



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DEBORAH MITHYA BARROS ALEXANDRE**

**GESTÃO DE PEQUENOS SISTEMAS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**FORTALEZA  
2012**

DEBORAH MITHYA BARROS ALEXANDRE

**GESTÃO DE PEQUENOS SISTEMAS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Orientador: Prof. José Carlos de Araújo

FORTALEZA  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- A369g Alexandre, Deborah Mithya Barros  
Gestão de pequenos sistemas hídricos no semiárido nordestino/ Deborah Mithya Barros Alexandre – 2012.  
151 p. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2012.  
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.  
Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.
1. Gestão hídrica. 2. Disponibilidade hídrica. 3. Açude. I. Título.

DEBORAH MITHYA BARROS ALEXANDRE

GESTÃO DE PEQUENOS SISTEMAS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Tese submetida à banca examinadora aprovada pela Coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em \_\_/\_\_/\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. José Carlos de Araújo (Orientador), Dr.  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Conselheiro), Dr.  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Prof. George Leite Mamede (Conselheiro), Dr.  
Universidade da Integração Internacional de Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

---

Prof. Cristiano das Neves Almeida (Conselheiro), Dr.  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

---

Prof. José Gerardo Beserra de Oliveira (Conselheiro), Dr.  
Consultor (Professor Aposentado)

Ao meu marido, **Luiz Fernando**, pela parceria na vida e pelo incentivo constante e incansável.

Aos meus filhos, **Gustavo, Guilherme e Guilhermino**, por me inspirarem força e alegria.

Aos meus pais, **Alexandre e Adailda**, pelas lições de vida.

Ao meu avô, **Zé Marinheiro** (*In memoriam*), sertanejo que um dia sonhou em ser “engenheiro de açude”.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por sua infinita bondade e misericórdia.

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – Cogerh, pela oportunidade de qualificação e pelo apoio a esta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. José Carlos de Araújo, pela orientação e pelas discussões que tornaram este trabalho possível e à sua família, que me recebeu de forma acolhedora.

À banca examinadora deste trabalho, Prof. George Mamede, Prof. Pedro Medeiros, Prof. Cristiano Almeida e Prof. José Gerardo, pelas sugestões e discussões que contribuíram para o enriquecimento desta tese.

Ao Professor Alain Marie Bernard Passerat de Silans, pela troca de ideias em busca de um modelo adequado à gestão de pequenos sistemas hídricos.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo financiamento do Projeto DISPAB -SA – Metodologias para definição da disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas da região semiárida do Brasil, do qual esta tese se originou.

Ao meu Gerente na Cogerh, Walt Disney Paulino, pela compreensão nos momentos de ausência do trabalho, pelo fornecimento de dados, informações e bibliografia.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa Hidrossedimentológica do Semiárido (HIDROSED), Iran Neto, Yuri Castro, José Vidal, Mario Wiegand, Laldiane Pinheiro, Marcos Meireles, Cristian Epifânio, Leonardo Schramm, Everton Alves e José Wellington, pela contribuição nas viagens, pelo suporte e *link* com a Universidade e pelos momentos enriquecedores.

Aos colaboradores de campo, Hosana e Cícero Oliveira, Síntia, Rafaela, Marina, Irlânia, Lucineide, Anselmo, Nílvia, Siqueira, Alderice, Josué e Bonfim, pelo empenho e pela força em campo, para a obtenção dos dados primários.

Ao Gerald Souza da Silva, pelos dados, pelo software e pelo treinamento fornecido e pela disponibilidade para tirar dúvidas.

À Professora Eunice Maia de Andrade, pela colaboração, tanto para a qualificação desta tese, como para a organização dos dados primários.

Ao Banco do Nordeste do Brasil – BNB, pelo acesso à biblioteca do ETENE, de onde foi escrita grande parte desta tese, e à Audrey e Tainá, pela disposição em me ajudar.

Aos meus amigos e companheiros de jornada, Alexandre, Helba e Adriana, pelos pequenos gestos, pelas palavras e pelo bom convívio.

Aos meus colegas da Cogerh, Marciana, Rafael, Bruno, Rodrigo, Alves e Luciana, que

tanto me ajudaram com dados, mapas e ideias.

À minha família, pelos sacrifícios assumidos, pela infinita paciência, pela compreensão nas minhas ausências e pelo estímulo constante e incondicional.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa, a minha lembrança, o meu reconhecimento e o meu profundo agradecimento.

*“No sertão, vale mais deixar à família um bom  
açude do que rico e belo palácio.  
Dessa verdade estão todos mais ou menos convencidos.”*

Philippe Guerra, em *Seccas contra as Secas* (1902)



## RESUMO

Como forma de amenizar a escassez de água na região semiárida brasileira, criou-se a cultura da construção de pequenos açudes com o objetivo de acumulação de água do período chuvoso para seu uso no estio. Por se tratarem, muitas vezes, de obras emergenciais, grande parte desses pequenos sistemas foi construída sem critérios técnicos e/ou projeto de construção e aproveitamento. Portanto, não constam nos planos de bacias e sua existência sequer é de conhecimento dos órgãos gestores. O objetivo deste trabalho foi propor um modelo de gestão de pequenos sistemas hídricos da região semiárida, fundamentado na importância e nos usos desses mananciais, bem como a escolha de métodos eficazes de estimativa das principais variáveis hidrológicas em pequenas bacias não monitoradas. Para atingir os objetivos foram realizados o levantamento de dados socioeconômicos dos usuários bem como a caracterização hidrológica de pequenas bacias. No caso da caracterização socioeconômica, foram aplicados 524 questionários e visitados 171 pequenos açudes localizados nos Estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Através do processamento desses questionários foi possível compreender a importância socioeconômica desses sistemas, que fornecem meios de subsistência e a sua efetiva contribuição para o abastecimento das populações rurais, sendo identificados como principais usos, nessa ordem: abastecimento doméstico; dessedentação animal; pesca; dessedentação humana e irrigação. Para a caracterização hidrológica foram considerados dez pequenos açudes monitorados no Estado do Ceará, para os quais foram simuladas as seguintes variáveis hidrológicas: capacidade de acumulação, vazão afluente média anual e disponibilidade hídrica para diversos níveis de garantia. As estimativas de volume foram realizadas pelos métodos de Molle e de Campos, usando para isso o instrumento SIG (Sistema de Informações Geográficas). A equação empírica de Molle apresentou os resultados mais consistentes com as observações de campo. As afluências médias anuais foram estimadas a partir de quatro modelos chuva-vazão: equação de Aguiar; equação de Molle e Cadier, método de número de curva (CN) do SCS; e modelo SMAP com parâmetros calculados por mineração de dados, de acordo com Diniz e, posteriormente, com Silva (DS). O método SMAP/DS apresentou os resultados mais confiáveis para bacias não monitoradas. Esse resultado é de grande relevância, posto que até o momento os demais modelos chuva-deflúvio eram os utilizados para bacias não monitoradas na região semiárida. Espera-se, portanto, que a utilização do modelo SMAP/DS eleve o padrão de qualidade dos projetos e da gestão de pequenas bacias não monitoradas. Para estimar a disponibilidade hídrica foi aplicado o modelo VYELAS, simulando vazões para

diversos níveis de garantia. Para fins de análise, foram explicitadas as vazões com 85%, 90% e 99% de garantia anual. Esses valores foram usados para simulações de vazões outorgáveis. O resultado indicou que alguns desses açudes não conseguem regularizar vazões minimamente significativas com 99% de garantia anual. Diante dos problemas ambientais oriundos dos seus usos, como a criação de animais soltos, com acesso direto ao açude, que causam problemas como a eutrofização, promovendo a presença de patógenos, afetando a disponibilidade qualitativa da água e causando doenças e pelos conflitos detectados a partir da aplicação dos questionários, e da inexistência de uma metodologia formal de gerenciamento desses pequenos sistemas, foi proposto um modelo de gestão para os pequenos sistemas, à escala de pequeno açude e adequado às particularidades das regiões semiáridas. Por fim, analisou-se como se daria a aplicação deste modelo de gestão para um dos açudes analisados nos mais de 500 questionários. O açude eleito foi o *Paus Brancos*, em Madalena, Ceará. O modelo de gestão, baseado nos instrumentos preconizados pela legislação de recursos hídricos (outorga, cobrança, enquadramento, plano de bacia e sistema de informações), indica a biorremediação como solução para a redução de nutrientes no açude; traça um plano emergencial para os períodos de seca; recomenda a formação de comissão gestora do açude para, entre outras atribuições, implantar a gestão participativa na bacia hidrográfica e delinea a formação de um banco de dados quali-quantitativo, a ser incorporado ao banco de dados do órgão gestor, a Cogerh. Além disso, o modelo propõe uma alternativa para a dessedentação animal, restringindo o seu acesso ao Paus Branco e destinando um outro pequeno reservatório exclusivamente aos animais.

**Palavras-chave:** Pequeno açude, Disponibilidade hídrica, Gestão.

## ABSTRACT

The culture of small dams construction (to accumulate water during the rainy season for use during the dry season) was created as a way to alleviate water shortages in the Brazilian semiarid region. Because these are often emergency works, many of these small systems were constructed without technical criteria and/or technical project. Therefore, they are not included in the plan basins and their existence is practically ignored by the government. The objective of this study was to propose a model for management of small systems of the semiarid region, based on the importance and uses of these watersheds, as well as on the choice of effective methods of estimation of main hydrological variables in small unmonitored watersheds. To achieve these objectives, was performed a survey of users' socioeconomic data and characterization of small hydrological basins. Assessing the socioeconomic characteristics, we applied 524 questionnaires and visited 171 small dams in the states of Ceará, Paraíba and Rio Grande do Norte. Through the processing of the questionnaires, it was possible to understand the socioeconomic importance of these systems, the provision of livelihoods and water supply in rural populations, for domestic use, for animal watering, for fisheries, for human watering and for irrigation. Ten small monitored dams in the State of Ceará were considered for hydrological characterization, for which the following hydrologic variables were simulated: storage capacity, annual average inflow and water availability for different reliability levels. The volume estimates were made by the methods of Molle and Campos using GIS (Geographic Information System). The Molle empirical equation presented better results as compared with field observations. The average annual inflows were estimated from four rainfall-runoff models: Aguiar equation; Molle and Cadier equation, SCS curve number (CN) method, and SMAP model with parameters estimated by data mining, according to Diniz and subsequently to Souza (DS). The SMAP/DS method showed more reliable results for unmonitored watersheds. This result is of great relevance, since so far, only the other rainfall-runoff models were used for unmonitored watersheds in the semiarid region. It is expected, therefore, that the use of the SMAP/DS model will raise the standard of project quality and management of small unmonitored watersheds. The VYELAS model was applied to estimate the water availability, simulating annual flows for different reliability levels. For analytical purposes, the flows with reliability levels of 85%, 90% and 99% were used for simulations of granted flows and this indicated that some dams can not regulate discharges with reliability level of 99% guarantee. Given the environmental problems arising from their mismanaged use, such as loose livestock with

direct access to the dam, causing eutrophication and promoting to the presence of pathogens, affecting the qualitative availability of water and causing diseases and conflicts detected from the questionnaires, and the absence of a formal methodology for managing these small systems, we propose a management model for small dams (and reservoirs), appropriate to the particularities of semiarid regions. Finally, we evaluated the application of this management model to one of the reservoirs analyzed in more than 500 questionnaires. The selected dam was the *Paus Brancos* in Madalena, Ceará. The management model based on the instruments recommended by the legislation of water resources (water rights grants, charging for the use, water quality objectives/standards, plan and basin information system), indicates the bioremediation as a solution for reducing nutrients in the reservoirs, delineates an emergency plan for drought periods; recommends the formation of the dam management committee (which would have, among other assignments, participatory management in the watershed) and outlines the formation of a qualitative and quantitative database, to be incorporated into the database of the management organization, the COGERH. Furthermore, the model proposes an alternative method for animal watering, restricting the access to the *Paus Brancos* and preserving another small reservoir only for animal use.

**Keywords:** Small dam, water availability, management.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Colocação do problema.....	17
1.2. Questões científicas, hipóteses e objetivos.....	19
1.3. Método geral.....	19
1.3.1 Estudos preliminares e levantamento de campo.....	19
1.3.2 Aplicação dos questionários socioeconômicos.....	21
1.3.3 Avaliação da disponibilidade hídrica através da regionalização de parâmetros de modelos chuva-vazão.....	22
1.3.4 Modelo de gestão dos pequenos açudes.....	23
2. USO E IMPACTO SOCIOECONÔMICO DA PEQUENA AÇUDAGEM.....	24
2.1. Introdução.....	24
2.2. Área do estudo.....	25
2.2.1 Áreas de estudo na Paraíba.....	26
2.2.2 Áreas de estudo no Ceará.....	29
2.2.3 Áreas de estudo no Rio Grande do Norte.....	33
2.3. Método.....	34
2.4. Resultados e Discussão.....	35
2.4.1 Usos da água.....	35
2.4.2 Impactos socioeconômicos.....	41
2.5. Conclusões.....	52
3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE PEQUENAS BACIAS.....	54
3.1. Introdução.....	54
3.2. Método.....	56
3.2.1 Caracterização hidrológica das áreas de estudo.....	56
3.2.2 Cálculo da capacidade e acumulação dos reservatórios.....	61
3.2.3 Cálculo das afluências aos pequenos açudes.....	63
3.2.4 Cálculo da disponibilidade hídrica dos pequenos açudes.....	73
3.3. Resultados e Discussão.....	74
3.3.1 Análise da capacidade de acumulação dos reservatórios.....	74
3.3.2 Análise das vazões afluentes.....	76
3.3.3 Análise da disponibilidade hídrica.....	87
3.4. Conclusões.....	91
4. MODELO DE GESTÃO DOS PEQUENOS AÇUDES.....	93
4.1. Introdução.....	93
4.2. Sistematização da proposta metodológica.....	95
4.3. Aplicação da metodologia proposta: Estudo de caso do açude Paus Branco.....	99
4.3.1 Caracterização do sistema.....	100
4.3.2 Proposição de um modelo de gestão para o açude Paus Branco.....	109
4.4. Conclusões e recomendações.....	125
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	127
BIBLIOGRAFIA.....	130
ANEXO.....	150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Ficha técnica sintética dos reservatórios em estudo no Estado do Ceará, incluindo informações acerca da localização, bacia e região hidrográfica.....	57
Tabela 2 -	Tipos de solos, em percentual, das dez bacias hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.....	59
Tabela 3 -	Parâmetros físicos das dez bacias hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.....	59
Tabela 4 -	Características hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.....	60
Tabela 5 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Santo Antonio, Ceará (A=3,20 km <sup>2</sup> ).....	77
Tabela 6 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Jatobá, Ceará (A=22,00 km <sup>2</sup> ).....	77
Tabela 7 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle & Cadier, SCS e SMAP/D para a bacia hidrográfica do açude Do Coronel.....	78
Tabela 8 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Pau Preto, Ceará (A=804,61 km <sup>2</sup> ).....	78
Tabela 9 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Valério, Ceará (A=60,00 km <sup>2</sup> ).....	78
Tabela 10 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Gomes, Ceará (A=31,43 km <sup>2</sup> ).....	79
Tabela 11 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Penedo, Ceará (A=8,27 km <sup>2</sup> ).....	79
Tabela 12 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Tatajuba, Ceará (A=22,09 km <sup>2</sup> ).....	79
Tabela 13 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/D para a bacia hidrográfica do açude Madeiro, Ceará (A=9,86 km <sup>2</sup> ).....	80
Tabela 14 -	Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/D para a bacia hidrográfica do açude São Domingos, Ceará (A=15,62 km <sup>2</sup> ).....	80
Tabela 15 -	Análise comparativa do desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS, aplicados a dez pequenos açudes monitorados no Ceará.....	83
Tabela 16 -	Simulações da disponibilidade hídrica com garantias de 85%, 90% e 99%, vazões outorgáveis ( $Q_{out} = 0,90 * Q_{90}$ ), sua relação com a capacidade de acumulação dos reservatórios ( $V/Q_{out}$ ) e o volume afluente médio anual ( $Q_{out}/Q_A$ ).....	89
Tabela 17 -	Ficha técnica sintética do açude Paus Branco, em Madalena, Ceará.....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coeficientes hidrométricos, segundo Aguiar (1940).....	65
Quadro 2 - Fatores de correção $\lambda_V$ , $\lambda_A$ e $\lambda_L$ , referentes à vegetação da bacia hidrográfica, aos açudes a montante e às zonas de retenção, respectivamente.....	66
Quadro 3 - Grupos de solos, de acordo com o modelo hidrológico do SCS (1972).....	68
Quadro 4 - Valores de CN para bacias rurais, para a condição II de umidade antecedente, de acordo com o modelo SCS (1972).....	69
Quadro 5 - Classes antecedentes de umidade (AMC) para o método de abstrações de chuva do modelo SCS (1972).....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Equipe de campo da Paraíba, realizando o traçado da poligonal de um dos açudes do estudo.....	20
Figura 2 -	Equipes realizando medição da profundidade máxima de açudes no Rio Grande do Norte (A) e no Ceará (B).....	21
Figura 3 -	Equipes de campo aplicando questionários socioeconômicos no Rio Grande do Norte (A e B) e no Ceará (C), respectivamente.....	22
Figura 4 -	Localização da região Nordeste Brasileira (NEB), com destaque para os Estados do Ceará (CE), Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN).....	26
Figura 5 -	Localização da bacia hidrográfica do açude Sumé, Paraíba.....	27
Figura 6 -	Localização da bacia do açude Saco de Nova Olinda, Paraíba.....	29
Figura 7 -	Localização da bacia do açude Benguê, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os açudes visitados em julho/2009.....	30
Figura 8 -	Localização das bacias dos açudes Pirabibu e Fogareiro, na bacia do Banabuiu, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os onze açudes visitados em outubro/2009.....	31
Figura 9 -	Localização da região do estudo na bacia do Salgado, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os dezenove açudes visitados em abril/2010.....	32
Figura 10 -	Localização da bacia hidrográfica do açude Dourado, Rio Grande do Norte.	33
Figura 11 -	Principais usos das águas dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	36
Figura 12 -	Captação de água para uso doméstico: A) Açude Mulungu e B) Açude São Benedito e C) Lavagem de roupas diretamente no açude Araras, Alto Jaguaribe (CE) (Julho/2009).....	37
Figura 13 -	Usos conjuntos das águas dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	38
Figura 14 -	- Animais bebendo água diretamente nos pequenos açudes estudados: A) Açude Paus Brancos e B) Açude São Nicolau, bacia do Banabuiu, Ceará (Outubro, 2009).....	39
Figura 15 -	Pesca artesanal praticada pela população difusa, açude Mulungu, Alto Jaguaribe, Ceará (Julho/2009).....	40
Figura 16 -	Grau de importância dos 171 pequenos açudes estudados, sob o ponto de vista da população difusa do semiárido nordestino pequenos (Setembro de 2008 a abril de 2010).....	42
Figura 17 -	Número de pessoas nas 524 famílias entrevistadas no semiárido nordestino, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	43
Figura 18 -	Grau de instrução dos 524 entrevistados, usuários dos 171 pequenos açudes pesquisados no Nordeste Brasileiro no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	44
Figura 19 -	Pretensões dos 524 entrevistados, usuários dos 171 pequenos açudes pesquisados no Nordeste Brasileiro, de continuar no campo no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	44



Figura 20 -	Grau de satisfação da população entrevistada no quanto à disponibilidade de água dos 171 pequenos açudes do Nordeste Brasileiro, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	46
Figura 21 -	Fontes de água disponíveis para a população rural no semiárido nordestino, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.....	47
Figura 22 -	Tipo de água utilizada pelos usuários dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, quanto ao tratamento (Setembro de 2008 a abril de 2010).....	48
Figura 23 -	Macrófitas aquáticas presentes em grande parte dos pequenos açudes do Estado do Ceará: A) Açude Maniçoba e B) Açude São Benedito, no Alto Jaguaribe, Ceará, julho/2009; C) Açude Nova Vida II, Banabuiú, Ceará, outubro/2009; D) Açude Cachoeira, Cariri, Ceará, abril/2010.....	49
Figura 24 -	Tipos de culturas praticadas no entorno dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, no período de setembro de 2008 a abril de 2010.....	50
Figura 25 -	Frequência de entrevistados, segundo a variedade de animais criados, no período de setembro de 2008 a abril de 2010.....	51
Figura 26 -	Distribuição espacial dos açudes estudados no Estado do Ceará, por região hidrográfica.....	58
Figura 27 -	Estrutura do modelo SMAP. No detalhe tracejado, o esquema simplificado adotado para o semiárido.....	70
Figura 28 -	Volumes simulados para dez pequenos açudes monitorados no Ceará, pelas metodologias de Molle e de Campos/SIG.....	75
Figura 29 -	Curvas de frequência de erros acumulados na aplicação dos métodos de Molle e Campos/SIG para obtenção do volume de dez reservatórios monitorados no Ceará.....	75
Figura 30 -	Diagrama de dispersão para as vazões simuladas, por ano, pelos modelos hidrológicos para as bacias hidrográficas estudadas no Ceará, período de 2004 a 2010.....	81
Figura 31 -	Diagrama de dispersão para as médias das vazões simuladas pelos modelos hidrológicos para as bacias hidrográficas estudadas no Ceará, período de 2004 a 2010.....	81
Figura 32 -	Curvas de frequência de erros acumulados na aplicação de quatro modelos hidrológicos (Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS) dos modelos hidrológicos aplicados a dez pequenos açudes monitorados do Ceará.....	86
Figura 33 -	Diagrama de dispersão para as vazões $Q_{90}$ obtidas com base em simulações e as vazões $Q_{90}$ com base em medidas de campo para os dez pequenos açudes estudados no Ceará.....	88
Figura 34 -	Fluxograma da proposta metodológica para a gestão de um pequeno sistema do semiárido.....	97
Figura 35 -	Localização do açude Paus Branco, na Comunidade de Paus Branco, Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, Ceará.....	101
Figura 36 -	Hidrograma do açude Paus Branco (Prec – precipitação; $Q_{med}$ representa as vazões medidas e $Q_{calc}$ as vazões simuladas pelo modelo SMAP/DS).....	103
Figura 37 -	Curva de garantia das vazões regularizáveis do açude Paus Branco.....	104
Figura 38 -	Macrófitas aquáticas presentes na bacia hidráulica do açude Paus Branco, Madalena, Ceará (Outubro/2010).....	106

Figura 39 -	Cobertura de macrófitas aquáticas na bacia hidráulica do açude Paus Branco, Madalena, Ceará, no período de estiagem (A), em outubro de 2010 e no período chuvoso (B), março de 2011.....	106
Figura 40 -	Seringa proveniente do lixo hospitalar do posto de saúde da comunidade de Paus Brancos, Madalena, Ceará.....	107
Figura 41 -	Captação por bomba flutuante (A) e Sistema de abastecimento SISAR da Comunidade de Paus Branco (B), Madalena, Ceará (Outubro/2010).....	108
Figura 42 -	Livre acesso do gado ao açude Paus Branco, em Madalena, Ceará (Outubro/2010).....	111
Figura 43 -	Diagrama esquemático do arranjo institucional ideal para a gestão de um pequenos açude.....	114
Figura 44 -	Fossa verde com seis meses de instalação. Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, Madalena, Ceará.....	118

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Colocação do problema

O semiárido brasileiro estende-se por uma área que abrange 86% da região Nordeste, em oito estados, e cerca de 14% da região Sudeste, totalizando uma área de quase um milhão de quilômetros quadrados e abrangendo uma população de 23 milhões de pessoas (BRASIL, 2005; CIRILO et al., 2007). É considerada a mais povoada entre todas as regiões áridas e semiáridas intertropicais do planeta (PASSERAT DE SILANS, 2004). Na referida região, o acesso à água é insuficiente em frequentes anos secos e impõe grandes restrições às populações mais carentes. A solução adotada, geralmente, é a construção de pequenos açudes para abastecimento de populações difusas.

