate of Brazil. Climates of Central and South America. World Survey of Climatology*, v.12, W. Scwerdtfeger, Ed., Elsevier, 1976. p. 219-294.

- Rao, V. B.; Bonatti, J. P. On the origin of the upper-tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoining Brazil during summer. *Meteorological Atmosphere Physics*, v.37, p.11-16., 1987
- Rao, V. B.; Lima, M. C. Franchito, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v.6, p.1754-1763. 1993.
- Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El-Nino Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626, 1987.
- Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. *Journal of Climate*, v. 2, p. 268-284, 1989.
- Salazar, L.F.; Nobre, C. A.; Oyama, M. D.; Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America, *Geophysics Research Letter*, v.34, L09708, 2007.
- Santos, C. A.; Brito, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n. 3, p.303-312, 2007.
- Saranavan, R.; Chang, P. Interaction between tropical Atlantic variability and El Nino Southern Oscillation, *Journal of Climate*, v.13, n.13, p. 2177-2194, 2000.
- Schaeffer, R.; Sklo, A. S.; Lucena, A. F.; Souza, R.; Borba, B. R. da, Costa, R. Junior, A.; Cunha, S. H. da. Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, Junho 2008, 65, 2008.
- Serra, A. B. The general circulation over South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.22, p.173-179, 1941.
- Silva, A. G.; Azevedo, P., Índices de tendências de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia. *Engenharia Ambiental*, v. 5, p. 141-151, 2008.
- Silva Dias, P.; Marengo, J. A. Águas atmosféricas. In: Rebouças, A. da C.; Braga Jr., B.; Tundisi, J. G. (ed.) Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos exploração racional e conservação. 2ns Ed. IEA/USP, 2002. p.65-116.
- Strang, D. M. G. D. Análise Climatológica das Normais Pluviométricas do Nordeste Brasileiro, São Jose dos Campos: CTA/IAE, 1972.
- Tibaldi C.; Haohow, K.; Arblaster J.; Meehl G. Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change* v.79, p.185-21. doi: 10.1007/s10584-006-9051-4, 2007.
- UNEP. World atlas of desertification. Londo: Edward Arnold, 1992.
- Uvo, C. R. B.; Repelli, C. A.; Zebiak, S.; Kushnir, Y. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, v.11, p.551-562, 1998.
- Vincent, L.A.; Peterson, T.C.; Barros, V.R.; Marino, M.B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramirez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M.A.; Grimm, A.M.; Marengo, J.A. ; Molion, L.; Moncunill, D.F.; Rebello, E.; Anunciação, Y.M.T.; Quintana, J.; Santos, J.L.; Baez, J.; Coronel, G.; Garcia, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M.R.; Karoly, D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, v.18, p.5011-5023, 2005.

- Wagner R. Decadal-scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. *Journal Geophysical Research*, v.101, p.16683-16694, 1996
- Wang, B. Interdecadal changes in El Nino onset during the last four decades. *Journal of Climate*, v.8, p.267-285, 1995.
- Xavier, T. M. B. S. *Tempo de Chuva - Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional*, Fortaleza: ABC Editora, 2001, 478p. Cap. 3, 6 e 11
- Xavier, T. M. B. S.; Xavier, A. F. S.; Silva-Dias, M. A. F.; Silva-Dias, P. L. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará, *Revista Brasileira Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 111-126. 2003.

Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI

Paulo Nobre¹, Marcos D. Oyama¹,
Gilvan S. de Oliveira¹ & Javier Tomasella¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

- 14.1 Introdução
 - 14.2 Capacidade de armazenamento hídrico e retenção de umidade nos solos do semiárido do Nordeste brasileiro
 - 14.3 Os cenários de mudanças climáticas sobre o Nordeste para o final do século XXI e seus impactos na disponibilidade hídrica
 - 14.4 Previsões climáticas e de estresse hídrico crescente no semiárido do Nordeste do Brasil
 - 14.5 Impactos de mudanças climáticas globais na vegetação do semiárido do Nordeste brasileiro, para o final do século XXI
 - 14.6 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas
ISBN 978-85-64265-01-1



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB
2011

Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI

14.1 INTRODUÇÃO

Regiões semiáridas tropicais, dentre as quais se enquadra o Nordeste do Brasil, se caracterizam por solos arenosos rasos, alta temperatura média anual e elevadas perdas de água no solo por evaporação; soma-se a essas características fisiográficas, um regime pluviométrico concentrado durante os meses de fevereiro a maio com elevada variabilidade interanual, da qual se originam as recorrentes secas sobre a região. Desta forma, a disponibilidade hídrica para abastecimento humano, animal e agrícola, é relativamente escassa, sendo sua disponibilidade controlada ano a ano pelos condicionantes climáticos globais, tais como os campos de temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, que regulam o deslocamento e a intensidade da zona de convergência intertropical, principal fenômeno atmosférico responsável pela ocorrência de precipitações pluviométricas sobre o semiárido brasileiro.

Assim, a detecção de variações de longo prazo das condicionantes atmosféricas (tais como a temperatura média do ar e a alteração da distribuição temporal das chuvas intrassazonalmente e interanualmente) da disponibilidade hídrica sobre o Nordeste, torna-se fundamental para o planejamento de ações governamentais e da sociedade civil para a convivência com o semiárido.

14.2 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO HÍDRICO E RETENÇÃO DE UMIDADE NOS SOLOS NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO

A disponibilidade hídrica de longo prazo sobre uma região é o resultado do balanço entre o suprimento e a demanda de água no ciclo hidrológico. Na ausência de sistemas de interligação de bacias, as fontes de recursos hídricos para uma região, como o Nordeste, se resumem à pluviometria em primeira linha e pela exploração de águas subterrâneas em segundo lugar. Considerando, para fins deste estudo, que o

suprimento de águas subterrâneas não se altera no cenário de algumas décadas, tem-se que as possíveis variações no suprimento de água se concentram exclusivamente sobre as águas de chuva; no que diz respeito à demanda, ela se divide em: perda evaporativa para a atmosfera, escoamento dos rios para os oceanos, percolação para o lençol freático (que, por sua vez, a longo período abastecem os cursos d'água) e o consumo para atividades agropecuárias, industriais e abastecimento humano.