A região dispõe de mais de 70.000 pequenos açudes, com áreas superiores a 1 hectare, espalhados pelos diversos estados, isto sem contar com os grandes açudes públicos, considerados estratégicos pelas Agências de Gestão (ALBINATI, 2006; SUASSUNA, 2005). Rebouças (2002) refere-se aos pequenos açudes nordestinos como verdadeiros tanques de evaporação, que seriam pouco utilizados e raramente sujeitos a extravasamentos e ainda apresentam risco de salinização.

Vieira (2002), em estudo sobre a sustentabilidade da região, cita como usos preponderantes da água o abastecimento humano e animal, considerados prioridade absoluta, seguidos pelo abastecimento industrial e a irrigação. Como usos secundários há a piscicultura, a geração de energia e o lazer. O autor ressalta, ainda, que a região exige um programa intenso e continuado de recuperação e manutenção do conjunto de sua infraestrutura hídrica, de modo a se evitar o uso inadequado ou a perda de funcionalidade, com fortes consequências sociais, ambientais e econômicas.

São grandes as dificuldades encontradas na obtenção de informações precisas acerca de pequenos reservatórios em termos de disponibilidade hídrica, de utilização de suas águas e de preservação das mesmas. A ausência de dados e de informações técnicas consolidadas dificulta a implantação dos instrumentos previstos na Legislação Federal de Recursos Hídricos, necessários à operacionalização de uma gestão integrada de tais recursos. A Lei Nº 9.433/1997 enuncia que o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Para as regiões de rios perenes utilizam-se técnicas de regionalização de vazões, o que já não se deve aplicar em rios intermitentes.

A pesquisa sobre disponibilidade hídrica de pequenas bacias hidrográficas na região Nordeste foi iniciada na década de 1970 pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

– SUDENE, por meio de Convênio de Cooperação Técnica Internacional entre os Governos Brasileiro e Francês. O Manual do Pequeno Açude, de Molle e Cadier (1992), obra de referência na região semiárida, é fruto destas pesquisas sobre as bacias representativas da região. Seu método chuva-deflúvio é baseado no parâmetro “lâmina média anual escoada para precipitação média de 600 mm ( $L_{600}$ )”, O parâmetro pode ser avaliado para pequenas bacias não-monitoradas, através de regionalização de parâmetros de solo, vegetação, uso do solo e relevo.

A operação desses pequenos sistemas hídricos, na maioria dos estados do Nordeste, é realizada sem que os órgãos gestores tenham conhecimento e segurança da real disponibilidade hídrica e da qualidade das águas dos mananciais, já que poucos são monitorados. Faltam, portanto, critérios para gerir de forma otimizada esses pequenos sistemas.

O Plano de Recursos Hídricos do Ceará, assim como o Plano de Recursos Hídricos da Paraíba, têm traçado algumas diretrizes a esse respeito, mostrando que a eficiência hidrológica e socioeconômica do pequeno açude deve ser avaliada corretamente para a condução de políticas públicas adequadas ao uso dos recursos hídricos na região semiárida. Alguns estudos apontam que, através de usos múltiplos racionais de suas águas, o pequeno açude é capaz de trazer benefícios socioeconômicos consideráveis numa bacia hidrográfica.

Neste contexto, esta tese, que é subprojeto do Projeto DISPAB-SA<sup>1</sup>, procura estabelecer critérios, baseados na regionalização de vazões, para a proposição de regras para a gestão em pequenas bacias hidrográficas.

A tese está dividida em quatro capítulos. O primeiro refere-se à introdução, contendo a colocação do problema; as questões científicas, hipóteses e objetivos e o método geral. O Capítulo 2 aborda o uso e os impactos socioeconômicos da pequena açudagem, através do tratamento estatístico dos questionários aplicados em campo.

A caracterização hidrológica das pequenas bacias hidrográficas é objeto do Capítulo 3, em que foram estimados os volumes dos reservatórios, por meio de dados obtidos por sensoriamento remoto. Para a reprodução dos processos de chuva-vazão foram testados quatro modelos hidrológicos e, depois de eleito o modelo mais adequado, foi avaliada a vazão de referência para subsidiar a gestão dos pequenos sistemas.

No Capítulo 4 é apresentada a proposta de um modelo de gestão para pequenos sistemas, com base nos instrumentos preconizados pela Lei Nº 9.433/1997, a “Lei das Águas”. O modelo

---

<sup>1</sup> Metodologias para definição de disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas de região semiárida. O Projeto é financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP do Ministério de Ciência e Tecnologia, tendo como Equipe Técnica: Fundação Norte Rio Grandense de Pesquisa e Cultura – FUNPEC (Proponente) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN (Executora). A equipe co-executora é composta por: Universidade Federal do Ceará – UFC; Universidade Federal da Paraíba – UFPB; Universidade Federal de Campina Grande – UFCG e como intervenientes a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, o Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte – IGARN e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH.

foi proposto para o açude Paus Branco, localizado em Madalena, Ceará. Por fim, apresenta-se o capítulo com as conclusões gerais da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

## **1.2. Questões científicas, hipóteses e objetivos**

Esta pesquisa de doutorado tem como fundamentos as seguintes questões científicas: Como as populações difusas do semiárido utilizam os pequenos açudes? Como determinar a disponibilidade hídrica de pequenos açudes? Como deve ser feita a gestão de pequenos sistemas hídricos?

As hipóteses apresentadas no âmbito deste estudo são: 1) Os pequenos açudes representam importante fonte para o abastecimento de populações difusas; 2) Para o conhecimento da disponibilidade hídrica de pequenos açudes não monitorados é necessária a aplicação de métodos de regionalização de parâmetros hidrológicos; e 3) A gestão preconizada pela Lei das Águas para os grandes sistemas não se aplica aos pequenos.

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de gestão de pequenos sistemas hídricos da região semiárida, tendo como fundamentos a compreensão da importância e dos usos dos pequenos sistemas, assim como a escolha de métodos eficazes de estimativa das principais variáveis hidrológicas em pequenas bacias não monitoradas.

São objetivos específicos:

1. Identificar os usos e avaliar a contribuição socioeconômica de pequenos açudes para as populações difusas do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande do Norte;
2. Regionalizar parâmetros de modelo hidrológico para a região semiárida, de forma a melhorar o conhecimento da disponibilidade hídrica dos pequenos açudes não monitorados;
3. Propor critérios para a gestão em pequenos açudes, baseados nos instrumentos preconizados pela Lei Nº 9.433/1997 e no conhecimento gerado nos itens 1 e 2, acima.

## **1.3. Método Geral**

### *1.3.1 Estudos Preliminares e Levantamento de Campo*

Inicialmente foram realizadas atualizações do cadastro de pequenos açudes inseridos em cada uma das bacias estudadas, através de imagens de satélite LANDSAT5. Na Paraíba, a imagem utilizada foi gerada em 02/05/2008, no Rio Grande do Norte a imagem data de 19/06/2008 e no Ceará as imagens foram geradas em 02/05/2008.

Através das imagens e arquivos no formato *shapefile* foram desenvolvidos mapas para auxiliar na escolha dos açudes a serem levantados e na otimização dos trabalhos de campo. As

atividades desenvolvidas no campo foram divididas em dois níveis, quais sejam, o estudo das características físicas dos açudes e o estudo da realidade social da região, através da aplicação dos questionários socioeconômicos.

Na caracterização física dos açudes, foram levantados dados referentes ao comprimento da barragem, ao tipo e largura do sangradouro, à área do espelho d'água, à profundidade do açude. Além desses, dados foram observados os tipos de solos e cobertura vegetal no entorno da bacia hidráulica e as questões relativas à manutenção e conservação das estruturas dos açudes.

As superfícies do espelho d'água dos açudes foram obtidas através das incursões de barco em cada um dos pequenos açudes, utilizando-se aparelho GPS, traçando-se a poligonal dos corpos hídricos do estudo – Figura 1. Já a superfície máxima de cada açude foi obtida através das imagens de satélite de cada região correspondente ao período mais úmido entre os anos observados.



**Figura 1** – Equipe de campo da Paraíba, realizando o traçado da poligonal de um dos açudes do estudo.

(Fonte: Passerat de Silans et al., 2009).

A profundidade máxima no dia da visita foi medida com o auxílio de trenas ou profundímetro do tipo SM-5. As profundidades máximas que os açudes alcançam em épocas de cheias foram obtidas com a observação das marcas deixadas pela água na parede da barragem ou em pontos marcantes ao redor do açude – Figura 2.





**Figura 2** – Equipes realizando medição da profundidade máxima de açudes no Rio Grande do Norte (A) e no Ceará (B).

### *1.3.2 Aplicação dos questionários socioeconômicos*

Para análise socioeconômica das regiões do estudo, foram aplicados questionários junto aos usuários difusos do açude. Os questionários foram desenvolvidos por equipe de pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba – UFPB durante os estudos preliminares da bacia do açude Sumé, tomando-se como referência os estudos de Molle e Cadier (1992).

O questionário envolveu questões relativas aos usos e à disponibilidade da água, à conservação física dos açudes, à conservação das águas, entre outras questões relevantes ao estudo dos usos e à socioeconomia das áreas do estudo (ver questionário no Anexo 1).

Para a avaliação do impacto socioeconômico dos pequenos açudes nas bacias hidrográficas e sua contribuição no abastecimento das populações difusas, foi realizada análise dos resultados dos questionários socioeconômicos aplicados. Para tanto, os dados foram tabulados e posteriormente parametrizados através do pacote estatístico *Statistical Package for the Social Sciences - SPSS for Windows v. 16.0*, de onde foram gerados os gráficos.



**Figura 3** – Equipes de campo aplicando questionários socioeconômicos no Rio Grande do Norte (A e B) e no Ceará (C), respectivamente.

### *1.3.3 Avaliação da disponibilidade hídrica através da regionalização de parâmetros de modelos chuva-vazão*

A regionalização neste trabalho tem como função a validação das informações hidrológicas de uma amostra de bacias hidrográficas monitoradas no Estado do Ceará. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitam a transferência de dados das bacias monitoradas para as não monitoradas.

Neste estudo foram utilizados quatro modelos chuva-vazão: Aguiar (1940); Molle e Cadier (1992); SCS (1972); e o modelo SMAP (LOPES et al., 1982) com parâmetros calculados por mineração de dados, de acordo com Diniz (2008) e, posteriormente, com Silva (2012), ou modelo SMAP/DS, que foram validados com dados oriundos do monitoramento. Para a avaliação da disponibilidade hídrica, foi aplicado o modelo VYELAS (ARAÚJO et al., 2006). O modelo forneceu simulações de vazões de referência, com garantia anual, sendo utilizada a vazão



Q<sub>90</sub>, conforme recomendação da legislação do Estado do Ceará (Lei Nº 14.844/2010) como subsídio para a gestão.

#### *1.3.4 Modelo de gestão dos pequenos açudes*

A última etapa deste estudo consistiu na elaboração de um modelo de gestão integrado para o açude Paus Branco, localizado em Madalena, no Estado do Ceará. Foi proposto um modelo com base no conhecimento dos usos do açude, na sua organização comunitária e nos instrumentos de gestão recomendados pela “Lei das Águas”. As instruções para a gestão do sistema foram concebidas, considerando-se questões cruciais para o acesso efetivo da população à água em quantidade e qualidade adequadas. Tomaram-se como referência estudos realizados por Ako et al. (2010); Burte et al. (2009); Feuillette (2001); Galizoni et al. (2008); Pradhan et al. (2011), entre outros, que recomendam ações tais como:

- Criação de Comissão Gestora, em parceria com o Comitê de Bacia;
- Elaboração, avaliação e escolha das melhores opções de gestão com o envolvimento dos diversos atores e, por fim,
- Disciplinamento dos usos impactantes e as medidas mitigadoras dos impactos das atividades no entorno do pequeno açude e ao longo da bacia hidrográfica.

## 2. USO E IMPACTO SOCIOECONÔMICO DA PEQUENA AÇUDAGEM

### 2.1. Introdução

A disponibilidade dos recursos hídricos na região Nordeste apresenta dificuldades inerentes às suas peculiaridades climatológicas e geológicas, tendo se tornado a alternativa mais amplamente difundida a construção de reservatórios para assegurar o abastecimento durante os períodos de seca (MOLLE, 1994). Este armazenamento é distribuído no espaço e as suas águas são utilizadas para o abastecimento humano rural, o abastecimento animal e a pequena irrigação de subsistência. O intuito é de disponibilizar água não só para a garantia da vida, como também para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades difusas (COSTA et al, 2009; PASSERAT DE SILANS, 2004; PRISCOLI, 1998).

Para Mamba et al. (2007), os reservatórios de pequeno porte têm múltiplas funções, tais como a subsistência das comunidades rurais difusas através do uso doméstico de água, da irrigação em pequena escala, da pesca, da dessedentação animal e do cultivo de fruteiras. Ait Ihaj et al. (2009) confirmam os benefícios e a relevância citados acima, destacando ainda, o favorecimento a uma melhor nutrição e higiene e, conseqüentemente, a diminuição de doenças. Barros (2010) afirma que é de extrema importância o entendimento dos usos de um pequeno açude, como forma de aproveitá-lo de modo mais eficiente, promovendo, assim, melhora da qualidade de vida da população e maximizando as suas receitas líquidas provenientes das atividades produtivas desenvolvidas.

Mechergui (2000), em estudo da influência de pequenas barragens na vida das populações difusas e na conservação do solo e dos recursos hídricos na Tunísia, concluiu que os pequenos açudes ainda consistem na melhor opção para o abastecimento e para a manutenção da vida rural, além da proteção das grandes barragens de jusante, por conta da retenção de sedimentos.

Apesar dos imensos benefícios citados, é sabido que a implantação indiscriminada desses pequenos açudes pode causar impacto na disponibilidade hídrica de grandes reservatórios e perdas de água por evaporação devido à grande concentração de pequenos espelhos d'água. Para uma melhor avaliação do efeito cumulativo de pequenos açudes, o Grupo de Pesquisas Hidrossedimentológicas do Semiárido – Hidrosed ([www.hidrosed.ufc.br](http://www.hidrosed.ufc.br)) vem investigando a bacia do Alto Jaguaribe (BAJ), no Ceará. Malveira et al. (2012) avaliaram o impacto dos pequenos açudes sobre a disponibilidade hídrica da BAJ, tendo demonstrado que a rede afeta significativamente sua sustentabilidade hídrica. Complementarmente, Lima Neto et al. (2011), estudaram o impacto da rede de múltiplos açudes sobre o transporte de

sedimentos e 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.

Tal afirmação é corroborada por Medeiros (2009), que ressalta as alterações no balanço hídrico das bacias hidrográficas, não só quanto à temporalidade das vazões, como também quanto ao total do volume de água escoado.

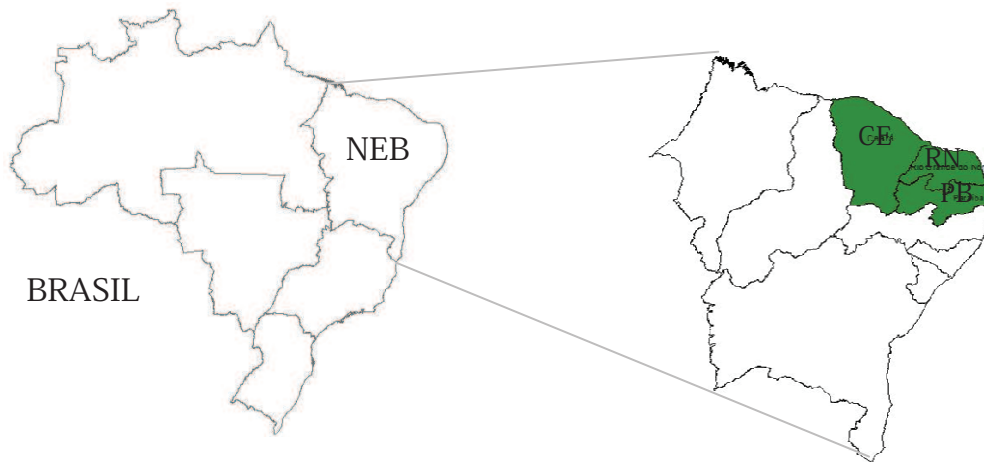
Como forma de compreender a importância dos pequenos açudes no semiárido brasileiro e os seus impactos socioeconômicos, aplicaram-se questionários. Estudos semelhantes foram realizados por Mamba et al. (2007), no Zimbábue, para o conhecimento das múltiplas funções dos pequenos açudes como meio de subsistência das comunidades de Mzingwane. Kahlow et al. (2004) realizaram estudo para documentar os pequenos açudes na região de Pothwar, no Paquistão, suas práticas de manejo e seus impactos socioeconômicos.

Nessa tese identificaram-se os principais usos das águas dos pequenos açudes no Nordeste Brasileiro e os impactos socioeconômicos com relação à população difusa rural usuária. Para tanto, foram aplicados 524 questionários socioeconômicos nos Estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte e os dados foram analisados através de estatística descritiva.

## **2.2. Área do estudo**

A região semiárida brasileira corresponde a uma área de 980 mil km<sup>2</sup>, composta por 1.133 municípios, com uma população de quase 23 milhões de pessoas (BRASIL, 2005). As precipitações nesta região variam entre 500 e 800 mm, mal distribuídas no tempo e no espaço e associadas às altas taxas de evaporação (2.000 a 2.800 mm/ano). As temperaturas médias anuais variam de 20° a 28°C.

Para este estudo foram selecionadas regiões representativas do semiárido nordestino, nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte (Figura 4), com características detalhadas a seguir.



**Figura 4** – Localização da região Nordeste Brasileira (NEB), com destaque para os Estados do Ceará (CE), Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN).

### 2.2.1 Áreas de estudo na Paraíba

Na Paraíba foram estudadas as bacias hidrográficas dos açudes Epitácio Pessoa e Coremas-Mãe d'água, sendo o primeiro localizado na microrregião dos Cariris Velhos e o segundo, o maior do estado, localizado na microrregião de Piancó. Nessas bacias, duas sub-bacias pilotos foram escolhidas para os trabalhos de campo: a bacia do açude de Sumé no alto Paraíba (sub-bacia do açude Epitácio Pessoa), e a bacia do açude Saco de Nova Olinda na bacia do rio Piancó (sub-bacia do açude Coremas – Mãe d'água).

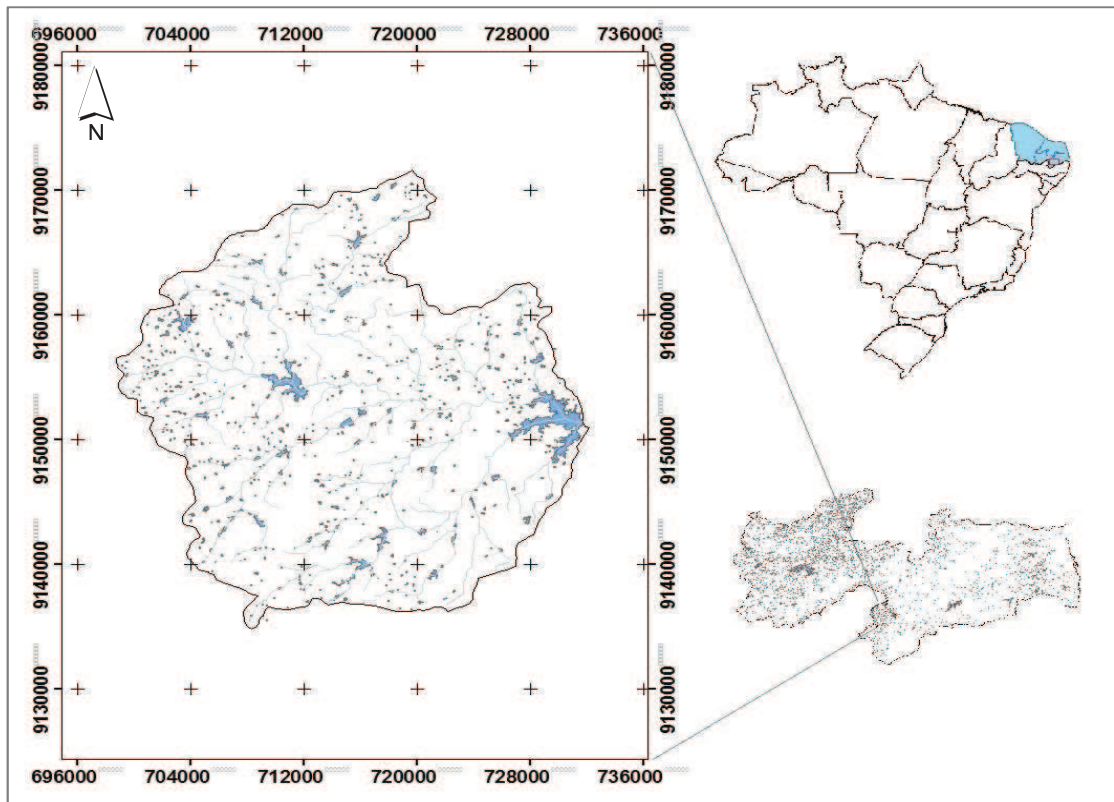
#### ***Bacia do açude Sumé***

A bacia hidrográfica do açude Sumé (Figura 5), com área de 769 km<sup>2</sup>, está localizada na região do Sertão do Cariri paraibano e está completamente inserida nas cidades de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo, sendo que sua maior parte está localizada na cidade de Sumé. A região possui clima seco, com pluviometria fraca e irregular, com média interanual estimada entre 550 e 600 mm (CADIER, 1996).

As chuvas são de verão, concentradas no mês de março, iniciando em geral entre janeiro e março, terminando em maio. A temperatura média anual é de 24°C (máxima em novembro/dezembro e mínima em julho/agosto). A evaporação anual é de 2.800 mm em tanque classe A (PASSERAT DE SILANS et al., 2009).

Os solos da região são, predominantemente, Luvisolos e Neossolos Litólicos

(PASSERAT DE SILANS et al., 2009). A referida bacia está totalmente situada sobre embasamento cristalino pré-cambriano, com subsolo impermeável e a disponibilidade de água subterrânea bastante limitada, em geral.



**Figura 5** – Localização da bacia hidrográfica do açude Sumé, Paraíba.

Os açudes da bacia de Sumé estão distribuídos com uma densidade de aproximadamente um açude por quilômetro quadrado. A caatinga é a vegetação nativa da região, sendo que, atualmente, há vegetação resultante de ações antrópicas como pastagens, plantações de tomate e de palma para forrageira. A economia local gira em torno da agricultura, com culturas de subsistência, da pecuária, com predominância de bovinocultura, caprinocultura e suinocultura (PASSERAT DE SILANS et al., 2009).

O açude Sumé foi construído pelo DNOCS na década de 1960, com capacidade de 45 hm<sup>3</sup>. Atualmente sua bacia apresenta diversos problemas que vão desde enchentes nas regiões mais baixas até secas em períodos críticos, como a de 1998, quando o açude chegou a secar (PASSERAT DE SILANS et al., 2009).

Nesta bacia foi realizado levantamento físico em 42 pequenos açudes, entre os 624

identificados na bacia do Sumé. O levantamento consistiu de medições para obtenção da largura do sangradouro, altura e comprimento da barragem, entre outras características do barramento. Além disso, foi verificada a conservação das estruturas.

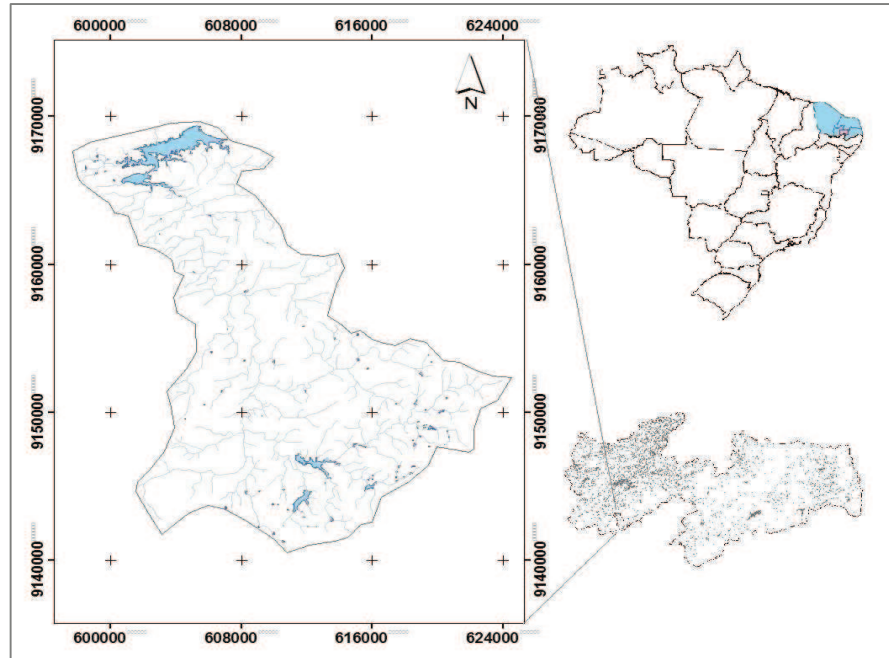
### ***Bacia do açude Saco de Nova Olinda***

O açude Saco tem área de drenagem de 360 km<sup>2</sup>, com capacidade de acumulação de 97 hm<sup>3</sup>, sua bacia está totalmente inserida em território semiárido, com precipitações médias variando entre 400 e 800 mm anuais concentradas entre os meses de fevereiro e maio. A concentração das chuvas em poucos meses do ano, conjugada à geomorfologia da região, caracterizada por solos rasos formados sobre um substrato cristalino, com baixa capacidade de armazenamento, é responsável pelo caráter intermitente dos rios da região. Por outro lado, as taxas de evapotranspiração são bastante elevadas, podendo chegar a mais de 2.000 mm/ano, o que ocasiona um déficit hídrico significativo e se constitui em fator chave a ser considerado na operação dos reservatórios da região (PARAÍBA, 2005).

Os solos predominantes na região são Luvisolos e Neossolos Litólicos, com horizonte raso e pedregoso, não se adequando à prática da agricultura intensiva. A cobertura vegetal predominante na bacia é a caatinga hiperxerófila herbáceo-arbustiva, com as espécies mais comuns sendo a catingueira, baraúna, faveleira, jurema, marmeleiro, pereiro, juazeiro, e cactáceas (xiquexique, mandacaru, facheiro). Grande parte do solo se encontra antropizado em decorrência da abertura de áreas para exploração agrícola e principalmente pela exploração de lenha como fonte energética para olarias, panificadoras e uso doméstico.

A agropecuária é a principal atividade econômica da região, onde se destaca a pequena agricultura de subsistência de feijão, milho consorciado e a pecuária extensiva. Além dessas, existem pequenas áreas difusas de irrigação praticada às margens dos açudes e vales perenizados, onde se cultivam gêneros alimentícios e pastagens.

Foram visitados, para caracterização física, 28 pequenos açudes na bacia do Saco (Figura 6).



**Figura 6** – Localização da bacia do açude Saco de Nova Olinda, Paraíba.

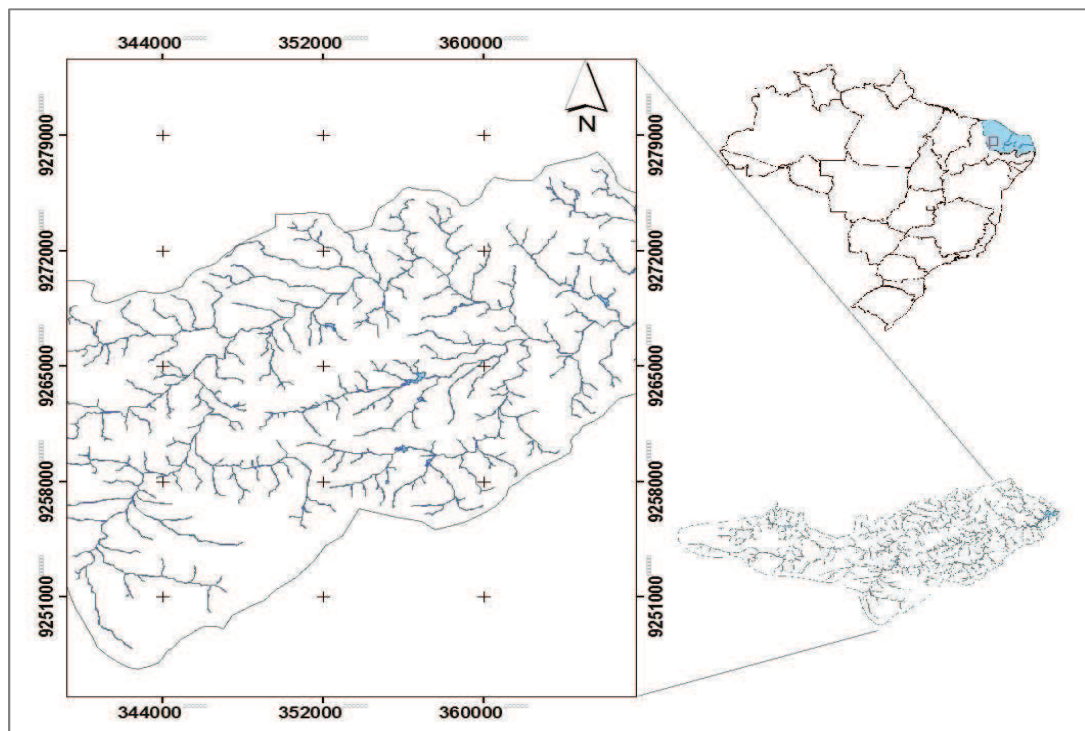
### 2.2.2 Áreas do estudo no Ceará

Foram selecionadas três regiões hidrográficas representativas do semiárido cearense, quais sejam: Bacia do Alto Jaguaribe, no Sertão dos Inhamuns; Bacia do Banabuiú, no Sertão Central e Bacia do Salgado, no Cariri. Na bacia do Alto Jaguaribe, a área escolhida foi a bacia hidrográfica do açude Benguê. Na bacia do Banabuiú, foram escolhidas as bacias hidrográficas dos açudes Pirabibu e Fogareiro. Já no Cariri, os pequenos açudes escolhidos são dispersos, sendo 3 (três) deles localizados na bacia do açude Manoel Balbino, em Juazeiro do Norte.

#### ***Bacia do açude Benguê – Sertão dos Inhamuns***

A bacia hidrográfica do açude Benguê está inserida na bacia do Alto Jaguaribe, drenando uma área de 933 km<sup>2</sup>. O açude barra o rio Umbuzeiro e foi construído no ano 2000 pela COGERH, para abastecimento da sede do município de Aiuaba, sendo responsável também pela perenização de um trecho do rio Umbuzeiro, a jusante da barragem. Sua bacia hidrográfica está integralmente inserida no município de Aiuaba e sua capacidade de armazenamento é de 19,6 hm<sup>3</sup> – Figura 7.





**Figura 7** – Localização da bacia do açude Benguê, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os açudes visitados em julho/2009.

Na bacia hidrográfica do Benguê está localizada a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA), monitorada pelo Grupo Hidrosed desde 2003 com relação às variáveis hidrológicas e sedimentológicas. A BEA possui área de 12 km<sup>2</sup>, estando situada integralmente na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, administrada pelo IBAMA e é controlada pelo açude Boqueirão, com capacidade de acumulação de 60.000 m<sup>3</sup> (ARAÚJO; GONZALEZ PIEDRA, 2009; MAMEDE, 2008; MEDEIROS, 2009).

O clima na região é tropical semiárido, com precipitação média anual de 600 mm e evaporação potencial de 2.500 mm/ano. O período chuvoso é bem definido, entre os meses de janeiro e maio. A temperatura média anual é de 26°C, com pequena variação ao longo do ano, de 24°C nos meses de junho e julho a 28°C em novembro.

A vegetação predominante é a caatinga arbórea arbustiva alta aberta presente em 81% da área, e os solos preponderantes são Luvisolo, Latossolo, Planossolo, Neossolo (MEDEIROS, 2009).

Mamede (2008) identificou, através de imagens de satélite, 121 pequenos açudes na bacia hidrográfica do açude Benguê, com áreas superficiais variando de 0,015 a 83 hectares. Para o levantamento das características físicas dos açudes, foram selecionados 20 barramentos.



### *Bacias dos açudes Fogareiro e Pirabibu – Sertão Central*

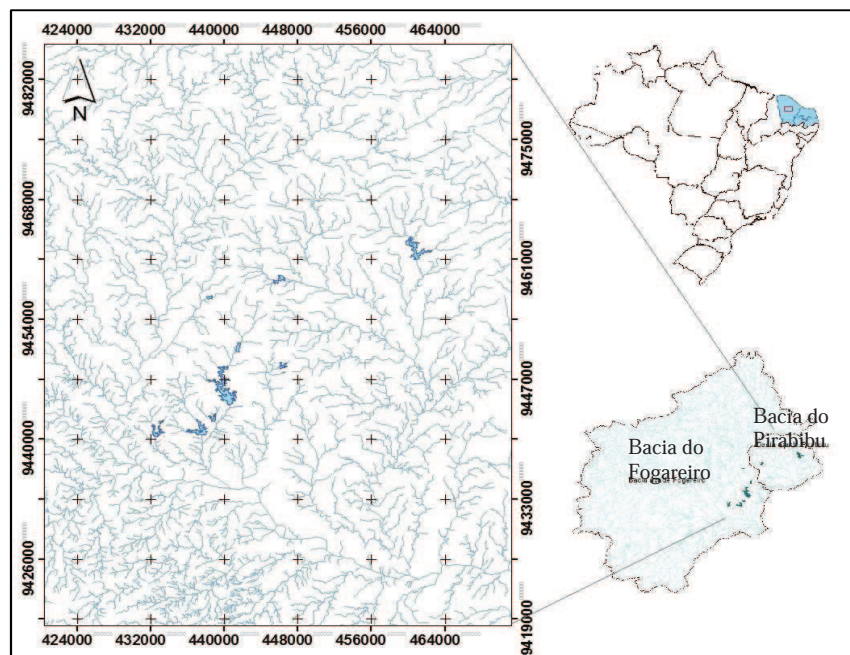
Os açudes Fogareiro e Pirabibu estão inseridos no município de Quixeramobim, na bacia hidrográfica do açude Banabuiú, sub-bacia do Jaguaribe – Figura 8.

O açude Antonio Ferreira Antero, conhecido como Fogareiro, foi construído pelo DNOCS em 1996, barrando o rio Quixeramobim, drenando uma área de 7.700 km<sup>2</sup> e com capacidade de armazenamento de 119 hm<sup>3</sup>. Já o açude Pirabibu foi construído no ano 2000 pela SRH/SOHIDRA, barrando o riacho Pirabibu, possui área de drenagem de 520 km<sup>2</sup> e capacidade de armazenamento de 74 hm<sup>3</sup>.

A região onde estão inseridos os referidos açudes possui clima do tipo Tropical Quente Semiárido, com média pluviométrica de 700 mm, com chuvas concentradas no período de fevereiro a abril e temperatura média variando de 26 a 28 °C (IPECE, 2009a).

Os solos mais frequentemente encontrados na região são Luvissolos, Neossolos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho Amarelo, Regossolo e Vertissolo (EMBRAPA, 2005), com vegetação dos tipos Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (IPECE, 2009a).

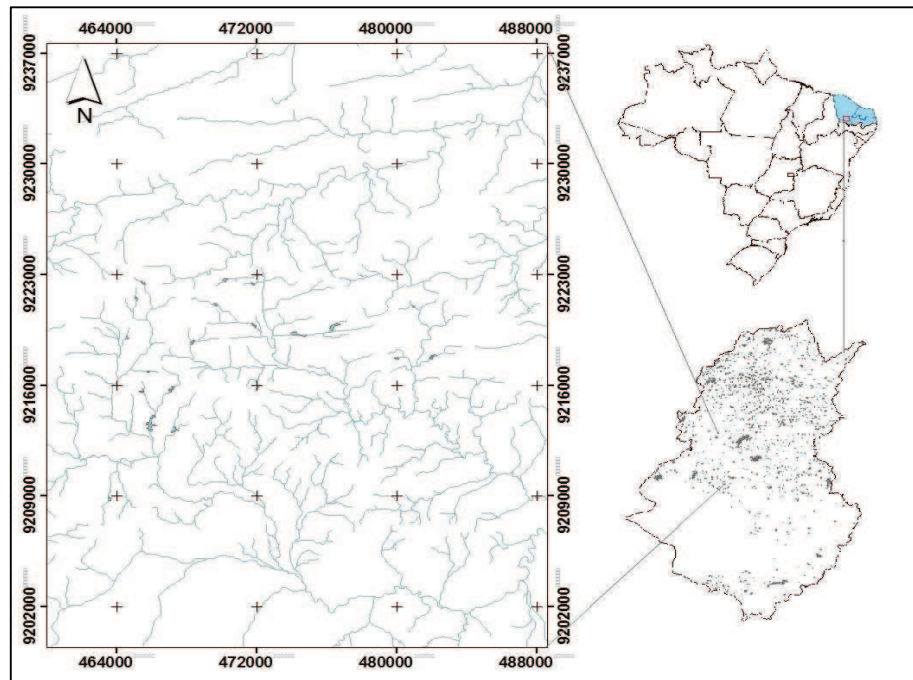
Foram identificados, através de imagens de satélite, 1.204 açudes na bacia do açude Fogareiro e 92 na bacia do açude Pirabibu. Quanto ao levantamento realizado, nove açudes estavam na bacia do Fogareiro e dois na bacia do Pirabibu.



**Figura 8** – Localização das bacias dos açudes Pirabibu e Fogareiro, na bacia do Banabuiú, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os onze açudes visitados em outubro/2009.

### *Bacia do Salgado – Cariri*

Os açudes estudados estão localizados na sub-bacia do Salgado, no sul do Ceará. A região engloba 23 municípios, entre eles Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha e Cariri e configura a transição entre o cristalino e a formação sedimentar – Figura 9.



**Figura 9** – Localização da região do estudo na bacia do Salgado, Ceará. No detalhe, parcela da bacia na qual se localizam os dezenove açudes visitados em abril/2010.

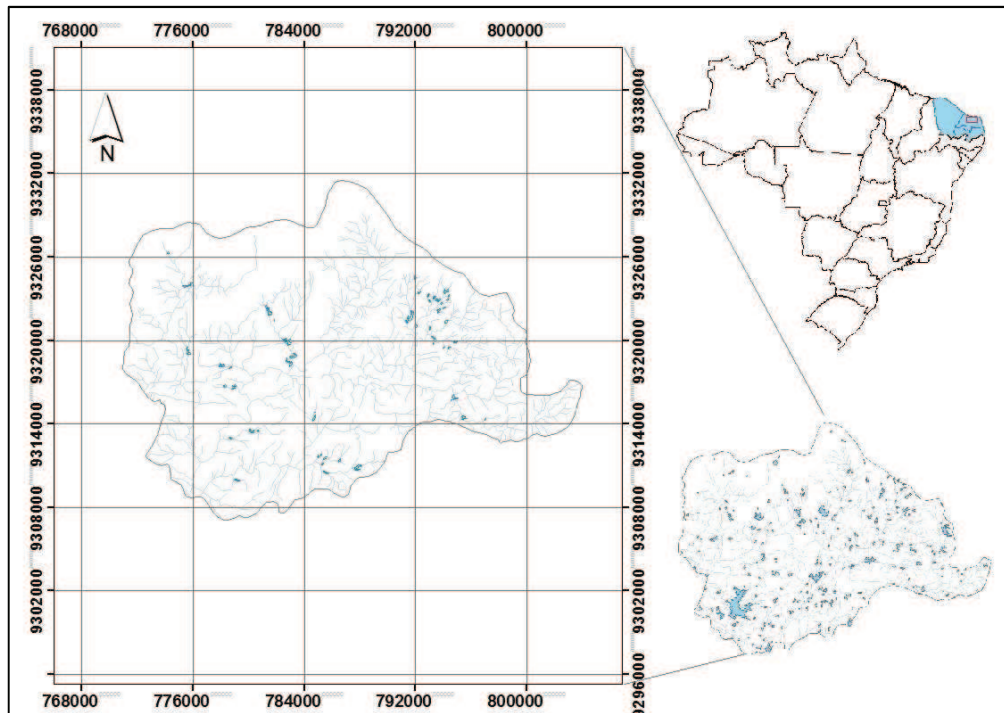
A sazonalidade pluviométrica define as duas estações climáticas da região: a estação chuvosa no período de janeiro a abril, quando se concentram cerca de 90% dos 1.020 mm anuais de precipitações, e a estação seca que compreende o restante do ano (SABIÁ, 2008). A temperatura média da região varia de 24 a 26°C e o clima é do tipo Tropical Quente Semiárido a Tropical Quente Semiárido Brando.

A vegetação predominante da região é do tipo Caatinga Arbustiva Densa, podendo ainda ser encontradas dos tipos Cerrado, Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial e Floresta Caducifólia Espinhosa e os solos encontrados são aluviais, Neossolos Litólicos e Podzólicos Vermelho-Amarelo (IPECE, 2009b).