Por outro lado, a disponibilidade hídrica não depende apenas do regime de chuvas, no que se refere à quantidade anual e sua distribuição temporal, mas também das características físicas do solo, que são influenciadas pelas condições climáticas. Assim, os solos encontrados na zona da mata são profundos visto que o processo de intemperismo é mais intenso; enquanto no agreste e sertão os solos tendem a ser rasos em virtude do intemperismo ocorrer em menor intensidade e, às vezes, sódicos, devido ao intenso processo de evaporação que excede em várias ordens de magnitude, a drenagem descendente é provocada pelas chuvas. Nas regiões agreste e sertão, como as temperaturas do ar são elevadas durante o todo ano, as perdas de água para a atmosfera, através dos processos de evapotranspiração, se tornam significativas.

Na estimativa da capacidade de armazenamento de água dos solos do semiárido brasileiro calcularam-se as médias anuais de precipitação para o período 1960 - 1990 usando-se os dados das estações operadas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Agência Nacional de Águas – ANA. Os dados foram submetidos a uma análise de consistência tendo-se descartados os postos com mais de 3 falhas no período, obtendo-se um conjunto de dados de precipitação mensais e anuais de 1.135 postos distribuídos por todo o Nordeste brasileiro (Figura 14.1).

O solo é caracterizado a partir dos levantamentos de solos disponíveis na região. O mapa na Figura 14.2 mostra os perfis de solo e os principais grupos conforme definidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Cada perfil de solo é utilizado para estimar parâmetros do balanço hídrico através de relações matemáticas que relacionam informação pedológica básica e parâmetros, tais como porosidade, capacidade de campo, etc. A informação de perfis de solo é interpolada tendo em vista a abrangência geográfica de cada grupo de solo definida pelo mapa de solos da Embrapa. A Figura 14.3 apresenta a distribuição geográfica da capacidade máxima de armazenamento e a capacidade de campo para o primeiro metro de solo, em mm. Em uma primeira análise da Figura 14.3, observa-se que as áreas de afloramento do cristalino apresentam menor capacidade de armazenamento.

Através dos dados meteorológicos do INMET, do método de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração potencial diária e as séries de precipitação diárias disponíveis na região no período 1970 - 1990, estimou-se a variação diária de armazenamento de água no solo. Para todo o período, calculou-se o número de dias com déficit hídrico. Dividindo-se o número de dias com déficit hídrico no período pelo número total de dias, resulta em um número que varia entre 0 e 1 e que determina

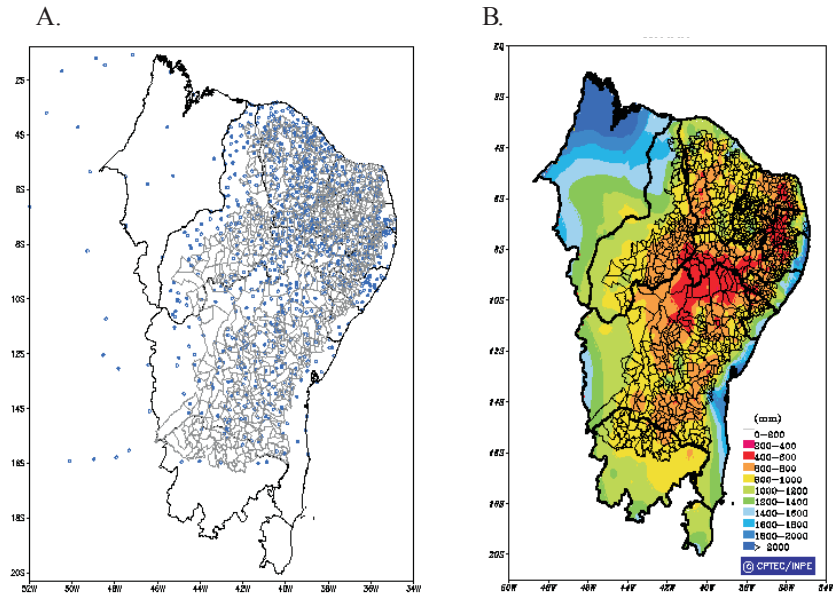
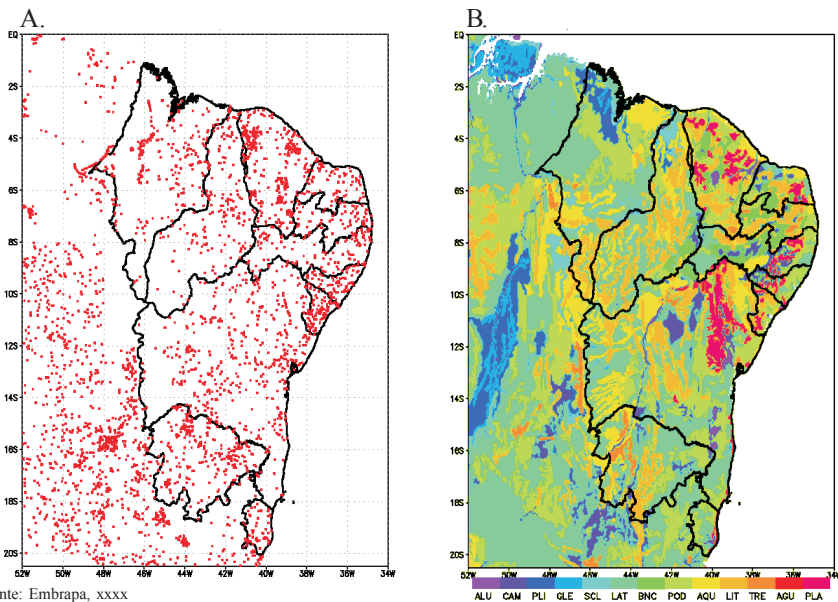


Figura 14.1 Distribuição espacial dos postos pluviométricos (A) e total anual de precipitado na região de atuação da SUNEDE (B)



Fonte: Embrapa, xxx

Figura 14.2 Distribuição espacial dos perfis de solo usado na caracterização dos parâmetros de balanço hídrico (A) e mapa de solos, indicando os principais grupos (B)

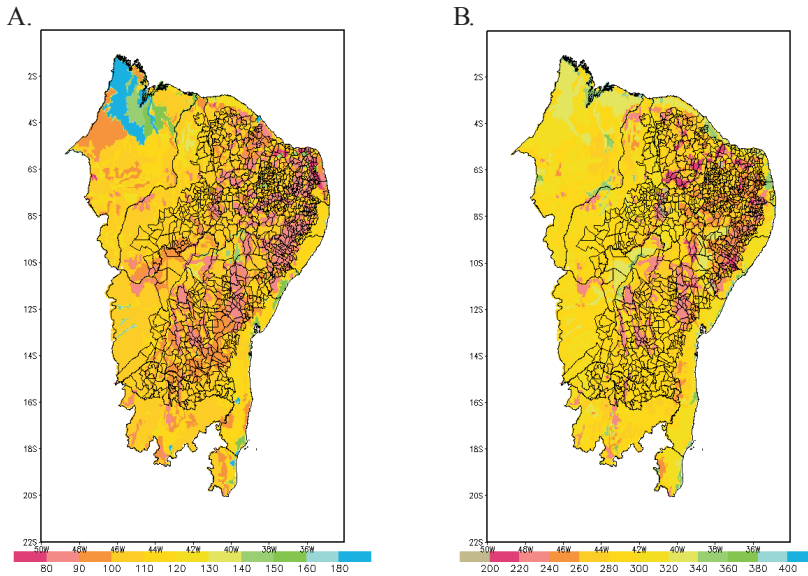


Figura 14.3 Capacidade de campo (em mm) estimada a partir de informação pedológica (A) e capacidade máxima de armazenamento no primeiro metro superior do perfil de solo (B)

a frequência em que ocorre déficit hídrico. Este número é indicativo da duração da estação de secas e da irregularidade das chuvas durante a estação chuvosa. O resultado deste cálculo é mostrado na Figura 14.4, indicando que a área que hoje é delimitada como semiárida é muito próxima à região que apresentou déficit hídrico severo em pelo menos 60% do período (1970 - A.B.1990). Para fins de comparação, áreas de cerrado tendem a apresentar déficit hídrico em torno de 50 % do tempo (em cor verde-claro) e, ocasionalmente, até 60 % (Figura 14.4).

O semiárido brasileiro é uma área dominada pelo bioma caatinga; a Figura 14.4 indica que esse tipo de vegetação se estabeleceu nessa região em decorrência das condições de estresse hídrico severo em pelo menos 60% do tempo, ficando claro que a principal restrição nesse tipo de ambiente se relaciona ao estresse hídrico e não a limitações na disponibilidade de nutrientes. O tipo de ambiente é, evidentemente, bastante vulnerável às mudanças climáticas, visto que alterações na disponibilidade hídrica podem acarretar deslocamento dos limites entre o cerrado e a caatinga, sem esquecer as enormes implicações sobre a demanda de água para irrigação e na agricultura de sequeiro, em geral.

14.3 OS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O NORDESTE PARA O FINAL DO SÉCULO XXI E SEUS IMPACTOS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

As projeções de disponibilidade hídrica sobre o Nordeste para o século XXI constituem um balanço entre as projeções de alterações em dois campos fundamentais,

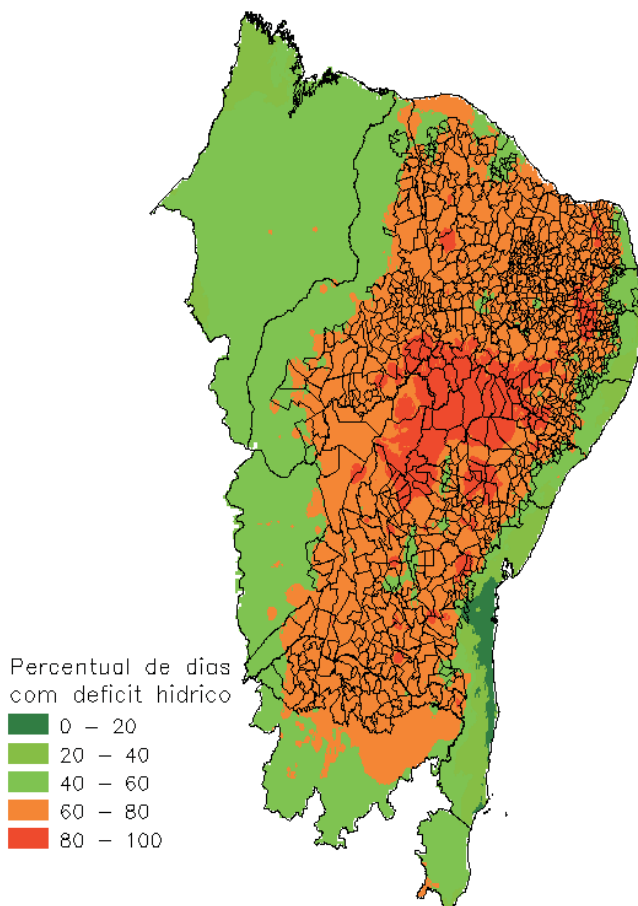


Figura 14.4 Percentual de dias com déficit hídrico no período 01/10/1970 - 31/12/1990

que são das características dos sistemas causadores de chuvas sobre o Nordeste em que, tornando-se mais intensos e/ou frequentes, como é o caso do ENSO (El Niño Oscilação Sul), podem causar um déficit anual dos totais pluviométricos sobre a região ou pelo aumento da intensidade dos episódios de chuva, associados a uma atmosfera mais quente. Com mais vapor d'água dissolvido no ar, podem ocasionar maior escoamento superficial sobre a região com decorrente aumento do volume armazenável em obras hídricas, muito embora em tal cenário o aumento do escoamento superficial sobre terras agriculturáveis ou de qualquer forma, desnudadas de cobertura vegetal nativa, também represente processos erosivos mais intensos, que resultam em perdas do solo originalmente de características rasas do Nordeste e consequente aumento do transporte de sedimentos e assoreamento no leito dos rios e lagos/barragens.

Em relação às perdas evaporativas, tanto o aumento da temperatura do ar já registrado sobre o Nordeste durante os últimos 40 anos, que variaram entre décimos de grau por década até próximo a um grau por década em regiões do semiárido de Pernambuco (Lacerda & Nobre, 2007), quanto o aumento projetado nos cenários globais do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) e regionais para o Nordeste (Marengo, 2007), constituem uma indicação segura de que a perda de água por evaporação deve aumentar significativamente sobre o Nordeste, durante as próximas décadas, aumentando o potencial de desertificação de áreas hoje classificadas semiáridas e de aridização de zonas do agreste e zona da mata.