Foram identificados por ocasião deste estudo, 1.717 açudes na bacia do Salgado, entre pequenos, médios e grandes na região, tendo sido levantados dados de 19 pequenos açudes.

### 2.2.3. Áreas do estudo no Rio Grande do Norte

A região selecionada para o estudo no estado do Rio Grande do Norte foi a bacia hidrográfica do açude Dourado, pertencente à bacia do sistema Piranhas-Açu, localizada na mesorregião Central Potiguar, no Seridó, englobando os municípios de Currais Novos, Lagoa Nova e Cerro Corá. – Figura 10.



**Figura 10** – Localização da bacia hidrográfica do açude Dourado, Rio Grande do Norte.

A área da bacia hidrográfica do açude Dourado é de 502 km<sup>2</sup> e sua capacidade máxima de acumulação é de 10 hm<sup>3</sup>. O açude abastece 60% do município de Currais Novos.

A vegetação da região é do tipo caatinga subdesértica do Seridó, vegetação mais seca do Estado, com arbustos e árvores ralas e de xeroftismo mais acentuado. Este tipo de vegetação tem diversas espécies, das quais as mais comumente encontradas são: pereiro, faveleiro, facheiro, caatingueira, marmeleiro, jatobá, macambira, mandacaru, xique-xique e jurema-preta (RIO GRANDE DO NORTE, 1998). Os solos são rasos, com embasamento cristalino, baixa capacidade de infiltração e elevado escoamento superficial. Todos os cursos d'água têm regime intermitente.

O clima da região é classificado como muito quente e semiárido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono. A precipitação pluviométrica média anual é de 600 mm, com evaporação média anual de 3.320 mm e temperatura média anual de 33°C.

De acordo com o Plano Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos efeitos

da seca (PAN-BRASIL), que define desertificação como a degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas, resultante de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas, a região do estudo está inserida em uma área susceptível em categoria muito grave (BRASIL, 2004).

Nesta bacia foram levantados dados físicos de 51 pequenos açudes localizados a montante do açude Dourado.

### **2.3. Método**

Foram aplicados questionários socioeconômicos junto à população difusa que se abastece dos 171 pequenos açudes escolhidos para este estudo. Os questionários foram desenvolvidos por equipe de pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba – UFPB (<http://dispab.lrh.ct.ufpb.br>) durante os estudos preliminares da bacia do açude Sumé, tomando-se como referência o Manual do Pequeno Açude (MOLLE e CADIER, 1992).

A amostragem da população difusa ocorreu da seguinte forma: a cada açude visitado eram entrevistados os seus usuários na medida da disponibilidade e do acesso à residência. Os dados foram coletados nos três Estados da pesquisa (Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte) nos seguintes períodos: 1) Bacia do açude Sumé (PB), de 10 a 16 de setembro de 2008; 2) Bacia do açude do Saco, de 22 a 24 de agosto de 2008; 3) Bacia do Alto Jaguaribe (CE), de 30 de junho a 03 de julho de 2009; 4) Bacia do Banabuiú, de outubro de 2009 a julho de 2010; 5) Bacia do Salgado (CE), de 05 a 08 de abril de 2010; e 6) Na bacia do açude Dourado, de agosto a outubro de 2009.

O total de questionários aplicados nos três Estados foi de 524, sendo aplicados 501 questionários no Estado do Ceará, divididos da seguinte forma: 46 questionários na Bacia do Alto Jaguaribe; 386 na Bacia do Banabuiú e 69 na Bacia do Salgado. Na Paraíba foram aplicados sete questionários na Bacia do açude Sumé e doze na bacia do açude do Saco. Já no Rio Grande do Norte foram aplicados quatro questionários.

Para a obtenção das respostas propostas para este capítulo, foram consideradas questões relevantes e essenciais contidas no referido questionário (ver Questionário completo no Anexo I). As questões abordaram os seguintes temas: uso das águas; fontes disponíveis de água; grau de importância do açude; tipo de tratamento dado à água; tipos de cultura; animais criados; satisfação quanto à disponibilidade de água e a pretensão do entrevistado de continuar no campo.

A avaliação dos usos e dos impactos socioeconômicos dos pequenos açudes foi realizada através de análise descritiva dos dados coletados, utilizando-se o pacote estatístico

SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences for Windows*), versão 16.0 e os gráficos gerados em planilha eletrônica.

## **2.4. Resultados e discussão**

Apresentam-se a seguir os resultados extraídos dos questionários socioeconômicos aplicados, representados em gráficos.

### *2.4.1. Usos da água*

Na investigação dos principais usos das águas dos pequenos açudes, foram identificadas as seguintes demandas relevantes, nesta ordem: uso doméstico; dessedentação animal; pesca; irrigação e dessedentação humana. Isto confirma as demandas registradas pelos estudos de Molle e Cadier (1992), que destacam que os usos podem não ocorrer ao mesmo tempo, sendo cada situação específica e de acordo com as características locais.

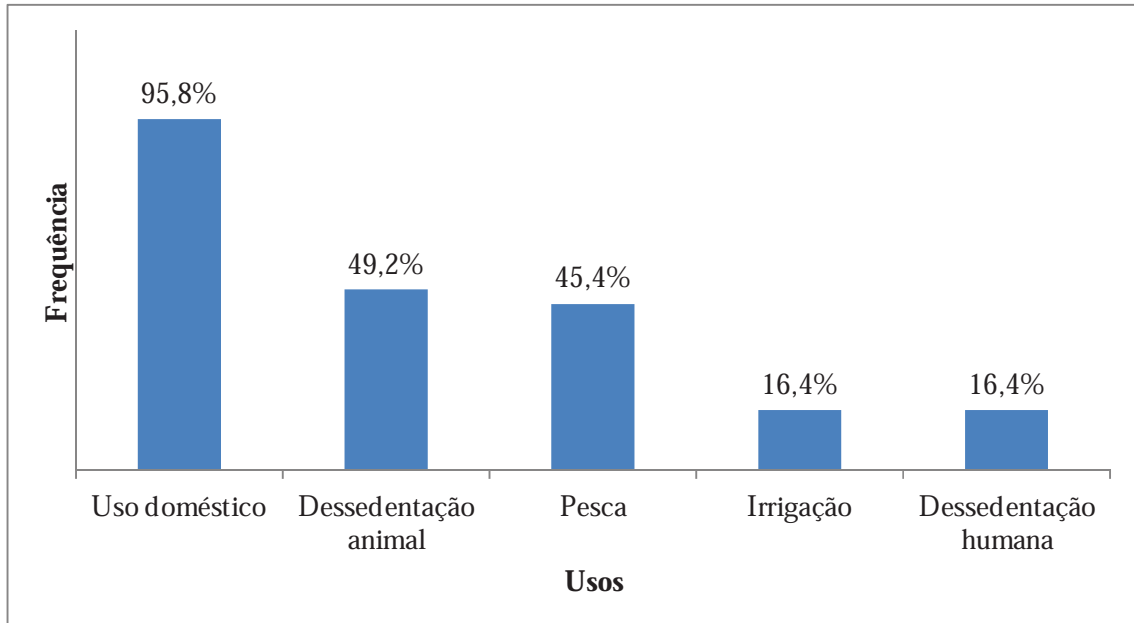
Sabourin e Trier (1999) descreveram usos semelhantes quando analisaram a gestão de pequenos açudes para fins produtivos do Nordeste Brasileiro, no final da década de 1990. Sawunyama et al. (2005) identificaram os mesmos usos para o açude Sibasa, na bacia do rio Limpopo, no Zimbábue. Boelee et al. (2009) citam a mesma utilidade da água em Burkina Faso, no entanto, alertam para o fato de que não há nenhuma medida preventiva nas questões relacionadas aos impactos ambientais e na saúde dos usuários dos pequenos reservatórios.

Na Costa do Marfim, a política de construção de reservatórios na área central e no norte do país tem o objetivo de fornecer água para a prática da pecuária, reduzindo os custos com a importação de carne e para a produção agrícola. Para o abastecimento humano há outras soluções, visto que a precipitação média anual é superior a 1.000 mm (COULIBALY, 2003). Fromageot (2003) cita, também, a utilidade dos pequenos açudes para o fortalecimento da agricultura na região.

Em Gana, além dos usos relatados pelos autores citados para outras regiões, Poolman (2005) relata que nos anos muito secos e com pouca recarga, o leito dos açudes serve para retirada de argila para confecção de tijolos. Isto posto, indica que a gestão da água no meio rural do semiárido integra o uso doméstico e o produtivo.

Considera-se aqui no item abastecimento humano somente a água para a dessedentação humana e como uso doméstico a água para cozinhar alimentos, lavar roupas e louças e para higiene pessoal. Os múltiplos usos dos pequenos açudes estudados foram identificados e estão representados na Figura 11.





**Figura 11** – Principais usos das águas dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, entre setembro de 2008 a abril de 2010.

O uso doméstico foi considerado o mais importante uso da água dos pequenos açudes (95%), seguido pela dessedentação animal (49%), pesca (45%), dessedentação humana (16%) e irrigação (16%). Da porção da população que utiliza os pequenos açudes para uso doméstico, somente 29% se utiliza desses açudes exclusivamente para as atividades domésticas, salientando que 68% das lavagens de roupas são praticadas diretamente nos açudes. As Figuras 12 e 13 mostram os usos conjuntos dos pequenos açudes.

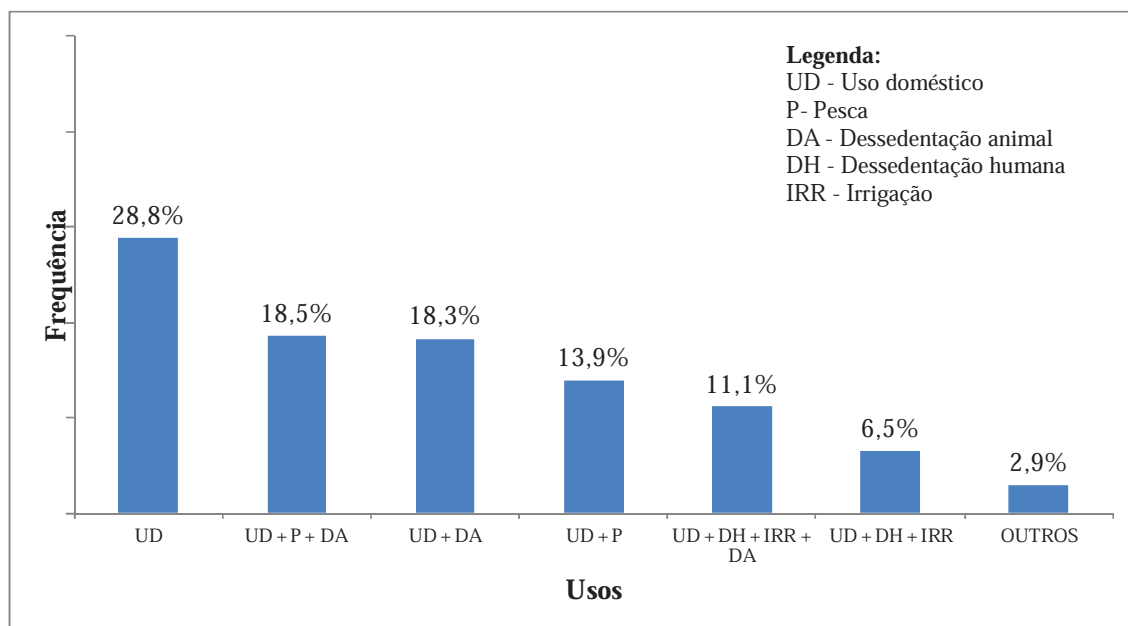
Poolman (2005) relata que a prioridade do uso da água, em algumas regiões de Gana com chuvas regulares, é para as atividades produtivas, como a pecuária e a pequena irrigação. Porém, algumas comunidades ainda se abastecem das águas usadas para a dessedentação animal. A autora recomenda, para situações desse tipo, de usos incompatíveis, como acontece no Nordeste Brasileiro, uma forte política de educação ambiental, além da intervenção de setores especialistas da sociedade, como médicos e engenheiros hidrólogos.

Os usos conflitantes podem ser solucionados com o disciplinamento e a regularização. Para o caso dos açudes destinados ao abastecimento humano, o acesso ao gado deve ser barrado, devendo ser ofertada outra fonte hídrica para o abastecimento dos animais, conforme detalhamento no Capítulo 4.



**Figura 12** – Captação de água para uso doméstico: A) Açude Mulungu, através de carro pipa; B) Açude São Benedito, captação manual e transporte feito por jumento; e C) Lavagem de roupas diretamente no açude Araras, na bacia do Alto Jaguaribe (CE) (Julho/2009).

Rusere (2005), em estudo sobre os múltiplos usos de pequenas barragens na bacia rio do Limpopo, no Zimbábue, confirmou que os usos naquela região são semelhantes aos dos açudes do Nordeste Brasileiro, porém, com a seguinte ordem de prioridade: dessedentação animal, uso doméstico, irrigação em pequenas escalas e criação de peixes. Já Kahlow et al. (2004) constataram que, mesmo tendo sido construído para fins de irrigação, os três pequenos açudes estudados em Punjab, província do Paquistão, estão sendo utilizados para abastecimento humano e uso doméstico devido à escassez de água de outras fontes, o que tem causado doenças por veiculação hídrica na população



**Figura 13** – Usos conjuntos das águas dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, entre setembro de 2008 a abril de 2010.

Com relação ao abastecimento humano, somente 16% da população se abastece dessas águas para beber, o que pode ser justificado pelo uso de cisternas de placa para armazenamento de águas pluviais, implantadas, na sua maioria, pelo Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas (P1MC), de iniciativa do Governo Federal e da Sociedade Civil, conforme descrito por Galizoni (2004) e Silva et al. (2009). Cirilo et al. (2003) confirmam que, além dos pequenos açudes, as cisternas são as formas mais comuns de suprimento de água para atendimento da população rural difusa.

Luna et al. (2010) afirmam que o movimento de articulação e de convivência sustentável tem uma proposta de educação processual, coordenado pela Articulação do Semiárido (ASA) – articulação de cerca de 750 organizações não governamentais (ONGs). Os autores, que realizaram estudo na Microrregião Agreste Central de Pernambuco, composta por 21 municípios, observaram que a taxa de incidência de diarreia foi maior entre moradores de domicílios sem cisterna, comparados aos moradores de domicílios com cisterna, por isso, apontam a importância do P1MC, como forma de garantir água com qualidade para a área rural.

Aproximadamente 18% da população associam o uso doméstico dessas águas com a dessedentação animal, tendo o gado acesso direto ao açude (Figura 14). Fato semelhante é relatado por Datsenko et al. (1999) no estudo dos conflitos em um pequeno açude rural em



Tejuçuoca (CE). Araújo et al. (2011) e Pinheiro (2011) mencionam a existência de porcos, cabritos, cachorros e galinhas com livre acesso a pequenos açudes na bacia do açude Fogareiro, Ceará. Isto pode ser resolvido com a aplicação da Lei Nº 0143/1999, do município de Madalena, que proíbe o acesso de animais a mananciais hídricos de servidão pública, sob pena de apreensão dos animais. Além do conhecimento da lei, foi observada a vontade política dos usuários quanto à preservação do manancial.



**Figura 14** – Animais bebendo água diretamente nos pequenos açudes estudados: A) Açude Paus Brancos e B) Açude São Nicolau, bacia do Banabuiú, Ceará (Outubro, 2009).

Suassuna (1995) recomenda que o pequeno açude deva ser usado para produção de alimentos através da irrigação, da agricultura de vazante e da piscicultura. A prática da irrigação foi pouco relatada pelos entrevistados (16%), porém, foi observado em muitos açudes o cultivo de vazantes e, no entorno, culturas de sequeiro para subsistência, tema a ser detalhado posteriormente. Kahlow et al. (2004) afirmam que os agricultores de Punjab, normalmente, só praticam a agricultura de subsistência, principalmente, devido à escassez de água para a irrigação, sob risco de perda das lavouras. Barker et al. (2003); Mamba et al. (2007); Senzanje e Chimbari (2002) citam que a estratégia de construção de milhares de pequenos açudes no Zimbábue foi impulsionada não só para o aumento do nível de segurança hídrica para o abastecimento humano, mas, também, para incentivar a prática da agricultura em níveis comerciais.

Quanto ao aproveitamento dos pequenos açudes para pesca, 45% dos entrevistados relataram a prática, sendo esta associada, principalmente, ao uso doméstico. A Figura 15 mostra a prática da pesca pela população difusa em um dos açudes visitados.



**Figura 15** – Pesca artesanal praticada pela população difusa, açude Mulungu, Alto Jaguaribe, Ceará (Julho/2009).

As constatações dos usos dos pequenos açudes no estudo, portanto, confirmam a afirmação de Sabourin (2008), em sua pesquisa no Nordeste Brasileiro, de que os açudes comunitários têm função social e produtiva, sendo utilizados, prioritariamente, para abastecimento doméstico, dessedentação animal e pesca. As semelhanças entre os padrões de uso da água dos pequenos açudes dos locais de estudo podem ser atribuídas às semelhanças sociais e econômicas em que vivem as comunidades, de acordo com as observações de Senzanje et al. (2008) no Zimbábue.

Porém, nas visitas realizadas no âmbito desse estudo, observou-se que os açudes poderiam estar sendo utilizados de forma mais produtiva, tais como: pequenas irrigações; prática da piscicultura extensiva, que já serviria para melhorar a qualidade da água; e a criação de patos, para consumo próprio ou para comercialização em pequena escala. Além disso, os pequenos açudes estão servindo para usos conflitantes e impactantes, como no caso dos que abastecem as comunidades para os usos domésticos e para dessedentação animal, com os animais indo diretamente à bacia hidráulica, conforme já relatado. Neste caso, para a garantia sanitária da água, o indicado seria a utilização de bebedouros ao invés dos açudes.

Wilson (2007) relata a situação de pequenos açudes na Etiópia, que estão seriamente degradados pelas atividades antrópicas, inclusive a pecuária. Esta atividade tem causado alta turbidez na água, decorrente da erosão do solo do entorno, além de altos teores de coliformes termotolerantes, nitratos e fosfatos.

Barros (2010) expõe a ineficácia dos diversos usos, já relatados, na realidade do semiárido nordestino e recomenda que os órgãos públicos orientem seus usuários a adotar medidas técnicas que levem em consideração as especificidades de cada atividade, as

propriedades locais, o contexto em que ele está inserido e as características destes reservatórios de forma a otimizar seus usos.

Ainda com relação aos usos conflitantes, a atividade de lavagem de roupas diretamente no açude também leva a água ao processo de degradação. Feitosa (2011) cita que a definição da qualidade da água de um reservatório está associada aos seus usos e que as principais fontes poluidoras da pequena açudagem no semiárido são: a presença de animais nas margens dos açudes, deixando aí seus excrementos; os efluentes domésticos (lavagem de roupas, águas utilizadas nas atividades domésticas etc); o desmatamento da mata ciliar, que protege os açudes contra o assoreamento e da entrada de matéria orgânica; a presença de lixo ao ar livre; e o uso de insumos agrícolas. O autor estudou a qualidade da água de dois açudes localizados em Madalena, Ceará, e constatou que um deles se encontra em estado eutrófico e o outro entre super e hipereutrofizado. O estado de eutrofização dos dois açudes foi associado às atividades antrópicas da região: a criação de animais e a presença destes nas margens dos açudes, o cultivo de vazante, o uso de agrotóxicos pelos assentados, o aterramento do lixo ou sua presença ao ar livre, o despejo das águas usadas nas atividades domésticas no quintal e o desmatamento das matas ciliares dos açudes.

Távora (2010), em estudo de caso numa lagoa periurbana em Itapipoca (CE), mostra a realidade de um pequeno manancial antes utilizado para pesca, recreação e abastecimento humano e hoje, após a instalação de um lixão e uma estação de tratamento de esgotos (ETE) em sua bacia hidrográfica, contaminado e eutrofizado. A lagoa em questão perdeu os atrativos turísticos e recreativos e a função produtiva também, já que a produção de peixes vem diminuindo ao longo do tempo e perdendo valor comercial.

#### *2.4.2. Impactos socioeconômicos*

Mamba et al. (2007) afirmam que os pequenos açudes possuem, afora a função produtiva, múltiplas funções sociais, como a subsistência sustentável de comunidades rurais, assegurando, inclusive, a fixação do homem no campo. Rusere (2005) afirma que os pequenos açudes são economicamente importantes na medida em têm influência social sobre as atividades das comunidades.

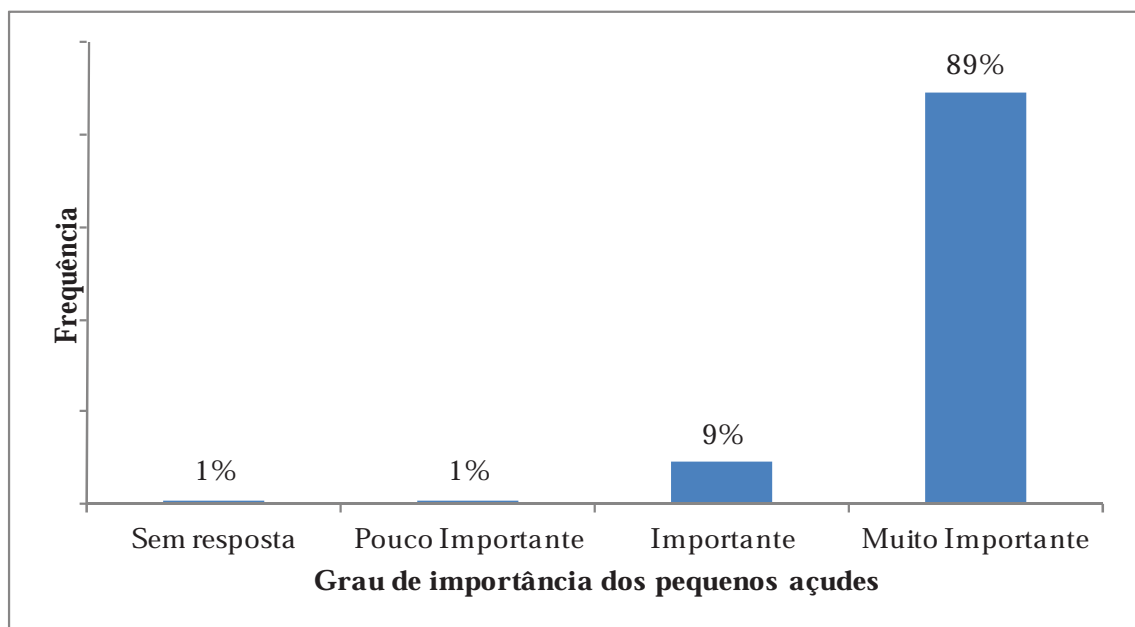
Nos itens a seguir, buscou-se traçar o perfil dos usuários dos 171 pequenos açudes deste estudo, a importância desses açudes para a vida da população rural e as atividades desenvolvidas por esses usuários.