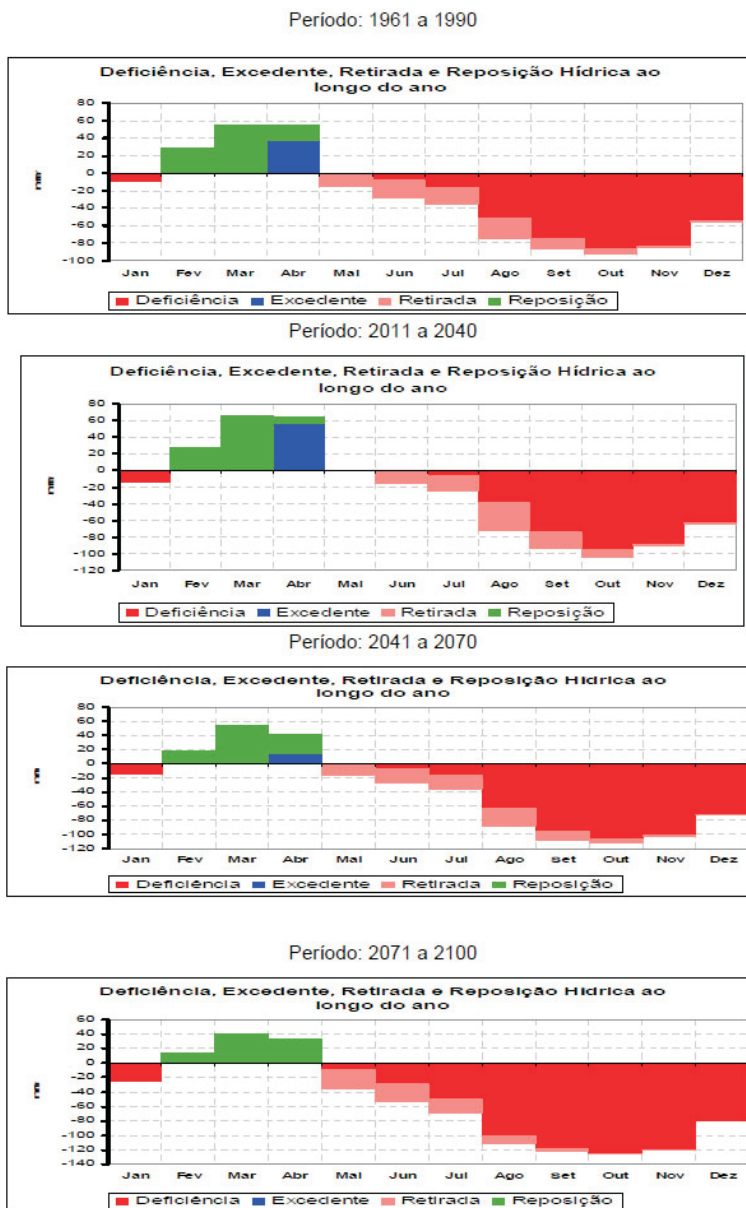
Desta forma e embora haja um considerável nível de incertezas quanto aos detalhes de como a componente aérea do ciclo hidrológico sobre o Nordeste venha a se alterar em décadas vindouras, se através da redução generalizada dos totais anuais pluviométricos sobre a região, ou se pela maior irregularidade espacial e temporal das chuvas sobre o Nordeste durante os períodos chuvosos do ano; no entanto, há maior convergência nos cenários de aumento generalizado da temperatura média do ar e da frequência de ondas de calor e noites quentes (Marengo, 2007), impactando, assim e de forma consistente, no aumento da perda de água por processos evaporativos e contribuindo para diminuir a disponibilidade hídrica, sobretudo na forma de umidade do solo.

A mudança esperada no balanço anual de disponibilidade hídrica no semiárido do Nordeste entre condições atuais e projetadas de aquecimento global, com base nos resultados de conjunto de modelos globais para cenarização das mudanças climáticas globais (Salati et al., 2007), indica claramente o cenário de aumento do déficit hídrico anual sobre a região Nordeste, para o final do século XXI (Figura 14.5).

Assim, sob um cenário de aumento de temperatura do ar e consequente aumento da perda de água por evaporação, as soluções de armazenamento hídrico através de grande número de pequenos açudes e barragens se tornam inviáveis, na medida em que a pouca água armazenada estará, de pronto, sujeita a maior evaporação devido ao aumento de temperatura do ar, reduzindo o espaço de tempo no qual tal corpo d'água pode ser utilizado para atividades produtivas.

14.4 PREVISÕES CLIMÁTICAS E DE ESTRESSE HÍDRICO CRESCENTE NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

Uma forma de adaptação a uma provável redução da disponibilidade hídrica sobre o Nordeste ao longo do século XXI, é o conhecimento e a capacidade prognóstica das variações climáticas sazonais do clima presente. Para tanto, ferramentas de previsão climática sazonal foram desenvolvidas durante as últimas décadas, tanto no Brasil quanto no exterior, as quais são utilizadas para prever anomalias pluviométricas e termométricas sazonais que contribuam para orientar ações preventivas e o planejamento de setores da sociedade, que vão desde o setor agrícola, perpassando por sistemas de abastecimento de água, até a Defesa Civil (na prevenção de deslizamento de encostas e alagamentos urbanos).



Fonte: Salati et al., 2007

Figura 14.5 Balanços hídricos obtidos pelos valores de temperatura e precipitação no Século XXI para o Nordeste Brasileiro, utilizando-se as médias dos valores dos modelos HadCM3, GFDL, CCCma, SCIRO e NIES para o cenário A2 utilizado-se dados do período de 1961 a 1990 (dados das Normais Climatológicas)

Tais ferramentas de previsão climática sazonal se constituem de modelos matemáticos, dinâmicos e estocásticos, que utilizam o conhecimento da lenta evolução dos campos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) tropicais na modulação da precipitação sobre o Nordeste do Brasil durante o período chuvoso, compreendido entre os meses de fevereiro a maio. Tais modelos foram desenvolvidos ao longo de décadas e já alcançam surpreendente grau de acerto de previsões de anomalias sazonais de precipitação para a região Nordeste, em escala sazonal (Marengo et al., 2003; Nobre et al., 2006). O desenvolvimento da metodologia para previsão climática sazonal iniciou-se a partir de trabalhos científicos que indicavam a forte dependência da variabilidade interanual das precipitações sazonais sobre o semiárido do Nordeste de padrões globais de variáveis atmosféricas e oceânicas (Namias, 1963; Hastenrath & Heller, 1977; Moura & Shukla, 1981; Ward & Folland, 1991; Nobre & Shukla, 1996). Inicialmente calcada em relações empíricas entre precipitação sazonal sobre o Nordeste e campos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e ventos, a metodologia de previsão foi aprimorada e sofisticada ao longo do tempo, passando a contar com o auxílio de resultados de modelos de circulação geral da atmosfera e, mais recentemente, de modelos acoplados oceano-atmosfera globais (Nobre et al., 2006).

O método de previsão numérica do clima utiliza o conceito de previsão por conjunto, em que integrações dos modelos globais atmosféricos e acoplados oceano-atmosfera, são utilizadas para estimar a classe mais provável de anomalias pluviométricas sobre uma região durante a estação imediatamente à frente. Os procedimentos para gerar os conjuntos de integrações, são: (i) iniciando-se cada membro do conjunto com condições iniciais ligeiramente diversas (exemplo tomando campos de condições iniciais – CI um dia à parte) e (ii) utilizando-se diversas parametrizações físicas de um mesmo modelo (exemplo: Kuo, RAS e Grell) e diversos modelos atmosféricos (exemplo: CPTEC, NCAR, COLA, NCEP e NASA) e acoplados oceano-atmosfera (exemplo: CPTEC, UKMET, CFS e MétéoFrance). Assim, através da utilização de ambos os métodos citados acima para geração de membros da previsão por conjunto, efetua-se a combinação de centenas de membros através de métodos mais elaborados (análise de clusters) ou mais simples (média aritmética entre todos os membros), para se avaliar qual a condição mais provável de ocorrência em três classes: acima da média, em torno da média e abaixo da média climatológica do período, para cada região.

Outro salto qualitativo no processo de geração de previsões climáticas sazonais, não somente para o Nordeste mas para todo o Brasil, foi o desenvolvimento de previsões de consenso, em que climatologistas ponderam aspectos relevantes à previsão climática, os quais não são representados nas formulações dos atuais modelos de circulação geral da atmosfera e dos oceanos. As previsões climáticas sazonais de consenso sobre o Nordeste do Brasil se originaram do trabalho pioneiro do INPE, em meados da década de 1980, quando se contava apenas com modelos conceituais da influência dos oceanos tropicais no clima do Nordeste (Namias, 1963; Namias, 1972; Hastenrath & Heller, 1977; Markham & McLain, 1977). A mudança paradigmática que levou ao uso de modelos de circulação geral da atmosfera desenvolvidos na década de 1950 como ferramenta de

previsão numérica de tempo, da ordem de dias a semanas, para previsões numéricas de clima, da ordem de meses a estações, foi o trabalho pioneiro de Shukla (Moura & Shukla, 1981; Shukla, 1981), que mostrou que o comportamento médio sazonal da atmosfera tropical era fortemente modulado pelos campos de TSM tropicais, mostrando evidências de modelos atmosféricos globais da importância dos gradientes meridionais de anomalias de TSM na modulação da precipitação sobre o Nordeste do Brasil (Moura & Shukla, 1981; Nobre & Shukla, 1996).

Em adição aos modelos atmosféricos e acoplados oceano-atmosfera globais, cujas grades de integração são da ordem de 200 km de lado, incompatíveis para aplicações em modelagem hidrológica de pequenas bacias, como na região Nordeste, surgiram aplicações de modelos atmosféricos regionais aninhados em resultados de modelos atmosféricos globais para o detalhamento em grades mais finas da previsão climática sazonal, gerada pelos modelos globais (Nobre et al., 2001; Sun et al., 2005), cujas grades alcançam dezenas de quilômetros de lado. O principal aspecto do uso de modelagem regional, além da escala espacial resolvida que se aproxima daquela necessária para modelos hidrológicos distribuídos, é a melhor representação de processos de superfície e uma simulação mais acurada de momentos mais elevados da distribuição temporal da chuva, como mostrado por Nobre et al. (2001).

Os balanços hídricos para a região Nordeste (Figura 14.5) sugerem que o volume total de água disponível para utilização na produção agrícola e para consumo humano, deverá diminuir ao longo do século XXI, fazendo com que o conhecimento antecipado de variações interanuais da pluviometria esperada sobre a região se torne mais e mais importante para a convivência com o clima aridizado do Nordeste. Assim, investimentos na melhoria da capacidade de monitoramento e prognóstico climático sazonal sobre o Nordeste e o Oceano Atlântico Tropical, são essenciais para apoiar ações de mitigação das causas e adaptação às consequências das mudanças climáticas. A partir de então, torna-se oportuno considerar que, não obstante o aumento da capacidade em prever anomalias pluviométricas sazonais, contribui para tornar a sociedade e a economia da região mais resilientes às variações e mudanças do clima atual e futuro, em que o aumento gradual da temperatura do ar e o respectivo aumento da perda evaporativa de água do solo poderão inviabilizar completamente um número de práticas agrícolas ainda presentes no semiárido do Brasil como, por exemplo, os cultivos de sequeiro (milho, feijão etc.) que demandam grande volume e regularidade da distribuição temporal das chuvas.

14.5 IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA VEGETAÇÃO DO SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO, PARA O FINAL DO SÉCULO XXI

Os impactos climáticos previstos para o século XXI, por exemplo, pelo IPCC AR4, poderão afetar a vegetação do semiárido do Brasil (SAB). Segundo Ambrizzi et al. (2007), as mudanças climáticas mais intensas para o final do século XXI, relativas ao clima atual, vão ocorrer na região tropical, especificamente na Amazônia e no Nordeste

do Brasil. Essas duas regiões constituem o que se poderia chamar de “climate change hot spots” e representariam as regiões mais vulneráveis do Brasil às mudanças climáticas, tanto na componente social como em termos da biodiversidade. Nesse contexto, uma pergunta pertinente é: considerando o SAB coberto somente pela sua vegetação natural (predominantemente caatinga), quais seriam os impactos se ocorressem as mudanças climáticas previstas para o final do século XXI? A presente seção revisa alguns trabalhos que enfocam esta questão. Um quadro-resumo dos trabalhos se encontra na Tabela 14.1.