### Grau de importância dos pequenos açudes

Os pequenos açudes foram considerados muito importantes pela maioria dos entrevistados (89%) – Figura 16. São encarados pelas comunidades como uma estratégia para aliviar a pobreza e melhorar a qualidade de vida, semelhante ao observado no Zimbábue por Rusere (2005); Mamba et al. (2007) e Senzanje et al. (2008).

Balazs (2006) estudou a contribuição socioeconômica de quatro pequenos açudes da bacia do rio Preto, afluente do rio São Francisco. Ao todo, onze comunidades rurais foram entrevistadas e a conclusão do estudo é de que os açudes são muito importantes para a população, pois gera renda através da agricultura, da criação de gado leiteiro, além da garantia da produção hortícola e outras culturas de subsistência.

Siste et al. (2010) detalham um arranjo experimental “pequeno açude-horta-lavoura comunitárias” no Vale do Jequitinhonha, na região semiárida de Minas Gerais. Os pequenos açudes da região incrementam os sistemas de segurança alimentar em comunidades rurais, estratégia que vem sendo estimulada e adotada com o compromisso para com a defesa do direito das crianças e famílias que estejam em situação de risco social pela privação, exclusão e/ou de alimentação em quantidade e qualidade adequadas.

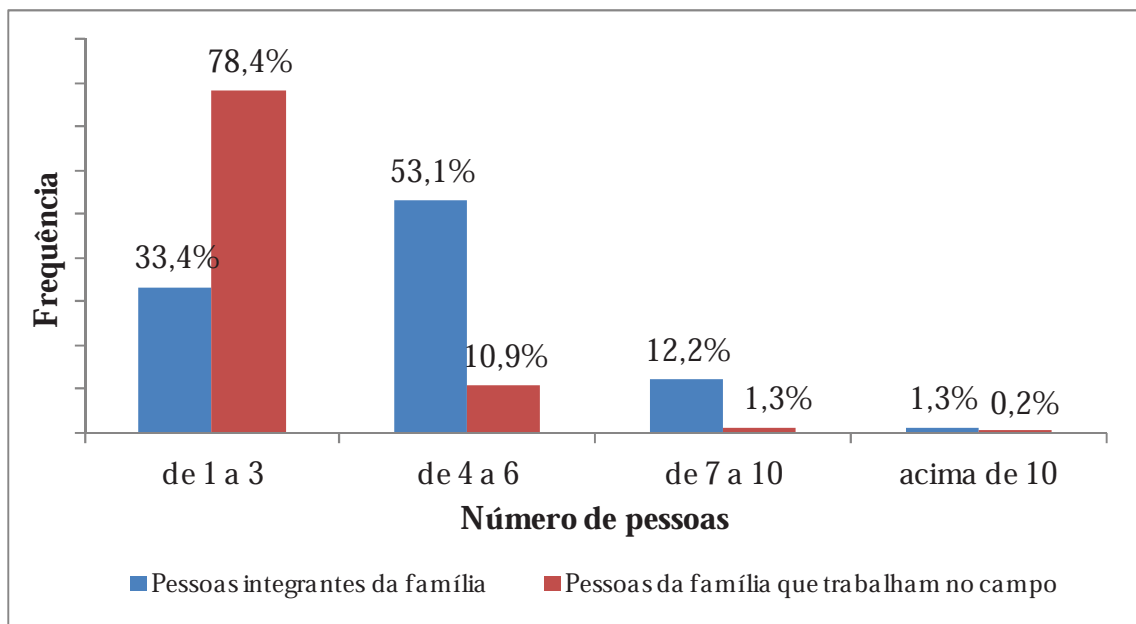


**Figura 16** – Grau de importância dos 171 pequenos açudes estudados, sob o ponto de vista da população difusa do semiárido nordestino (Setembro de 2008 a abril de 2010).

Para Vermillion e Al-Shayban (2004) os pequenos açudes são importantes não só como estratégia eficaz para a produção de alimentos para a garantia da sobrevivência das comunidades rurais, como, também, para a redução das desigualdades sociais. Os autores estudaram a relação da pequena açudagem e o capital social no Iêmen.

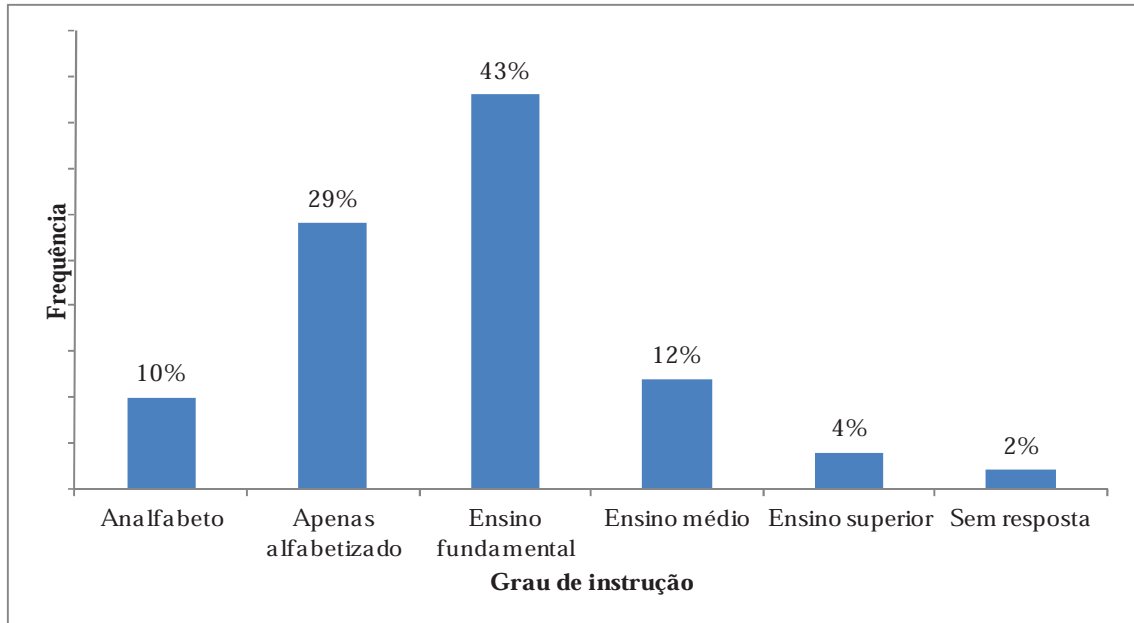
### Perfil dos usuários

As famílias são numerosas, como grande parte das famílias nordestinas, sendo a maioria (53%) composta por 4 a 6 integrantes (Figura 17). A Figura 17 mostra, também, a quantidade de pessoas por família que trabalham no campo.

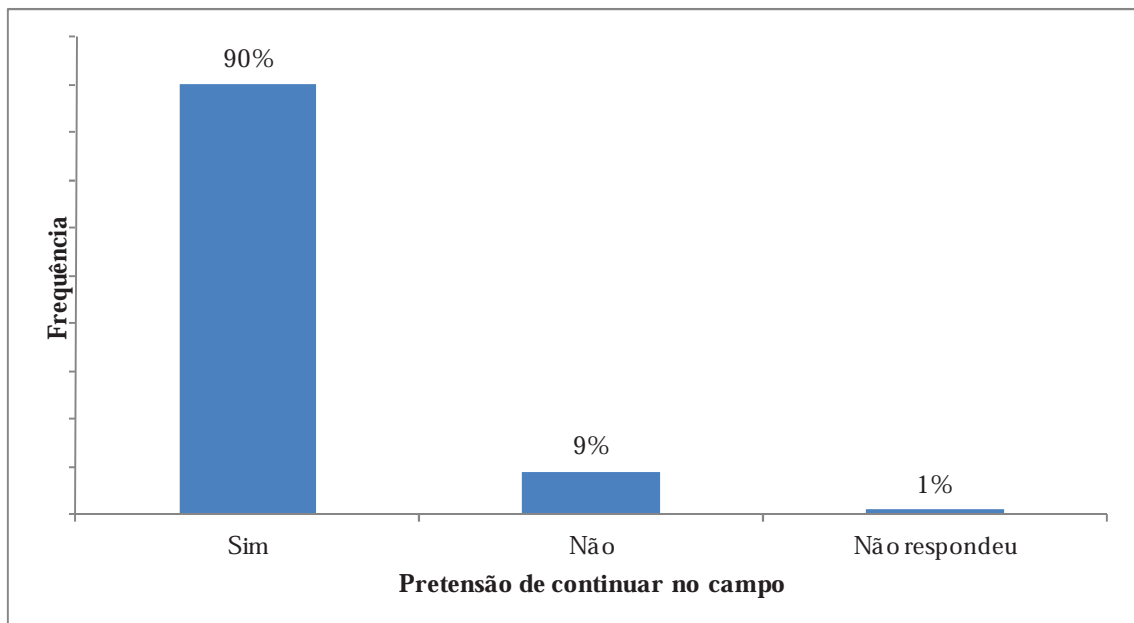


**Figura 17** – Número de pessoas nas 524 famílias entrevistadas no semiárido nordestino, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.

Grande parte dos usuários entrevistados (43%) possui ensino fundamental, 29% são apenas alfabetizados, mas há também uma pequena parcela (4%) que possui nível superior (Figura 18). Este último resultado, apesar de baixo percentual, é um relevante indicador da possível mudança cultural das comunidades rurais, posto que nas estatísticas educacionais os menores números de anos de estudo são associados às populações rurais. Isto pode justificar a pretensão de continuar no campo (Figura 19), haja vista o baixo grau de escolaridade da maioria da população entrevistada, já que a falta de qualificação profissional dificulta a absorção dos trabalhadores pelo mercado de trabalho nas grandes metrópoles. Este fato foi comentado, também, por Silva et al.(2011), em seu estudo na região do açude Sumé.



**Figura 18** – Grau de instrução dos 524 entrevistados, usuários dos 171 pequenos açudes pesquisados no Nordeste Brasileiro no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.



**Figura 19** – Pretensões dos 524 entrevistados, usuários dos 171 pequenos açudes pesquisados no Nordeste Brasileiro, de continuar no campo no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.

Outra hipótese para a pretensão da população de continuar no campo seria a da satisfação quanto à geração de renda com as atividades rurais. Cerca de 64% das pessoas que afirmaram ter pretensões de continuar no campo pertencem à faixa etária até 49 anos, o que

pode confirmar a melhoria das condições de vida no Nordeste Brasileiro, através da promoção do crescimento econômico e dos significativos avanços sociais.

Segundo Collard et al. (2010), atualmente o grande desafio político e social em relação às comunidades rurais é o de fixá-las no campo e integrá-las econômica e socialmente aos processos de crescimento e desenvolvimento regional.

Programas governamentais de transferência direta de renda, como o Programa Bolsa Família (PBF), constituem-se em estratégia de expansão do bem-estar social. O PBF condiciona que as famílias mantenham as crianças e adolescentes em idade escolar frequentando a escola e que cumpram os cuidados básicos na saúde (ROMERO, 2008). Como resultados, o PBF gerou os maiores multiplicadores de empregos no semiárido, nas atividades de criação e abate de aves, pesca e fabricação de açúcar (MENDES JUNIOR, 2011).

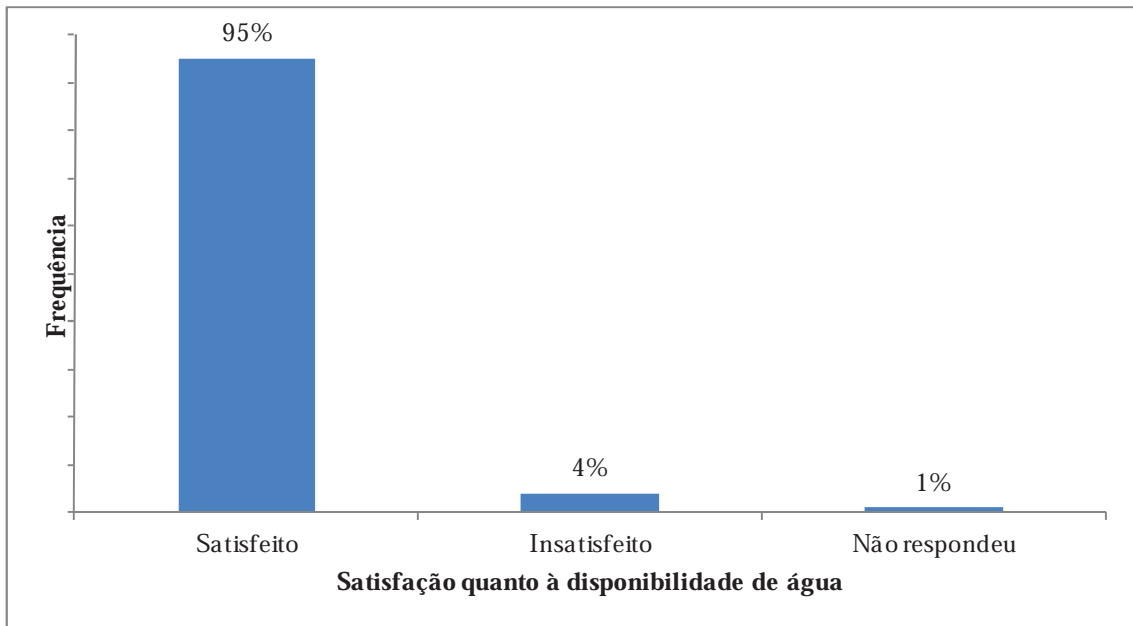
Ao longo da história, a gravidade dos problemas sociais causados pelas secas no semiárido levavam os sertanejos ao movimento migratório para as grandes cidades, em busca de sobrevivência. Nos dias atuais, a fixação do homem no campo é realidade que pode ter fundamento nas mudanças substanciais na concepção das ações de combate às secas e aos seus efeitos, além da renovação do pensamento crítico sobre o semiárido e a sustentabilidade das práticas de convivência (SILVA, 2010).

Vermillion e Al-Shayban (2004) citam a satisfação da população rural quanto à geração de renda proporcionada pelos pequenos açudes em comunidades do Iêmen, destacando, também, os benefícios para o desenvolvimento rural e a garantia de se evitar o êxodo rural.

Cecchi et al (2009) relatam que a construção de pequenos açudes em Burkina Faso tem fornecido novas oportunidades de emprego nas áreas rurais, reduzindo ou mesmo evitando os movimentos migratórios.

Quanto ao grau de satisfação com relação à disponibilidade de água na região (Figura 20), a grande maioria se diz satisfeita (95%), alegando que a água disponível é suficiente para suprir as necessidades domésticas e para a manutenção de suas atividades, podendo ser este um dos fatores da sua permanência no campo. Somente 4% se consideram insatisfeitos com relação à disponibilidade de água nos pequenos açudes, mas não conseguem justificar, tampouco quantificar, a necessidade de mais água. Esta alegativa de água em escassez contradiz as observações de Barros (2010), que afirma que no semiárido paraibano as águas dos pequenos açudes estão sendo pouco utilizadas, ocorrendo perdas excessivas por evaporação e por vertimento.





**Figura 20** – Grau de satisfação da população entrevistada no quanto à disponibilidade de água dos 171 pequenos açudes do Nordeste Brasileiro, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.

### Fontes de água disponíveis

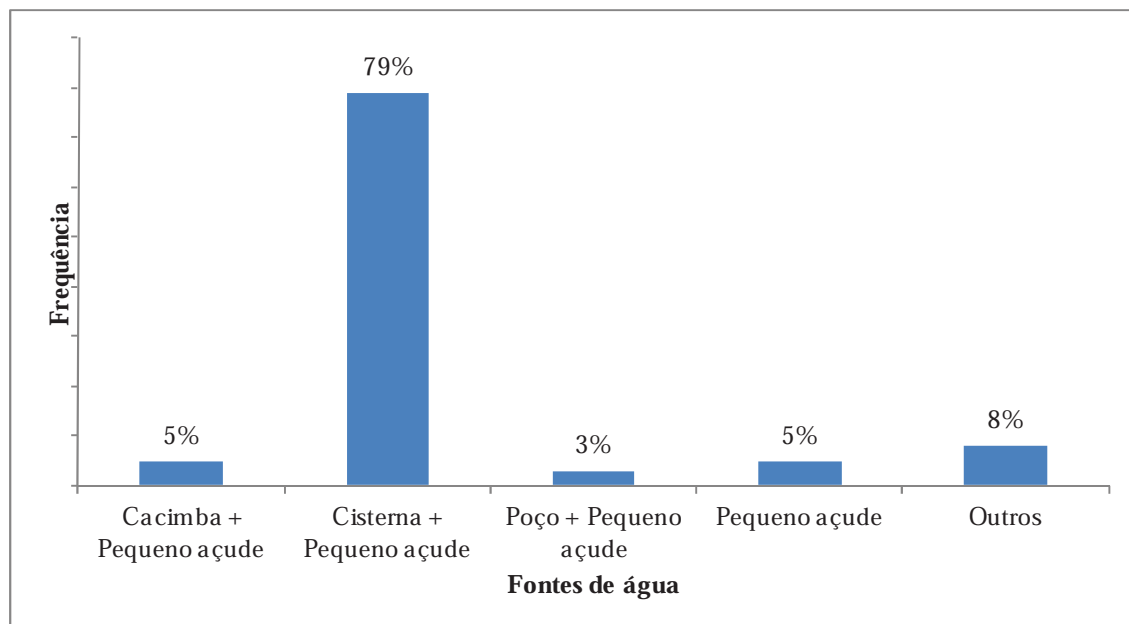
Afora as águas dos pequenos reservatórios, as comunidades ainda contam com outras fontes, entre elas a cisterna, poços e cacimbas. As cisternas servem para armazenamento das águas de chuvas nos períodos úmidos, e nos de estio armazenam água fornecida por carros pipa, conforme relatado, também, por Xavier (2010) no sertão paraibano. A Figura 21 mostra as fontes de água relatadas pelos entrevistados. Uma quantidade expressiva de famílias (79%) se utiliza das águas dos pequenos açudes para suas atividades e, conforme comentado anteriormente, as águas armazenadas nas cisternas são utilizadas exclusivamente para beber e, em alguns poucos casos, também, para cozinhar.

Poucos associam os usos das águas dos pequenos açudes às águas de cacimbas (5%) e isto pode ser explicado pela pouca disponibilidade de água subterrânea na região estudada, que apresenta embasamento cristalino e, portanto, pode constituir aquíferos extensos e descontínuos, sendo os poços perfurados nestas rochas, em geral, de baixa vazão e de qualidade ruim (GALVÃO et al., 2000).

Voerkelius et al. (2003) investigaram a qualidade da água superficial e subterrânea, bem como a água de sistemas que abastecem a zona rural de Picos, no Piauí e Tauá, no Ceará, no âmbito do Projeto Waves. Os resultados mostraram que a qualidade das águas estudadas é fortemente influenciada pela formação geológica, além das condições de entorno e de



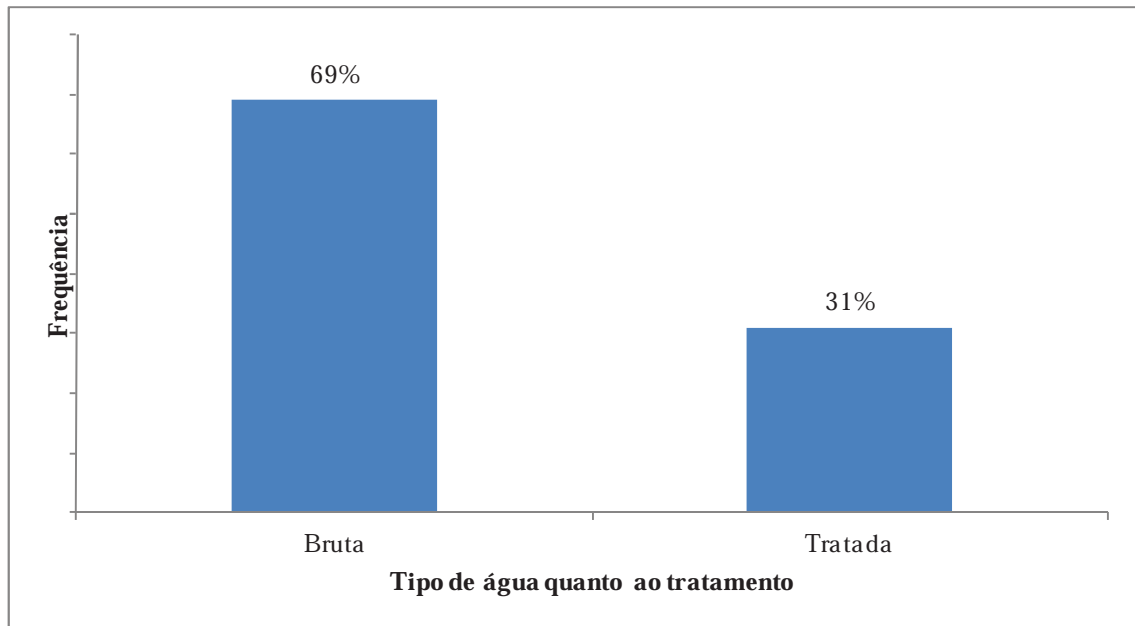
manipulação e tratamento dado por seus municípios. Os autores relataram, ainda, que as águas do meio urbano podem ser consumidas com mais segurança, por serem cloradas pelas concessionárias de água.



**Figura 21** – Fontes de água disponíveis para a população rural no semiárido nordestino, no período entre setembro de 2008 a abril de 2010.

Um fato preocupante observado diz respeito à pouca cautela quanto ao tratamento da água consumida, provavelmente por falta de informações a respeito dos possíveis danos à saúde humana. Os entrevistados desconhecem os meios de tratamento, como filtragem e cloração e, mesmo reconhecendo que a água não tem uma boa qualidade, a maioria (69%) não usa qualquer tipo de tratamento para a remoção de patógenos. Os que responderam que usam água tratada, em geral, foram os que as utilizam para beber e o tratamento utilizado é o da filtragem simples, geralmente em filtros de barro. A Figura 22 mostra os tipos de água utilizada pelos usuários dos pequenos açudes, quanto ao tratamento.

Marinho e Santos (2011), em trabalho de diagnóstico do setor de abastecimento de água em áreas rurais da Paraíba, afirmam que o fornecimento de água é, predominantemente, feito na forma bruta, demonstrando precariedade do setor de abastecimento. Os autores observaram, ainda, que na maioria dos casos, o tratamento de cloração é feito pela própria população, através de hipoclorito de sódio, distribuído por agentes de saúde.



**Figura 22** – Tipo de água utilizada pelos usuários dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, quanto ao tratamento (Setembro de 2008 a abril de 2010).

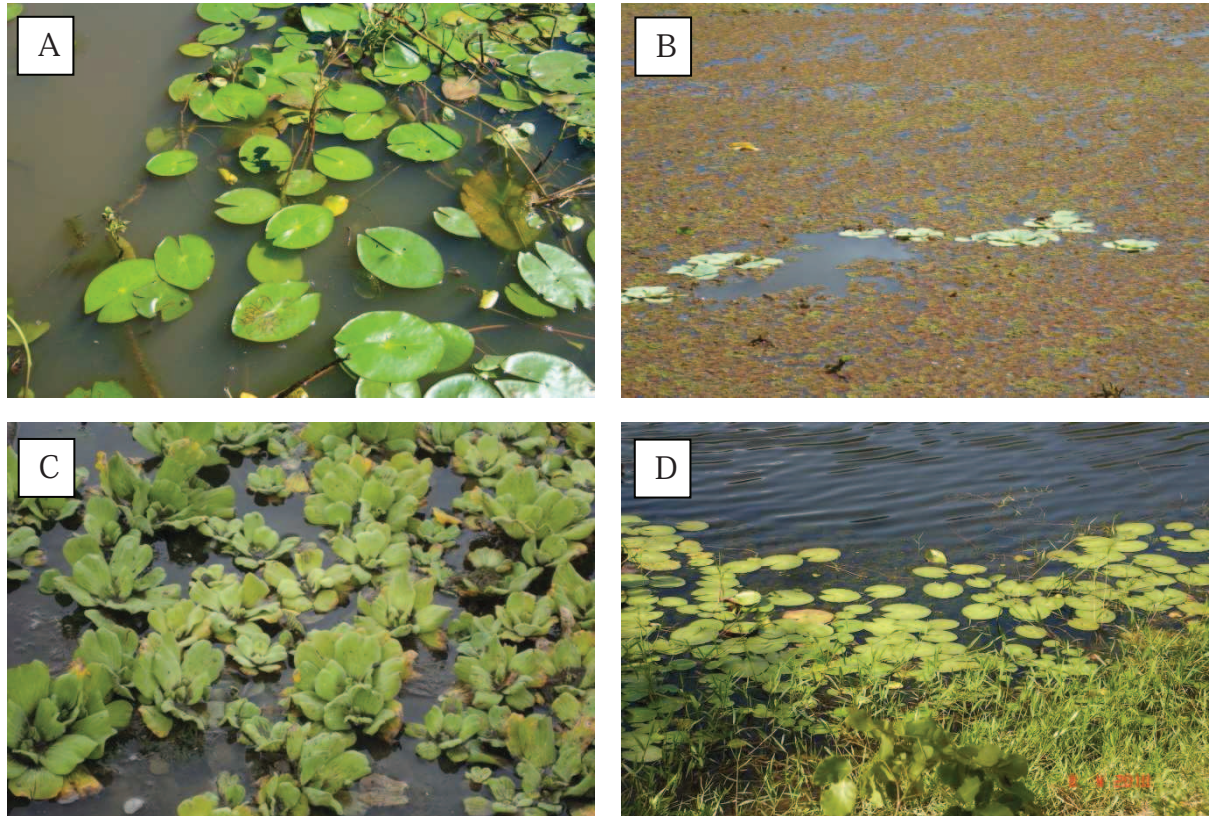
Realidade diversa foi encontrada por Balazs (2004) que, nas comunidades entrevistadas na região do rio São Francisco, observou preocupação marcante com a qualidade da água dos pequenos açudes, mesmo não sendo a sua fonte para abastecimento humano nos períodos chuvosos. Nestes períodos, a população utiliza água de poço e de cisterna. A preocupação com a qualidade da água dos açudes advém do fato de que, nos períodos de seca, o açude se torna a única fonte de água para a região.

Senzanje et al. (2002); Senzanje et al. (2008), da mesma forma, relatam a preocupação das comunidades que utilizam água de pequenos açudes no entorno da bacia do rio Limpopo, no Zimbábue, quanto à questão da qualidade da água, pois os açudes são a única fonte disponível para todas as finalidades.

Movidos pela preocupação de surtos de doenças de veiculação hídrica, principalmente em função da possibilidade de contaminação bacteriana das águas no meio rural, Amaral et al. (2003) verificaram a qualidade higiênico-sanitária da água de consumo de 30 propriedades rurais do estado de São Paulo. Para isto, utilizaram a contagem de indicadores microbiológicos de potabilidade e seus resultados evidenciaram que 90% das amostras estavam fora dos padrões de potabilidade para consumo humano.

De fato, foram observados, nos pequenos açudes visitados, indicativos de processo de eutrofização. Nos açudes inseridos no Estado do Ceará, há uma grande quantidade de macrófitas aquáticas (Figura 23), sendo em sua maioria dos tipos *Salvinia auriculata* Aubl.,

*Pistia stratiotes* L. e *Nynphaea ampla* (Salisb), encontradas comumente em águas ricas em matéria orgânica e nutrientes.



**Figura 23** - Macrófitas aquáticas presentes em grande parte dos pequenos açudes do Estado do Ceará: A) Açude Maniçoba e B) Açude São Benedito, no Alto Jaguaribe, Ceará, julho/2009; C) Açude Nova Vida II, Banabuiú, Ceará, outubro/2009; D) Açude Cachoeira, Cariri, Ceará, abril/2010.

Feitosa (2011) realizou um monitoramento dos aspectos limnológicos, por 18 meses, de dois dos pequenos açudes da bacia do Banabuiú, Ceará. O autor constatou que os mesmos se encontram eutrofizados, com número excessivo de algas e plantas aquáticas. Pinheiro (2011) também monitorou as fontes de água disponíveis na mesma região e constatou que as cisternas são a principal fonte de água para consumo humano no Assentamento 25 de Maio, CE. Suas análises físico-químicas e bacteriológicas apontaram contaminação por matéria orgânica e fecal em virtude da ausência de proteção das cisternas e pelo manejo inadequado da água. Já nos açudes da região, as altas taxas de nutrientes foram associadas às atividades agropecuárias no entorno dos açudes.

#### **Atividades desenvolvidas pela população difusa**

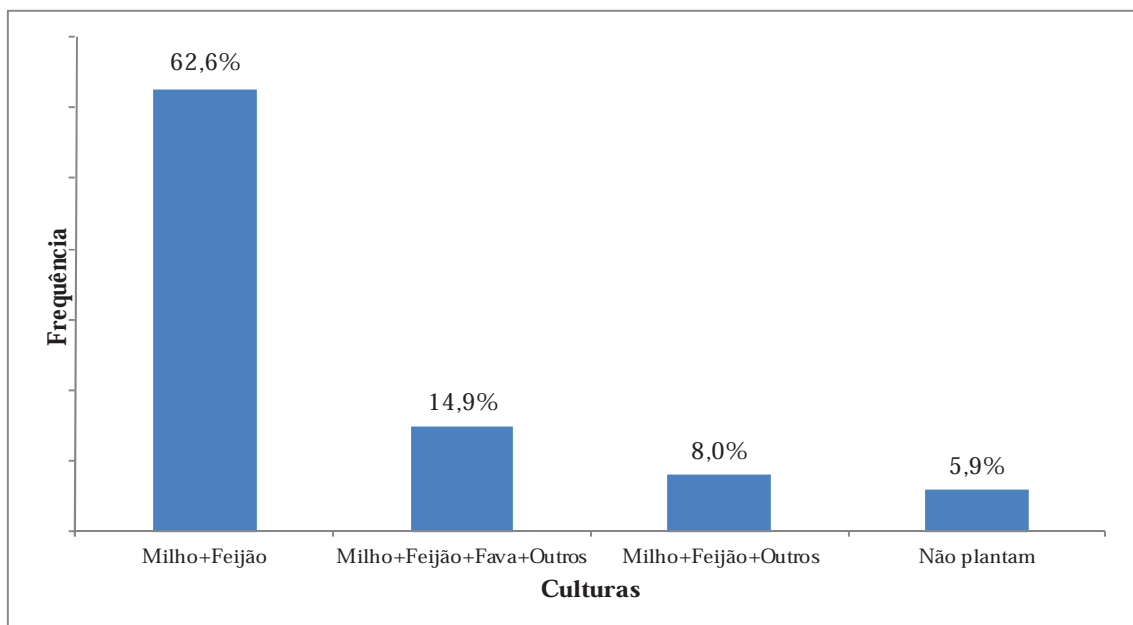
Conforme exposto anteriormente, as barragens de pequeno porte são uma parte essencial das atividades de desenvolvimento no meio rural, servindo para múltiplos usos, que

incluem dessedentação de animais, uso doméstico, irrigação de pequenas áreas, recreação e pesca (KELLER et al., 2000; MAMBA et al., 2007; RUSERE, 2005; SENZANJE et al., 2008).

Na região de estudo desta tese, as culturas praticadas são para consumo próprio, gerando benefício não monetário. Cerca de 60% dos entrevistados praticam o cultivo de vazantes, geralmente, consórcio de milho e feijão e o restante com variações de fava e capim (Figura 24).

Quando da aplicação dos questionários, alguns entrevistados manifestaram interesse em plantar mamona para fins comerciais, estimulados pela demanda crescente do mercado do biodiesel. De acordo com Almeida Neto et al. (2004), a mamona é uma cultura adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido e pode ser uma grande fonte de emprego e renda.

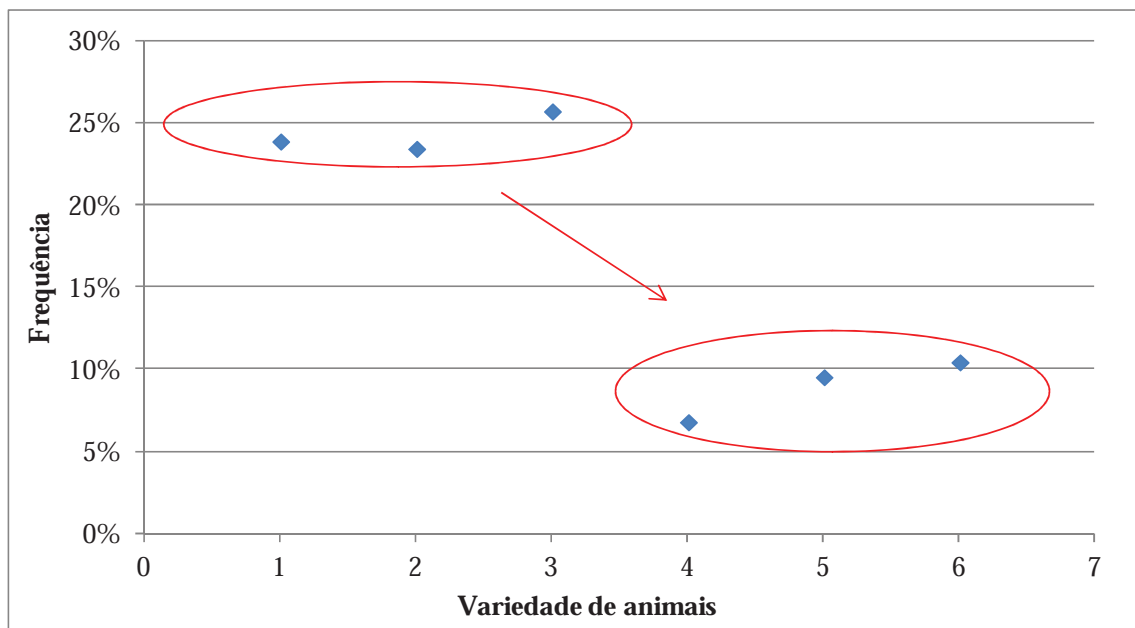
Observou-se que falta às comunidades rurais, no que concerne à prática da agricultura, programas de incentivo financeiro e assistência técnica para implantação de novas culturas e técnicas que garantam maior produção com menor agressão ao meio ambiente. Pesquisadores, como Cerqueira e Rocha (2002); Denardi (2001), defendem a agricultura familiar como uma importante prática para se atingir um desenvolvimento socioeconômico mais equilibrado e justo. Mendonça et al. (2010), em estudo que procurou analisar as causas da pobreza rural no Estado do Ceará, sugerem políticas de incentivo para os setores agrícolas e não agrícolas que possam reduzir a pobreza rural e reverter a migração do homem para as áreas urbanas.



**Figura 24** – Tipos de culturas praticadas no entorno dos 171 pequenos açudes estudados no Nordeste Brasileiro, no período de setembro de 2008 a abril de 2010.

Com relação à criação de animais, dos 439 questionários válidos para este tópico, somente 9% dos entrevistados se utilizam da prática para a geração de renda, como a venda de ovos, leite, queijo e carne, os demais relatam que criam animais para consumo próprio. A Figura 25 mostra o percentual de entrevistados, segundo a variedade de animais criados. Observou-se que cerca de 25% dos entrevistados criam um, dois ou três variedades de animais, enquanto que a quantidade que cria quatro, cinco ou seis animais gira em torno de 10%. Isso pode suscitar questões como dificuldades financeiras ou falta de apoio/estímulo técnico para a criação de uma maior variedade de animais.

A criação de caprinos e ovinos, por exemplo, é considerada como uma atividade de subsistência no semiárido, além de uma atividade de grande importância cultural, social e econômica para a região, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento do Nordeste (COSTA et al., 2008).



**Figura 25** – Frequência de entrevistados, segundo a variedade de animais criados, no período de setembro de 2008 a abril de 2010.

Do total dos 439 entrevistados, 99 afirmam criar bovinos; 111 criam caprinos; 270 criam suínos; 103 criam ovinos; 357 criam aves e 266 criam outros animais (cães e gatos). Vale ressaltar que neste cálculo foi considerada a quantidade de entrevistados que alegam criar o animal exclusivamente ou em consórcio com outros animais.

Diferentemente do apurado neste estudo, no Zimbábue, os pequenos açudes têm sido construídos para o desenvolvimento de comunidades rurais, principalmente, no tocante à

agricultura comercial e comunitária. Por causa da sua importância como fonte de sustento para muitas comunidades rurais, os pequenos açudes têm atraído a atenção de pesquisadores e agências de desenvolvimento naquele país (MUNAMATI; SENZANJE, 2007).

De modo geral, os pequenos reservatórios do Nordeste Brasileiro, aqui retratados, são, predominantemente, utilizados para a melhoria da subsistência das comunidades rurais, garantindo o abastecimento doméstico, além de garantir atividades como a pecuária e a irrigação em pequenas escalas.

## **2.5. Conclusões**

Diante dos resultados obtidos por este estudo, pode-se concluir que:

- Os pequenos açudes têm uma função social importante no suprimento de água e alimentos à população rural estudada, garantindo suporte às suas diversas atividades e fornecendo benefícios econômicos e não econômicos. Foram considerados pela maioria dos entrevistados neste estudo como muito importantes. Por ordem de relevância, segundo os entrevistados, os pequenos açudes servem para os seguintes usos: uso doméstico; dessedentação animal; pesca; dessedentação humana e irrigação;
- A principal combinação de fontes de água é pequeno açude e cisterna. As cisternas representam a principal fonte de abastecimento para a dessedentação humana, servindo de reservatório de água de chuva nos períodos úmidos e de água proveniente de açudes nos períodos de estiagem;
- Observou-se, ainda, que há uma subutilização desses pequenos reservatórios, que, mediante um programa de incentivo e assistência técnica, poderiam ser mais bem aproveitados para aumento da quantidade e da variedade de alimentos produzidos, através da pesca extensiva e pequenas irrigações;
- Constatou-se que algumas atividades estão impactando a qualidade das águas e, portanto, comprometem sua disponibilidade. Entre as atividades antrópicas mais impactantes observadas na região, estão a criação de animais soltos nas margens dos açudes e a lavagem de roupas;
- As famílias dos entrevistados são numerosas e, embora poucos possuam nível superior, isso pode representar importante indicador de mudança cultural das comunidades rurais. A grande maioria manifestou vontade de permanecer no campo, fato que pode estar associado à satisfação quanto à disponibilidade de água dos pequenos açudes para manutenção de suas atividades e consequente geração de renda

e melhoria da qualidade de vida;

- Por fim, observou-se que, conforme relatado nas diversas pesquisas realizadas em países africanos, citadas ao longo do texto, os pequenos açudes possuem além da função produtiva, as funções sociais de subsistência e de fixação do homem no campo.



### 3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE PEQUENAS BACIAS

#### 3.1. Introdução

A avaliação hidrológica de pequenas bacias hidrográficas requer técnicas específicas, uma vez que a grande maioria dos pequenos sistemas não é monitorada, seja por questões técnicas, seja por questões financeiras (BARRETO et al., 1989), além das próprias especificidades da região semiárida, como susceptibilidade às secas intensas e prolongadas, déficit hídrico para a atmosfera, solos rasos sobre embasamento cristalino.

A busca por modelos confiáveis para a estimativa do deflúvio em pequenas bacias hidrográficas tem sido objeto de estudos de diversos pesquisadores, em vários países, como Mugabe et al. (2007a); Mugabe et al. (2007b); e Sawunyanna et al. (2006) no Zimbábue; Liebe et al. (2005) em Ghana; Cecchi et al. (2009) na Costa do Marfim; Hughes (2004) na África do Sul; Lajoie et al. (2007) no Canadá; e Yair; Raz-Yassif (2004) em Israel. A maior dificuldade tem sido a disponibilidade de dados monitorados, notadamente os de vazão (escoamento superficial) (MELLO et al., 2003). Alguns autores, como Genovez (2001) e Tucci (1998), consideram que isto seja um dos grandes desafios da ciência hidrológica.

Ao longo do tempo, alguns trabalhos hidrológicos foram sendo desenvolvidos com esse propósito, sendo Aguiar (1940) um dos primeiros a propor um método hidrológico adequado ao semiárido nordestino. Seus estudos foram utilizados e confirmados em seguida por Pioger (1964), que avaliou o nível de conhecimento sobre a hidrologia dos açudes do Nordeste; e por Dubreuil et al. (1975), que efetuaram o primeiro zoneamento e introduziram a noção de zonas cristalinas e sedimentares, conservados até os dias atuais.

Paralelamente aos estudos hidrológicos das grandes bacias hidrográficas nas regiões semiáridas, foram sendo observadas as características e respostas hidrológicas das pequenas bacias. Pesquisas em várias regiões do mundo, a exemplo da África do Sul, Zimbábue, Gana Burkina Faso e Botsuana procuraram soluções de problemas ligados aos aproveitamentos hidráulicos, tais como relações chuva-deflúvio, cheias, estiagens e qualidade das águas.

No início dos anos 1970, a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - Sudene, em cooperação com o *Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération* - Orstom, lançou um plano de estudo sistemático dos recursos hídricos das pequenas bacias de todo o Nordeste (CADIÉ, 1996). A partir de então, vários programas foram implantados e estudos realizados, como os de conservação dos solos realizados por Leprun (1985). Laraque (1989) estudou a qualidade das águas dos pequenos açudes, com ênfase no risco de salinização. Molle (1991) analisou o funcionamento e a gestão desses

açudes, enquanto Cadier et al. (1989) propuseram regras de dimensionamento e utilização dos açudes. A partir desses estudos, foi elaborado o “Manual do Pequeno Açude” (MOLLE e CADIER, 1992), com o objetivo de fornecer metodologias detalhadas para construção, conservação e aproveitamento de pequenos açudes.

Paralelamente a esses, outros importantes estudos hidrológicos foram sendo desenvolvidos, como o Método das Isozonas (TABORGA-TORRICO, 1974), que correlaciona os dados de postos pluviográficos para durações inferiores a 24 horas. Vieira (1979, 2005) realizou estudos sobre análise de risco em recursos hídricos; e Campos (1996, 2010) desenvolveu o método do diagrama triangular de regularização, para dimensionamento e análise da eficiência de reservatórios no Nordeste Brasileiro.