Tabela 14.1 Quadro-resumo dos trabalhos que enfocam os impactos na vegetação do semiárido brasileiro decorrentes de mudanças climáticas globais para o final do século XXI (MCGAO: modelo acoplado de circulação geral da atmosfera e do oceano)

Estudo	Abrangência	Forçantes atmosféricas	Cenários de missões	Modelos de vegetação	Impacto no SANEB para o final do século XXI
Cramer et al. (2001)	Global	1 MCGAO (HadCM2 SUL)	IS92a	6 DVGM	Nenhuma mudança (efeito climático compensado pelo de fertilização do CO ₂)
Sitch et al. (2008)	Global	1 MCGAO (HadCM3LC)	SRES A1 F1 SRES A2 SRES B1 SRES B2	5 DVGM	Redução do estoque de carbono terrestre para a maioria dos modelos de vegetação
Schaphoff et al. (2006)	Global	5 MCGAO	IS92a	1 DVGM	Redução do estoque de carbono terrestre para a maioria dos MCGAO
Salazar et al. (2007)	Global	15 MCGAO	SRES B1 SRES A2	1 PVM	Aridização devida ao efeito climático para a maioria dos MCGAO; falta de consenso em razão da incerteza nas anomalias de precipitação
Lapola et al. (2009)	Global	14 MCGAO	SRES B2 SRES A2	1 PVM	Redução da aridização obtida por Salazar et al. (2007) em virtude do efeito de fertilização do CO ₂
Cook e Vizy (2008)	Regional	1 modelo regional (downscaling de 1 MCGAO)	SRES A2	1 PVM	Aridização
Salazar (2009)	Regional	3 modelos regionais (downscaling de 1 MCGAO)	SRES B2 SRES A2	1 PVM	Aridização para a maioria dos modelos regionais

Estudos envolvendo modelos globais de vegetação dinâmica (dynamic global vegetation models – DGVM; Ostle et al., 2009) apontam para uma redução do estoque de carbono terrestre sobre o SAB (Schaphoff et al., 2006; Sitch et al., 2008), no entanto, trata-se de um resultado que não é consensual (Cramer et al., 2001), mas chama a atenção para a necessidade de estudos mais detalhados e específicos para o SAB.

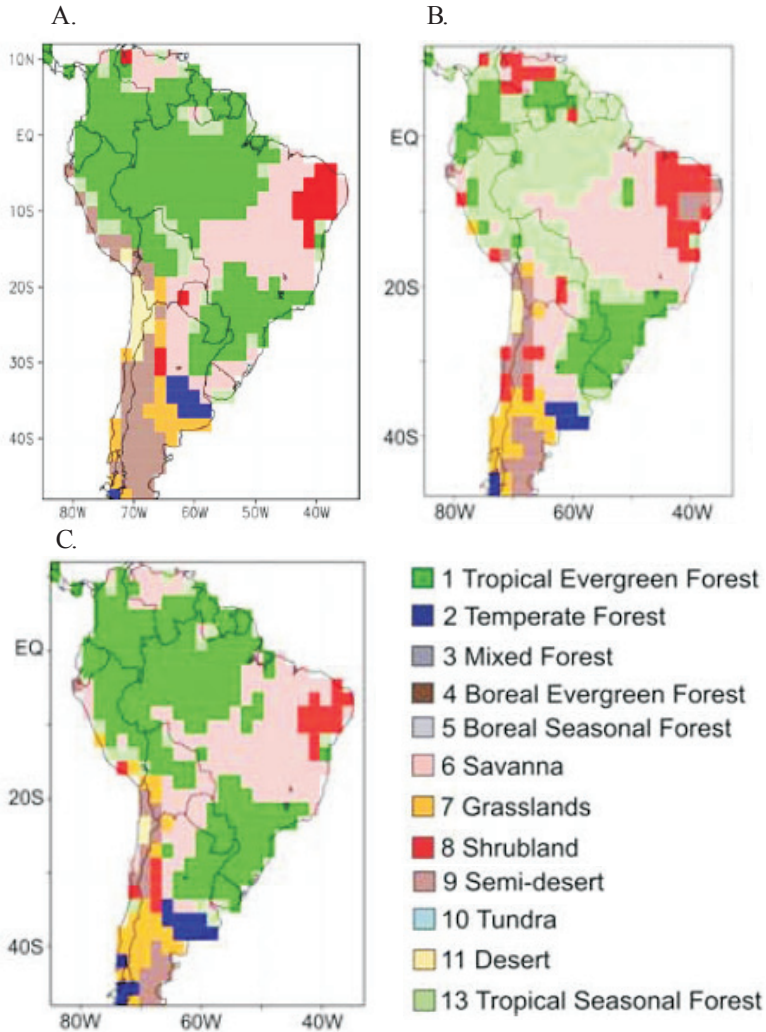
Como DGVM são modelos muito complexos, uma possibilidade é o uso de modelos de vegetação potencial (potential vegetation models – PVM) para investigar as relações de causa e efeito na vegetação do SAB. Os PVM diagnosticam o bioma em equilíbrio com um clima prescrito. Na literatura, encontram-se vários PVM: por exemplo, BIOME (Prentice et al., 1992) e CPTEC-PVM (Oyama e Nobre, 2004). No final do século XXI, devido a mudanças climáticas globais os PVM poderão ser uma ferramenta para diagnosticar um bioma diferente da caatinga em equilíbrio com o novo clima. Chama-lo-emos de aridização, se o novo bioma for de menor porte (semidesertos ou desertos) e de umidificação, se de maior porte (savanas ou florestas tropicais). A aridização (umidificação), portanto, significa a existência de condições climáticas favoráveis ao estabelecimento de vegetação de menor (maior) porte que a caatinga, e não deve ser interpretada como mudança de bioma pois os PVM não são capazes de representar os transientes da mudança de vegetação.