Assim, diante dos conhecimentos adquiridos através dos estudos citados acima, construiu-se a base para a evolução dos estudos hidrológicos de pequenas bacias da região semiárida do Brasil. Atualmente, muitos modelos hidrológicos estão sendo utilizados em estudos ambientais, modelos esses distribuídos ou concentrados, conceituais ou empíricos. A delimitação espacial desses modelos é a bacia hidrográfica, em virtude da simplicidade que oferece na aplicação do balanço hídrico e da importância do conhecimento do escoamento superficial para a estimativa das potencialidades e disponibilidades hídricas de seus cursos d'água.

A regionalização de dados é uma técnica estabelecida com o objetivo de se obter parâmetros hidrológicos em locais sem dados ou com poucos dados. Sua aplicação permite estimar, além de parâmetros, a consistência das séries hidrológicas e os dados necessários ao processo de outorga do uso da água. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial das informações, que permite esta transferência (TUCCI, 2002).

Os avanços nas técnicas de regionalização são inegáveis, porém os critérios de definição destas técnicas nem sempre são rigidamente definidos, dependendo da habilidade e do conhecimento do pesquisador, além dos recursos disponíveis para tal. A escolha da metodologia de regionalização determinará os procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados, sabendo-se que cada método possui vantagens e limitações (SOUSA, 2009; SOUSA; LIMEIRA, 2006).

Porém, a regionalização de parâmetros de modelos chuva-vazão para previsão de vazão em bacias não monitoradas não é tarefa simples. O comportamento hidrológico de pequenas bacias pode ser bem diferente das bacias maiores, devido à capacidade de regularização do aquífero, do amortecimento de enchentes, da distribuição espacial da capacidade de infiltração e da condutividade hidráulica, entre outros (TUCCI, 2002).

Não só devido à ausência de dados hidrológicos, mas também devido à necessidade de respostas rápidas, é comum a utilização de procedimentos simplificados. No caso da precipitação, por exemplo, é comum a utilização de médias ponderadas pelo inverso da distância ao quadrado, polígonos de Thiessen ou mapas de isoietas. Em todos estes casos, uma boa cobertura de postos pode fornecer boas estimativas no local desejado (AGRA et al., 2003).

Considerando-se que o processo de gestão avalia, além do regime hidrológico, a demanda do uso da água frente à disponibilidade hídrica, é necessário que a disponibilidade hídrica seja expressa através de uma vazão de referência, geralmente tomada como  $Q_{90}$ , ou a vazão regularizável com 90% de garantia anual (ARAÚJO et al., 2006; CAMPOS, 1996, 2010; CAMPOS et al., 2003; SILVA et al., 2006).

Os objetivos deste capítulo são: 1) Avaliar dois métodos de estimativa do volume de reservatórios, através de dados fornecidos por sensoriamento remoto; 2) Eleger um, entre quatro modelos hidrológicos, que melhor reproduza as vazões anuais de pequenas bacias semiáridas; 3) Avaliar a disponibilidade hídrica dos açudes, como forma de subsidiar a gestão desses pequenos sistemas. Para isso foram usados dados de dez pequenos açudes monitorados, entre 2004 e 2010, no Estado do Ceará.

## **3.2. Método**

### *3.2.1. Caracterização hidrológica das áreas de estudo*

Para a avaliação hidrológica, foram selecionados dez reservatórios localizados no Estado do Ceará e monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – Cogerh. Os critérios utilizados para a seleção foram o porte do reservatório (capacidade de até 3 hm<sup>3</sup>) e o tamanho da série de monitoramento. A Tabela 1 mostra a ficha técnica sintética dos reservatórios em estudo e a Figura 26 mostra a localização dos mesmos.

As áreas da superfície da bacia hidráulica colhidas nas fichas técnicas foram confirmadas com os dados obtidos através de imagens de satélite CBERS 2B (Câmera HRC) e Landsat 5 (bandas 3, 4 e 5), por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). As imagens utilizadas foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com procedimentos de escolha e uso detalhados em Santos et al. (2009).

**Tabela 1** – Ficha técnica sintética dos reservatórios utilizados em estudo hidrológico no Estado do Ceará, incluindo informações acerca da localização, bacia e região hidrográfica.

<b>Açude</b>	<b>Coordenadas UTM (datum SAD 69)</b>	<b>Município</b>	<b>Rio/Riacho barrado</b>	<b>Bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Bacia hidráulica (ha)</b>	<b>Capacidade (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Bacia hidrográfica</b>
Santo Antonio	565235 E; 9348959 N	Iracema	Jatobá	3,20	0,13	0,832	Médio Jaguaribe
Jatobá	473812 E; 9380467 N	Milhã	Traíras	22,00	30,95	1,070	Banabuiu
Do Coronel	394649 E; 9258894 N	Antonina do Norte	Lajes	24,81	65,17	1,770	Alto Jaguaribe
Pau Preto	380255 E; 9217235 N	Potengi	Quinqueré	804,61	82,81	1,809	Alto Jaguaribe
Valério	419653 E; 9229737 N	Altaneira	Valério	60,00	26,64	2,020	Alto Jaguaribe
Gomes	529600 E; 9173055 N	Mauriti	Gomes	31,43	27,16	2,390	Salgado
Penedo	528200 E; 9561300 N	Maranguape	Penedo	8,27	41,00	2,414	Metropolitana
Tatajuba	491109 E; 9290670 N	Icó	Tatajuba	22,09	50,00	2,720	Salgado
Madeiro	549376 E; 9316029 N	Pereiro	Madeiro	9,86	110,0	2,810	Médio Jaguaribe
São Domingos	468500 E; 9533429 N	Caridade	Nambi	15,77	84,00	3,035	Curu

Fonte: Adaptada do Atlas da Secretaria dos Recursos Hídricos (2011).

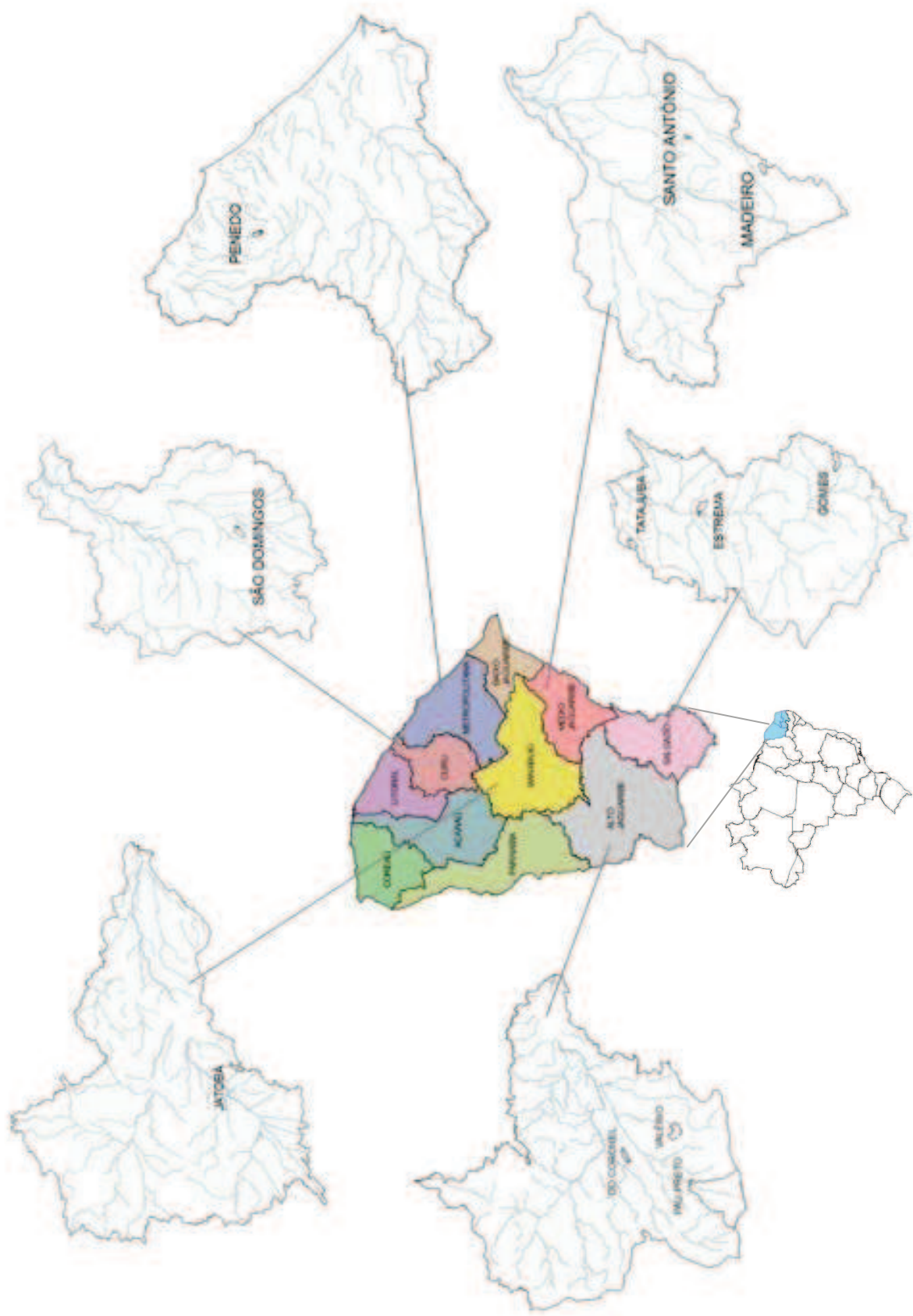


Figura 26 – Distribuição espacial dos açudes estudados no Estado do Ceará, por região hidrográfica.

Os solos das bacias em estudo, bem como os tipos de vegetação e o uso dos solos foram obtidos através do *software* ArcGIS, com *shapefiles* fornecidos pela Cogerh. As Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os tipos de solos e os parâmetros físicos das bacias.

**Tabela 2** – Tipos de solos, em percentual, das dez bacias hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.

Bacia	Planossolos	Neossolos	Luvisolos	Latossolos
Santo Antonio	-	-	100	-
Jatobá	-	60,3	39,7	-
Do Coronel	31,7	68,3	-	-
Pau Preto	-	-	7,3	92,3
Valério	-	46,8	-	53,2
Gomes	-	-	100	-
Penedo	-	-	100	-
Tatajuba	-	100	-	-
Madeiro	-	-	34,3	65,7
São Domingos	67,6	-	32,4	-

**Fonte:** Adaptada do mapa de solos das bacias, classificados de acordo com Embrapa (2005).

**Tabela 3** – Parâmetros físicos das dez bacias hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.

Bacia	L (km) <sup>1</sup>	S (%) <sup>2</sup>	Tc (h) <sup>3</sup>	Área (km <sup>2</sup> )
Santo Antonio	1,33	3,00	0,32	3,20
Jatobá	8,22	0,50	2,58	22,00
Do Coronel	10,32	0,80	2,56	24,81
Pau Preto	42,82	0,50	9,19	804,61
Valério	9,45	1,46	1,90	60,00
Gomes	11,33	1,38	2,23	31,43
Penedo	5,01	1,06	1,32	8,27
Tatajuba	6,72	1,36	1,50	22,09
Madeiro	5,14	2,56	0,96	9,86
São Domingos	6,67	0,80	1,83	15,77

<sup>1</sup> L corresponde ao comprimento da bacia, em linha reta, em km;

<sup>2</sup> S é a declividade média da bacia, em percentual;

<sup>3</sup> Tc é o tempo de concentração da bacia, por Chow e al. (1988) , em h.



Para a obtenção da precipitação média na área de drenagem correspondente a cada reservatório, utilizou-se o método dos Polígonos de Thiessen, que atribui um fator de ponderação aos totais precipitados em cada pluviômetro proporcional à área de influência de cada um deles. As séries pluviométricas foram fornecidas pela Funceme.

A evaporação média diária considerada foi de 5 mm, de acordo com Campos e Lima (1992) e Alves et al. (1997). Os dados de sangria e variação diária dos volumes dos reservatórios foram obtidos junto à Cogerh, incluindo as curvas Cota – Área – Volume (CAV).

O procedimento para a delimitação das bacias hidrográficas de drenagem e comprimento dos riachos barrados foi realizado com auxílio de SIG, utilizando o modelo digital do terreno (MDT) de cada região. Tais MDT foram obtidos de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de resolução 90m x 90m e aperfeiçoadas pelo modelo digital do Projeto Topodata do INPE, cuja resolução foi melhorada para 30m x 30m em cada pixel.

Desta forma, procurou-se caracterizar cada uma das bacias hidrográficas deste estudo, todas de uso rural, com o detalhamento exigido pelos métodos a serem empregados, conhecendo-se as suas características topográficas, sua rede de drenagem, o comprimento e a declividade do curso principal, de acordo com o recomendado por Goldenfum (2001). A série de dados pluviométricos utilizada compreendeu o período entre os anos de 2004 a 2010, exceto para o açude Gomes, que teve os anos de 2006 e 2007 excluídos, por apresentarem falhas nos dados pluviométricos. A Tabela 4 apresenta algumas características das bacias com relação ao clima e à hidrologia.

**Tabela 4** – Características das bacias hidrográficas estudadas no Estado do Ceará.

Bacia	Clima <sup>1</sup>	Precipitação média anual (mm.ano <sup>-1</sup> )	Evaporação estação seca (mm.ano <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	Tempo de residência <sup>4</sup> (ano)	Afluência anual média (hm <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cv <sup>2</sup>
Santo Antonio	BSh	975	1.435	1,327	0,627	0,80
Jatobá	BSh	900	1.475	0,529	2,023	0,94
Do Coronel	BSh	750	1.840	1,565	1,131	1,39
Pau Preto	Aw	750	1.840	0,131	13,826	1,23
Valério	BSh	900	1.840	0,302	6,683	1,22
Gomes	BSh	900	1.650	0,365	6,541	1,08
Penedo	Aw	1450	1.029	0,962	2,509	1,17
Tatajuba	BSh	900	1.436	1,345	2,023	0,94
Madeiro	BSh	975	1.435	4,350	0,646	0,95
São Domingos	BSh	900	1.307	1,391	2,182	1,03

<sup>1</sup>Classificação de acordo com Köppen (1918).

<sup>2</sup>Cv – Coeficiente de variação de afluência anual.

<sup>3</sup>A estação seca corresponde o período entre os meses de junho a dezembro.

<sup>4</sup>Tempo de Residência, em anos, dado pela capacidade de armazenamento dividido pela afluência média anual.



### 3.2.2. Cálculo da capacidade de acumulação dos reservatórios

As informações acerca da capacidade máxima de acumulação de um reservatório são absolutamente essenciais para a sua gestão, principalmente no caso de reservatórios de pequeno porte (SAWUNYAMA et al., 2006). Quando tratamos de regiões semiáridas essa preocupação se intensifica, uma vez que os açudes representam a principal fonte de água para as comunidades rurais e seu volume sofre redução no período de estiagem (MOLLE e CADIER, 1992), conforme explorado no capítulo 2.

Porém, os pequenos reservatórios, em sua maioria, não possuem dados de projeto ou de monitoramento, sendo necessário, nestes casos, o uso de técnicas de batimetria para o conhecimento da geometria do lago e da sua capacidade de acumulação. O grande entrave é que a medida dos volumes de água através das técnicas de batimetria é um procedimento oneroso e trabalhoso (KRUG; NOERNBERG, 2005), sendo, em muitos casos, inviável por indisponibilidade financeira e de mão de obra qualificada. Robaína et al. (2009) reafirmam o exposto e defendem a aplicação de técnicas alternativas, associadas a modelos matemáticos como alternativa econômica para a estimativa desses volumes.

Os métodos escolhidos para serem avaliados neste estudo são o Método de Molle (1994) e o Método de Campos/SIG (1996, 2010), que relacionam as características físicas das bacias dos reservatórios a sua capacidade de acumulação. Tais características físicas podem ser obtidas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, somadas às informações coletadas em campo. Finch (1997), Mialhe et al. (2008) e Sawunyama et al. (2006), inclusive, defendem esta técnica por ser mais fácil de utilização, mais barata, além de consumir menor tempo do pesquisador/técnico.

#### **Método de Molle**

Neste item foi feita a estimativa do volume dos pequenos açudes, de acordo com a metodologia proposta por Molle (1994), aplicada para 420 açudes de variados portes, localizados no semiárido nordestino. Molle observou que a capacidade volumétrica de um reservatório está diretamente ligada à sua geometria. Assim, o autor supracitado propôs o cálculo da estimativa do volume de um açude a partir da superfície da sua bacia hidráulica e da declividade média do riacho barrado. A declividade média (S) do riacho é dada pela Equação 1.

$$S = \frac{(H_N - H_B)}{L_{NB}} \quad (1)$$

Em que  $H_N$  é a cota do ponto de nascente do riacho;  $H_B$  é a cota no ponto do barramento; e  $L_{NB}$  é o comprimento do riacho entre cotas selecionadas.

De acordo com as recomendações do método, para os açudes com superfície da bacia hidráulica inferior a 10 hectares, foi utilizada a Equação 2 e para açudes com superfície entre 10 e 20 hectares, a Equação utilizada foi a 3.

$$V = 0,045 A_B^{1,348} S^{0,50} \quad (2)$$

$$V = 0,117 A_B^{1,263} S^{0,49} \quad (3)$$

Em que  $V$  é o volume do reservatório e  $A_B$  a área da superfície da bacia hidráulica.

Para os açudes com superfície superior a 20 hectares, a estimativa do volume foi feita pela Equação 4, que leva em consideração a profundidade, ou seja, a altura d'água no ponto mais profundo, geralmente situado nas proximidades da parede do açude; a superfície da bacia hidráulica; e o coeficiente de forma.

$$V = \frac{A_B h}{\alpha_M} \quad (4)$$

Em que:  $V$  é o volume do açude, em  $m^3$ ;  $A_B$ , a superfície da bacia hidráulica do açude, em  $m^2$ ;  $h$ , a profundidade do espelho d'água do açude, em  $m$ ;  $\alpha_M$ , o coeficiente de forma do açude (adimensional), por Molle.

Considerou-se o coeficiente geométrico de forma do açude ( $\alpha_M$ ) como sendo 2,7, que corresponde à média dos coeficientes analisados pelo autor e, portanto, adotado como valor de referência.

### **Método de Campos /SIG**

No desenvolvimento deste método, adotou-se a Equação 5, proposta por Campos (1996, 2010), para a representação da curva cota *versus* volume de um reservatório.

$$V(h) = \alpha h^3 \quad (5)$$

Em que  $V(h)$  representa o volume acumulado até a altura da água  $h$  (medida a partir do ponto mais profundo) e  $\alpha$  o parâmetro estimado a partir da área da bacia hidráulica e da profundidade do reservatório, obtidos através da imagem SRTM.

Neste estudo, houve a necessidade de adaptação do método de Campos (1996, 2010) para açudes não monitorados, sem dados de projeto. Para tanto, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite para o delineamento da bacia hidráulica dos pequenos açudes, conforme utilizados em Gana, por Annor et al. (2009) e Liebe et al. (2005); no Zimbábue, por Sawunyanna et al. (2005) e na Índia, por Mialhe et al. (2008), como ferramenta para auxílio do conhecimento do volume para a gestão dos pequenos sistemas. O conhecimento da área da bacia hidráulica e a estimativa da profundidade do reservatório permitem, a partir da derivação da Equação 5, a calibração do fator de forma da bacia ( $\alpha$ ), conforme Equação 6.

$$\frac{dV}{dh} = A_B = 3. \alpha. h^2 \quad (6)$$

Em que  $A_B$  representa a área da bacia hidráulica, obtida através das imagens de satélite; e  $h$  a maior profundidade do açude, obtida pela diferença de cotas entre o ponto barrado e o do rio no início da bacia hidráulica.

### **Critério para validação dos métodos**

Para avaliação dos métodos foram realizados os cálculos do erro relativo médio, conforme Equação 7.

$$\varepsilon = \frac{|V_{sim} - V_{med}|}{V_{med}} \quad (7)$$

Em que  $V_{sim}$  é o volume calculado e  $V_{med}$  o volume medido.

#### *3.2.3. Cálculo das afluências aos pequenos açudes*

A ausência de dados hidrológicos em pequenas bacias hidrográficas gera incertezas que podem comprometer a avaliação da disponibilidade hídrica, podendo limitar o aproveitamento de pequenos açudes no semiárido brasileiro (SILVEIRA et al., 1998). Neste

caso, o uso de técnicas de regionalização de vazões auxilia na estimativa da disponibilidade hídrica.

Neste estudo foram aplicados aos dez pequenos reservatórios monitorados os seguintes modelos chuva-vazão: Aguiar (1940); Molle e Cadier (1992); SCS (1972); e SMAP/DS (DINIZ, 2008; LOPES et al., 1982; SILVA, 2012), que foram validados com dados oriundos do monitoramento.

### **Modelo de Aguiar**

O trabalho desenvolvido pelo Engenheiro Francisco de Aguiar (1940) é, indubitavelmente, um grande marco no dimensionamento de açudes no Nordeste Brasileiro. Sua metodologia foi pautada, principalmente em três linhas: 1) Estimativa do volume afluente médio anual em uma bacia; 2) Desenvolvimento de um método para determinação da capacidade e do volume regularizado por um açude; 3) Determinação da cheia secular a ser considerada no dimensionamento do vertedouro de um açude (CAMPOS; STUDART, 2001; VIEIRA et al., 1996).

Para a estimativa do deflúvio anual, o autor desenvolveu equações com base em algumas observações de chuvas e vazões escoadas, que permitem o cálculo da lâmina escoada média de uma bacia hidrográfica, quando conhecidas a precipitação e as características geomorfológicas da bacia. Para tanto, utilizou-se a Equação 8, desenvolvida para precipitações anuais compreendidas entre 500 e 1.000mm.

$$R = \frac{0,01H^2 - 4H + 2300}{55.000} \quad (8)$$

Em que R é o rendimento; e H é a precipitação anual na bacia hidrográfica, em milímetros.

Para a estimativa do volume médio escoado anual, foram inseridos na metodologia os aspectos geomorfológicos das bacias hidrográficas, por meio do coeficiente de correção do rendimento do escoamento superficial U (Coeficiente de Ryves) cujos valores constam no Quadro 1 e são aplicados na Equação 10.

**Quadro 1** – Coeficientes hidrométricos, segundo Aguiar (1940).

<b>Características da bacia</b>	<b>Tipo</b>	<b>U</b>
Pequena, íngreme e rochosa	1	1,3
Bem acidentada, sem depressões evaporativas	2	1,2
Média	3	1
Ligeiramente acidentada	4	0,8
Ligeiramente acidentada com depressões evaporativas	5	0,7
Quase plana, terreno argiloso	6	0,65
Quase plana, terreno variável ou ordinário	7	0,6
Quase plana, terreno arenoso	8	0,5

**Fonte:** Vieira et al., 1996.

$$Qa(P) = L(P).A \quad (9)$$

$$L(P) = (R.U).P \quad (10)$$

Em que  $Qa$  é a vazão média escoada em metros cúbicos, por ano;  $R$  é o rendimento;  $U$  é um fator de correção de fatores geomorfológicos;  $P$ , a precipitação média, em metros, por ano; e  $A$ , a área da bacia hidrográfica, em metros quadrados.

### **Modelo de Molle e Cadier**

O método conhecido como Molle e Cadier é um modelo chuva-vazão desenvolvido para a região Nordeste, com clima semiárido, geologia cristalina e chuva anual média inferior a 800 mm. É usualmente aplicado para o dimensionamento de pequenos açudes e permite determinar o volume anual médio escoado a partir de três elementos fundamentais: superfície de drenagem, total pluviométrico anual e caracterização da bacia hidrográfica quanto ao clima, ao solo existente, ao estado de conservação da vegetação e à existência de açudes e/ou zonas de retenção de água a montante (GOURDIN et al., 2007; MOLLE, 1991; SILVA, 2000).

A etapa inicial de aplicação do método consistiu na avaliação da superfície da bacia hidrográfica dos pequenos açudes do estudo, para permitir o cálculo dos volumes escoados a partir das lâminas escoadas.

O passo seguinte foi a determinação do coeficiente  $L_{600}$  padrão, que corresponde à lâmina anual que escoaria caso a pluviometria anual fosse de 600 mm (MOLLE e CADIER, 1992). Este parâmetro foi obtido a partir das características dos solos das bacias hidrográficas em dois estágios: 1) Estimativa de  $\hat{L}_{600}$  padrão, mediante uma classificação hidropedológica da bacia hidrográfica e 2) Estimativa de  $L_{600}$  corrigido, aplicando-se os fatores de correção de vegetação ( $\lambda_V$ ), correção considerando açudes a montante ( $\lambda_A$ ) e correção considerando as zonas de retenção, solos arenosos profundos nos leitos dos rios ( $\lambda_L$ ). A Equação 11 mostra a equação utilizada para o cálculo padrão de  $L_{600}$ . A etapa seguinte, de correção do coeficiente, é apresentada na Equação 12.

$$\hat{L}_{600}(\text{bacia}) = \frac{\sum_{j=1}^n \hat{L}_{600}(j) \cdot A(j)}{\sum_{j=1}^n A(j)} \quad (11)$$

Em que: TS, tipo de solo; e A, a superfície da bacia hidrográfica.

$$L_{600}(\text{bacia}) = (\hat{L}_{600}(\text{bacia})) (\lambda_V)(\lambda_A)(\lambda_L) \quad (12)$$

O Quadro 2 mostra os fatores de correção de  $\lambda_V$ ,  $\lambda_A$  e  $\lambda_L$ .

**Quadro 2** – Fatores de correção  $\lambda_V$ ,  $\lambda_A$  e  $\lambda_L$ , referentes à vegetação da bacia hidrográfica, aos açudes a montante e às zonas de retenção, respectivamente.

<b>Estado da cobertura vegetal</b>	<b>Solos com <math>50\text{mm} &gt; \hat{L}_{600} &gt; 20\text{mm}</math></b>		<b>Solos com <math>\hat{L}_{600} &lt; 20\text{mm}</math> ou <math>\hat{L}_{600} &gt; 50\text{mm}</math></b>	
Extremamente bem conservada	0,50		0,75	
Bem conservada	0,75		0,90	
Normal	1,00		1,00	
Degradada	1,50		1,25	
Muito Degradada	2,00		1,50	
<b>Densidade de açudes</b>	<b>Muito forte <math>&gt; 0,5</math> açude/km<sup>2</sup></b>	<b>Normal Entre 0,25 e 0,50 açude/km<sup>2</sup></b>	<b><math>&lt; 0,25</math> açude/km<sup>2</sup></b>	
$\lambda_A$	$< 1$	1	1,6	
<b>Importância mecanismo de retenção</b>	<b>Muito elevada</b>	<b>Elevada</b>	<b>Normal</b>	<b>Fraca ou Nula</b>
Fator $\lambda_L$	0,8	0,9	1	1,2

Fonte: Adaptada de Molle e Cadier (1992).

A etapa seguinte foi o cálculo da lâmina média escoada anual na bacia hidrográfica de drenagem  $L(P)$  a partir do  $L_{600}$  corrigido, da precipitação média anual ( $P$ ) e do fator climático ( $C$ ), de acordo com a Equação 13:

$$L(P) = L_{600} \cdot C \cdot e^{\varphi(P-600)} \quad (13)$$

Em que  $\varphi$  é coeficiente que varia de 0,0025 a 0,0040 (valor usual de 0,0033) e  $C$ , é o coeficiente climático, que na zona do sertão corresponde a 1.

### **Modelo do *Soil Conservation Service* (SCS)**

O modelo do SCS é conhecido, também, como modelo CN (*curve number*). Foi desenvolvido pelo *National Resources Conservation Center* dos Estados Unidos, antigo *Soil Conservation Service* (SCS) em 1972. É considerado um dos métodos mais simples e um dos mais utilizados para estimar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva (BESKOW et al., 2009; NUNES; FIORI, 2007; RIGHETTO, 1998; TUCCI, 2001).

Hawkins et al. (2009) publicaram trabalho que investiga desde a concepção do modelo até o uso e prática atual do modelo CN, além da modelagem da umidade do solo.

A estrutura do método utiliza informações relativas à chuva e ao complexo hidrológico solo-vegetação, considerando o tipo, o uso, a umidade inicial e a condição hidrológica do solo e possui como base a Equação 14.

$$L(P) = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0,8S} \quad (14)$$

Em que:  $L(P)$  representa o escoamento superficial, em mm;  $P$ , a precipitação total, em mm;  $I_a$ , as abstrações iniciais, em mm.

A capacidade máxima de retenção (mm) é obtida pela Equação 15.

$$S = \left[ \frac{25400}{CN} \right] - 254 \quad (15)$$



Em que: S é a capacidade máxima de retenção de água na bacia; CN é o número da curva, que define o complexo hidrológico solo-vegetação, e os valores numéricos são coeficientes para ajuste de unidades.

O número da curva pode ser determinado para quatro grupos de solos (A, B, C e D), divididos conforme a capacidade de produção de escoamento superficial, sendo que o risco de ocorrência de escoamento superficial aumenta no sentido de A para D, enquanto a capacidade de infiltração se reduz (Quadro 3).

Quando do desenvolvimento do método do número da curva, foi constatado que a precipitação antecedente ao escoamento superficial, designada abstrações iniciais ( $I_a$ ), representa aproximadamente 20% da capacidade máxima de retenção da água na bacia, sendo descrita pela Equação 16.

$$I_a = 0,2S \quad (16)$$

**Quadro 3** – Grupos de solos, de acordo com o modelo hidrológico do SCS (1972).

Grupos	Caracterização
A	Solos arenosos, profundos, com pouca argila e silte. Bem drenados e com altas taxas de infiltração, mesmo quando úmidos. Produzem baixo escoamento superficial. Taxa de infiltração $> 190 \text{ mm.h}^{-1}$
B	Solos com textura fina a moderadamente grosseira. Profundos. Bem drenados. Apresentam taxas de infiltração moderada quando úmidos. Taxa de infiltração entre $40 \text{ mm h}^{-1}$ e $190 \text{ mm h}^{-1}$
C	Solos com texturas moderadamente finas a finas. Baixa infiltração quando úmidos. Solos com camada de impedimento ao movimento da água. Taxa de infiltração entre $3 \text{ mm h}^{-1}$ e $40 \text{ mm h}^{-1}$
D	Solos com argilas expansivas e pouco profundos. Solos com camadas de argila próximas à superfície ou na superfície. Solos superficiais sobre materiais impermeáveis ou quase impermeáveis. Taxas muito baixas de infiltração quando úmidos. Taxa de infiltração $< 3 \text{ mm h}^{-1}$

Fonte: Adaptado de Pruski et al. (2001).

O modelo considera, ainda, três condições antecedentes de umidade do solo (AMC) na definição do número do escoamento CN, quais sejam:  $AMC_I$  que corresponde às situações em que os solos estão secos;  $AMC_{II}$ , que indica o solo na capacidade de campo e  $AMC_{III}$  diz respeito aos solos úmidos. Os números da curva em condições antecedentes de umidade

podem ser calculados pelas Equações 17 e 18. O Quadro 4 detalha os valores de CN para bacias rurais e o Quadro 5 mostra os grupos de valores para AMC.

**Quadro 4** – Valores de CN para bacias rurais, para a condição II de umidade antecedente, de acordo com o modelo SCS (1972).

Uso preponderante de solo	Grupos de solo			
	A	B	C	D
Florestas	41	63	74	80
Campos	65	75	83	85
Plantações	62	74	82	87
Zonas comerciais	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais	77	85	90	92

Fonte: Adaptado de Chow et al. (1988) e Tucci (1998).

$$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN (II)}}{10 - 0,058 \text{ CN (II)}} \quad (17)$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN (II)}}{10 + 0,13 \text{ CN (II)}} \quad (18)$$

**Quadro 5** – Classes antecedentes de umidade (AMC) de acordo com o método de abstrações de chuva do modelo SCS (1972).

Grupo AMC	Chuva antecedente total de 5 dias (polegadas)	
	Estação inativa	Estação de crescimento
I	Menor que 0,5	Menor que 1,4
II	0,5 a 1,1	1,4 a 2,1
III	Acima de 1,1	Acima de 2,1

Fonte: Adaptado de Chow et al. (1988).

### Modelo SMAP (SMAP/DS)

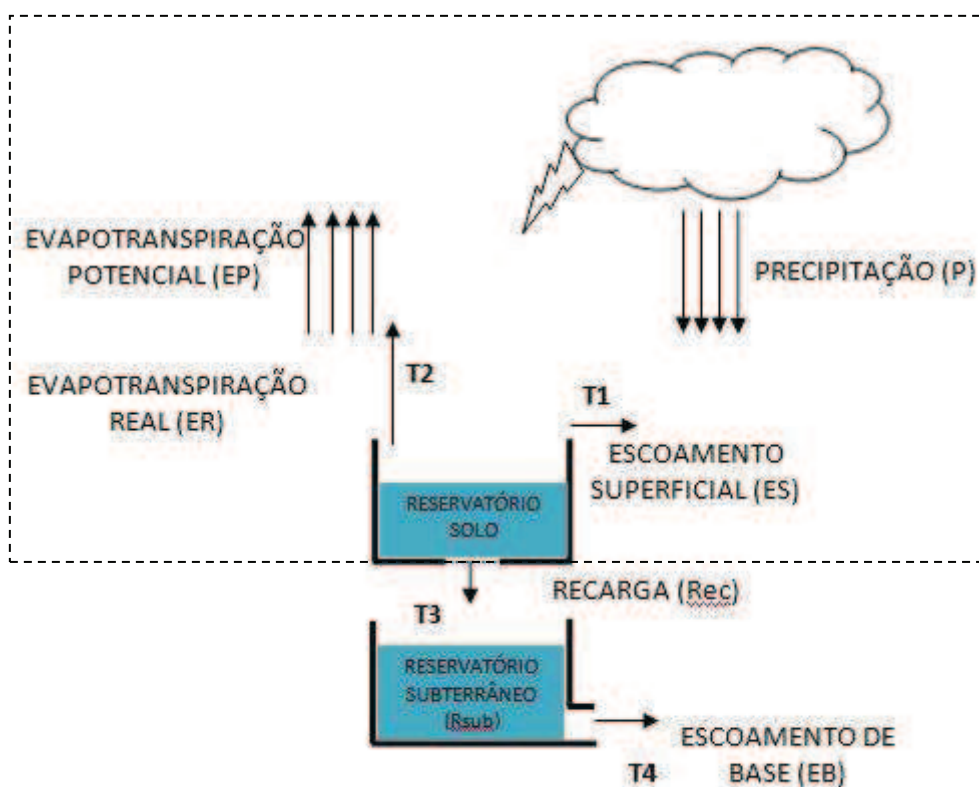
O modelo chuva-vazão SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), proposto por Lopes et al. (1982), tem uma estrutura relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos da bacia.

O SMAP é um modelo determinístico de simulação hidrológica de estrutura simples, utilizado para simular séries contínuas. O modelo utiliza a separação do escoamento baseada

nos parâmetros da *United States Soil Conservation* (USSC) e opera com dados de chuva e de evapotranspiração potencial em intervalos mensais (BUCHIANERI, 2004; DINIZ, 2008).

Neste modelo, o número de parâmetros que dependem de calibração é reduzido ao mínimo, o que permite a avaliação dos valores ótimos globais com maior facilidade permitindo a regionalização destes. Alexandre (2005) indica, para o Estado do Ceará, a regionalização de apenas dois parâmetros: capacidade de saturação do solo ( $S_{tr}$ ) e parâmetro de escoamento superficial ( $P_{es}$ ).

O modelo, em sua versão mensal, apresenta dois reservatórios matemáticos, quais sejam o reservatório da água no solo ( $R_{solo}$ ) e o reservatório de água subterrânea ( $R_{sub}$ ), e quatro funções de transferência de água entre os reservatórios e para fora dos mesmos: T1 – Escoamento superficial (ES); T2 – Evapotranspiração real (ER); T3 – Recarga de água subterrânea (Rec) e T4 – Escoamento de base (EB), conforme esquema mostrado na Figura 27.



**Figura 27** – Estrutura do modelo SMAP. No detalhe tracejado, o esquema simplificado adotado para o semiárido.  
(Fonte: Adaptado de Buchianeri, 2004)

Os dados de entrada para o modelo são:

- Precipitação mensal (P), em mm;
- Evapotranspiração potencial (EP) mensal, em mm;

- Área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;
- Taxa de deplecionamento (K) do nível R<sub>SUB</sub> que gera o escoamento de base (EB) variando 1 a 6;
- Taxa de umidade do solo inicial (TU<sub>in</sub>) que determina o nível inicial do reservatório R<sub>SOLO</sub>.

Os parâmetros do modelo a serem calibrados são:

- Str – capacidade de saturação do solo, variando entre 400 e 5000;
- PES – parâmetro que controla o escoamento superficial, variando entre 0,1 a 10;
- CREC – coeficiente de recarga, parâmetro relacionado com a permeabilidade na zona não saturada do solo, variando de 0 a 70.

As Equações de 19 a 22 são utilizadas para os cálculos das varáveis do modelo.

$$ES = \left( \frac{R_{solo}}{Str} \right)^{Pes} \cdot P \quad (19)$$

$$ER = \left( \frac{R_{solo}}{Str} \right) \cdot Ep \quad (20)$$

$$Rec = Crec \left( \frac{R_{solo}}{Str} \right)^4 \cdot R_{solo} \quad (21)$$

$$EB = (1 - kk) \cdot R_{sub} \quad (22)$$

Em decorrência das características da área de estudo, com predominância de solos rasos e embasamento cristalino, a tendência é de que os parâmetros Crec e K sejam nulos, conforme resultados encontrados por Alexandre et al. (2005) e confirmados por Diniz (2008). Portanto, neste estudo, como forma de simplificação, tais parâmetros foram admitidos nulos. Com isso, o modelo passa a contar com apenas um reservatório (R<sub>SOLO</sub>), com o escoamento dividido em duas parcelas: escoamento direto e o esvaziamento do reservatório (escoamento superficial e subsuperficial).

### Parametrização pelo Método de Diniz

Para obtenção dos parâmetros de entrada do modelo foi utilizada metodologia desenvolvida por Diniz (2008), que consiste na geração de vazões utilizando técnicas de aprendizado supervisionado e não supervisionado bem como as redes neurais artificiais. Para tanto, foi utilizado software desenvolvido por Silva (2012), em ambiente SIG, que facilita a aplicação desta metodologia (ver detalhes em SILVA, 2012; SILVA et al., 2010a; SILVA et al., 2010b, SILVA et al., 2011). Basicamente, este programa automatiza a extração das características morfológicas de qualquer bacia hidrográfica a partir de um modelo de elevação digital (DEM) e depois usa o processo de regionalização hidrológica para gerar parâmetros de modelo chuva–deflúvio.

Para a seleção de atributos e eliminação de dados redundantes e irrelevantes ao estudo de regionalização de parâmetros, o método proposto por Diniz (2008) utiliza a técnica conhecida como mineração de dados (*data mining*). Trata-se de um processo analítico projetado para explorar grandes quantidades de dados em busca de padrões consistentes ou relacionamentos sistemáticos entre variáveis para, em seguida, validar os resultados aplicando os padrões detectados a novos subconjuntos de dados. É considerado por muitos autores (CATALDI et al., 2007; DINIZ, 2008; DINIZ, 2009; FEELDERS et al., 2000; HOUTSMA; SWAMI, 1995) como um instrumento bastante útil e valioso na regionalização de parâmetros hidrológicos, pois permite ao usuário, durante a visualização dos dados, confirmar hipóteses, analisar o comportamento dos dados e observar padrões ou tendências.

A calibração do modelo foi feita nos parâmetros Pes e Str, utilizando como função objetivo a minimização do erro, calculado a partir das curvas de permanência das vazões medidas e simuladas.

### Validação dos modelos hidrológicos

Para analisar o desempenho de cada modelo e possibilitar uma melhor comparação entre os resultados simulados e os medidos, foram calculados o erro relativo médio (Equação 23) e a eficiência de Nash e Sutcliffe (1970), de acordo com Equação 24.

$$\varepsilon = \frac{|Q_{med} - Q_{sim}|}{Q_{med}} \quad (23)$$

Em que  $Q_{med}$  corresponde à vazão medida e  $Q_{sim}$  à vazão simulada.

$$NSE = 1 - \frac{\sum(Q_{med} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{med} - \bar{Q})^2} \quad (24)$$

Em que  $\bar{Q}$  corresponde à vazão média da série de vazões medidas.

### 3.2.4 Cálculo da disponibilidade hídrica dos pequenos açudes

Nesta etapa do trabalho foi realizada a avaliação da disponibilidade hídrica dos dez pequenos reservatórios monitorados. Para tanto foi aplicado o modelo VYELAS (ARAÚJO et al., 2006) de forma a avaliar a disponibilidade de água e o rendimento do reservatório.

A vazão utilizada como referência foi a  $Q_{90}$ , ou seja, a vazão a um nível de garantia de 90% de permanência na série de vazões. De acordo a legislação, o Estado do Ceará (Lei N° 14.844, 28/12/2010 e Decreto N° 23.067, 11/02/1994) limita a outorga a 90% de  $Q_{90}$ .

### Modelo VYELAS

O modelo VYELAS (*Volume-Yield Elasticity*) foi concebido por Araújo et al. (2006), baseado no método estocástico desenvolvido por Campos (1996; 2010) e McMahon e Mein (1986) para ambientes semiáridos, e consiste em simular o balanço hídrico (Equação 25) em longo prazo para cada reservatório e, para isto, considera as demandas e as retiradas, de uma determinada regra de operação do reservatório, calculando a confiabilidade associada à vazão que se deseja extrair do reservatório durante um ano. O modelo, portanto, calcula o balanço hídrico em passo anual com base nas seguintes variáveis: vazão afluente média anual; coeficiente de variação do deflúvio afluente; coeficiente de forma do reservatório; evaporação no período seco; capacidade de armazenamento; volume mínimo operacional; volume no início da simulação; valores máximo e mínimo de vazões regularizáveis simuladas; número de vazões regularizáveis simuladas; número de simulações do procedimento estocástico.

$$\frac{dV}{dt} = (Q_R) - (Q_{ED} + Q_W + Q_O) + \delta Q \quad (25)$$

Em que  $V$  é o volume do reservatório;  $t$  o tempo;  $Q_R$  a descarga de entrada do rio;  $Q_{ED}$  a evaporação do reservatório na estação seca;  $Q_W$  a vazão de vertimento da água;  $Q_O$  a descarga que se deseja extrair do reservatório, e  $\delta Q$  a diferença entre as entradas restantes (chuva incidente sobre o reservatório e as águas subterrâneas), e as saídas restantes (infiltração e evaporação do reservatório no período chuvoso). O termo  $\delta Q$  da equação acima

foi considerado como insignificante para simulações de longo prazo (ARAÚJO et al., 2006; CAMPOS, 1996; 2010).

O volume foi calculado pela equação de Campos (1996, 2010), descrita anteriormente na Equação 5. Na superfície do reservatório, o balanço hídrico é simulado sazonalmente, considerando-se a evaporação do lago, as retiradas de água e as