Por simplicidade, pode-se considerar três componentes básicos que afetam os biomas: temperatura, precipitação e concentração de $[\text{CO}_2]$. Em primeira ordem, o aumento (redução) de temperatura, redução (aumento) de precipitação e redução (aumento) da concentração de $[\text{CO}_2]$ reduziriam (aumentariam) a produtividade primária líquida – PPL da vegetação e, assim, favoreceriam a aridização (umidificação). Para a temperatura, as projeções dos diversos modelos do IPCC AR4 para o final do século XXI sob o cenário de emissões SRES A2, indicam um aumento consensual entre 2 e 6°C no SAB; para a precipitação não há consenso entre os modelos – as anomalias anuais variam de -2 a +2 mm dia⁻¹ (Vera et al., 2006; Salazar, 2009). Para a concentração de $[\text{CO}_2]$, o aumento depende do cenário de emissões; no SRES A2, a concentração de $[\text{CO}_2]$ seria em torno de 730 ppmv no final do século XXI; já no SRES B2, em torno de 535 ppmv. Considerando-se as anomalias de temperatura, precipitação e concentração de $[\text{CO}_2]$ em um PVM, qual seria o efeito na caatinga?

Considerando as anomalias de temperatura e precipitação (“efeito do clima”), sem considerar o aumento da concentração de $[\text{CO}_2]$ e seu efeito no aumento de PPL (que é chamado “efeito de fertilização do CO_2 ”), Salazar et al. (2007) demonstraram, utilizando o CPTEC-PVM, que cerca de 2/3 dos modelos do IPCC AR4 indicam aridização de partes do SAB (caatinga para semideserto). A falta de consenso seria decorrente da incerteza nas anomalias de precipitação, pois anomalias positivas de precipitação contrabalançariam os efeitos do aumento de temperatura, inclusive para 2 modelos haveria umidificação (caatinga para savana) devido a altas anomalias positivas de precipitação.

Lapola et al. (2009) mostraram, utilizando o CPTEC-PVM2 (CPTEC-PVM com ciclo de carbono), que o efeito de fertilização seria muito importante na estimativa dos

impactos na vegetação do SAB. Como ainda há muita incerteza quanto ao realismo da magnitude do efeito de fertilização calculado em modelos de vegetação (Nowak et al., 2004), mesmo reduzindo o efeito de fertilização à metade de forma *ad hoc*, a aridização diminuiria substancialmente em relação aos resultados, considerando-se apenas o efeito climático (exemplo para 1 modelo do IPCC AR4, que se encontra na Figura 14.6).



Fonte: Adaptado de Lapola et al. (2009)

Figura 14.6 Vegetação potencial obtida pelo CPTEC-PVM2: atual (A); final do século XXI, considerando-se apenas o efeito climático (B); considerando-se efeito climático e metade do efeito de fertilização (C) (MCGAO: NCAR-CCSM3)

Os efeitos do aumento da concentração de $[\text{CO}_2]$ na redução da condutância estomática e no aumento da produtividade primária bruta, seriam igualmente relevantes para o efeito de fertilização no SAB.

Visando ao maior detalhamento espacial dos impactos na vegetação, alguns trabalhos realizam downscaling das projeções de modelos de IPCC AR4 para gerar anomalias das variáveis climáticas em resolução mais alta (Ambrizzi et al., 2007) e utilizar essas anomalias como entrada de um PVM. Esses trabalhos apontam para uma aridização do SAB (Cook & Vizzy, 2008; Salazar, 2009). Em parte, isto reflete as anomalias do modelo do qual se faz downscaling.

Considerando que haverá aumento de temperatura e da concentração de $[\text{CO}_2]$, qual seria o valor de anomalia de precipitação a partir do qual haveria aridização ou umidificação no SAB? A Tabela 14.2 apresenta uma tentativa de se estabelecer esses limiares: considerando-se início de aridização (umidificação) quando 10% da área do SAB estiverem cobertos com semidesertos (savanas) segundo o CPTEC-PVM2Reg (Salazar, 2009), que é o CPTEC-PVM2 com melhorias na parte hidrológica, uma redução de precipitação superior a 30 e 40% seria necessária para aridização do SAB, até o final do século XXI. Devido ao efeito de fertilização do CO_2 , mesmo pequena redução de precipitação levaria à umidificação do SAB. A faixa de anomalias de precipitação para a manutenção da caatinga tornar-se-ia mais estreita; enquanto nos dias atuais a caatinga se manteria em uma faixa de 25% de anomalias de precipitação (de -20 a +5%), a faixa diminuiria para 5% no caso mais extremo (de -35 a -30%), o que indicaria perda de resiliência do bioma de caatinga, ou seja, o estado de equilíbrio bioma-clima mais seco para o SAB nos dias atuais (Oyama e Nobre, 2003) poderia tornar-se o único; entretanto, tal possibilidade precisaria ser confirmada através de estudos adicionais.

Tabela 14.2 Anomalias relativas de precipitação (em relação ao total anual climatológico atual) necessárias para iniciar a aridização ou a umidificação do semiárido brasileiro, em função das anomalias de temperatura e da concentração de $[\text{CO}_2]$. Elaborado com base nas informações de Salazar (2009)

Anomalia de temperatura (°C)	$[\text{CO}_2]$ (ppmv)	Anomalia relativa de precipitação para iniciar aridização	Anomalia relativa de precipitação para iniciar umidificação
		(%)	
0	350	-20	+5
+2	535	-25	-15
+4	730	-35	-30

Ecosistemas naturais não têm capacidade intrínseca de migração ou adaptação à magnitude das mudanças climáticas projetadas na escala de tempo em que estão ocorrendo, isto é, décadas. Ecosistemas migram ou se adaptam naturalmente a flutuações e tendências climáticas ocorrendo na escala de séculos a milênios. Portanto, pode-se esperar rearranjos significativos dos biomas, em particular da caatinga no SAB, até o final do século XXI.

14.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos baseados em observações revelam que o semiárido do Brasil é um ecossistema no qual o equilíbrio entre o clima e a vegetação é muito frágil, e onde ligeiras mudanças climatológicas podem acarretar fortes impactos sobre a vegetação.

Por outro lado, diferentes cenários de mudanças climáticas sugerem que as condições de semiaridez da região deverão tornar-se mais acentuadas e generalizadas, o que irá provocar um colapso da caatinga em algumas regiões ou mesmo o avanço desse tipo de ecossistema sobre áreas de cerrado.

Dada a alta concentração populacional do semiárido brasileiro, certamente esses cenários exercerão forte influência sobre o comportamento demográfico na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrizzi, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório N° 3, Ministério do Meio Ambiente, 2007.
- Chu, P. S. Brazil's climate anomalies and ENSO. Teleconnections linking worldwide climate anomalies. In: Glantz, M. H.; Katz, R. W.; Nicholls, N. (ed.), Cambridge University Press, 1991. p.43-71.
- Coelho, C. A.; Uvo, C. R. B.; Ambrizzi, T. Exploring impacts of the tropical SST on the precipitation pattern of South America during ENSO periods. *Theor. Applied Climatology*, v.71, p.185-197, 2002.
- Cook, K.H.; Vizy, E.K. Effects of twenty-first century climate change on the Amazon rain forest. *Journal of Climate*, v.21, p.542-560, 2008.
- Cramer, W. et al. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, v.7, p.357-373, 2001.
- Hastenrath, S.; Druyan, L. Circulation anomaly mechanisms in the tropical Atlantic sector during the Northeast Brazil rainy season. *Journal Geophysical Research - Atmospheres*, v.98, p.14917-14923, 1993.
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society*, v.110, p.411-425, 1977.
- Lacerda, F. F.; Nobre, P. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. Recife: Ed. UFPE, 2007.
- Lapola, D.M.; Oyama, M.D.; Nobre, C.A. Exploring the range of climate biome projections for South America: The role of CO₂ fertilization and seasonality. *Global Biogeochemical Cycles*, v.23, GB3003, 2009. doi:10.1029/2008GB003357
- Marengo, J. O quarto relatório do IPCC (IPCC AR4) e projeções de mudança de clima para o Brasil e América do Sul. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.23-28, 2007.

- Marengo, J. A.; Cavalcanti, I. F. A.; Satyamurty, P.; Nobre, C. A.; Bonatti, J. P.; Manzi, A. O.; Trosnikov, I.; Sampaio, G.; Camargo, H.; Sanches, M. B.; Cunningham, C. A. C.; D'Almeida, C.; Pezzi, L. P. Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLA atmospheric GCM. Skill and predictability assessment and applications to climate predictions. *Climate Dynamics*, v.21, p.459-475, 2003.
- Markham, C. G.; McLain, D. R. Sea surface temperature related to rain in Ceara, northeastern Brazil. *Nature*, v.265, p.320-325, 1977.
- Moura, A. D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmosphere Science*, v.38, p.2653-2675, 1981.
- Namias, J. Interactions of circulation and weather between hemispheres. *Monthly Weather Review*, v.91, p.482-486, 1963.
- Namias, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus*, v.24, p.336-342, 1972.
- Nobre, P.; Marengo, J. A.; Cavalcanti, I. F. A.; Obregon, G.; Barros, V.; Camilloni, I.; Campos, N.; Ferreira, A. G. Seasonal-to-Decadal Predictability and Prediction of South American Climate. *Journal of Climate*, v.19, p.5988-6004, 2006.
- Nobre, P.; Moura, A. D.; Sun, L. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI. *Bulletin American Meteorology Society*, v.82, p.2787-2796, 2001.
- Nobre, P.; Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v.9, p.2464-2479, 1996.
- Nowak, R.S.; Ellsworth, D.S.; Smith, S.D. Functional responses of plants to elevated CO₂ – Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist*, v.162, p.253-280, 2004.
- Ostle, N.J. et al. Integrating plant-soil interactions into global carbon cycle models. *Journal of Ecology*, v.97, p.851-863, 2009.
- Oyama, M.D.; Nobre, C.A. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v.30, 2199, 2003. doi:10.1029/2003GL018600
- Oyama, M.D.; Nobre, C.A. A simple potential vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SiB). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, p.203-216, 2004.
- Prentice, I.C. et al. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, v.19, p.117-134, 1992.
- Salati, E.; Salati, E.; Campanhol, T.; Nova, N. V. Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI4, 2007. 186p.
- Salazar, L.F. Consequências das mudanças climáticas na distribuição dos biomas na América do Sul com ênfase na Amazônia e Nordeste. Tese (doutorado em Meteorologia). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

- Salazar, L.F.; Nobre, C.A.; Oyama, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v.34, L09708, 2007. doi:10.1029/2007GL029695
- Schaphoff, S. et al. Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections. *Climate Change*, v.74, p.97-122, 2006.
- Shukla, J. Dynamical predictability of monthly means. *Journal of Atmosphere Science*, v.38, p.2547-2572, 1981.
- Stich, S. et al. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon feedbacks using 5 Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). *Global Change Biology*, v.14, p.2015-2039, 2008.
- Sun, L.; Moncunill, D. F.; Li, H.; Moura, A. D.; Filho, F. A. S. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NCEP RSM97. *Journal of Climate*, 2005.
- Vera, C.; Silvestri, G.; Liebmann, B.; Gonzalez, P. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters*, v.33, L13707, 2006. doi:10.1029/2006GL025759
- Ward, M. N.; Folland, C. K. Prediction of seasonal rainfall in the north nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *International Journal of Climatology*, v.11, p.711-743, 1991.



Impressão e Acabamento

Triunfal Gráfica e Editora

Rua José Vieira da Cunha e Silva, 920/930/940 - Assis/SP
CEP 19800-141 - Fone: (18) 3322-5775 - Fone/Fax: (18) 3324-3614
CNPJ 03.002.566/0001-40

O tema recursos hídricos é, sem dúvida, um dos mais discutido e, também, pouco entendido, em toda a sua abrangência. Esta obra, que agora tenho a honra de apresentá-la, é produto da articulação do INSA com pesquisadores de várias instituições de ensino e pesquisa do país e do exterior, com atribuições de estudar e desenvolver tecnologias para a solução de problemas envolvendo aspectos hídricos. É resultado, também, da política editorial do Instituto, incentivando a pesquisa colaborativa e articulada, a difusão científica ágil e em formato adequado à formação de técnicos, com atuação nesse tema, além de atualizar conhecimentos para os agentes que aperfeiçoam e executam políticas públicas regionais. Esta publicação também pretende trazer à luz novos conceitos, experiências e informações, contribuindo para a conservação e gestão das águas.



INSA

Instituto Nacional
do Semiárido

Articulação, Pesquisa, Formação, Difusão e Política

Ministério da
Ciência e Tecnologia



FOTO: SALOMÃO DE SOUSA MEDEIROS

APOIO:

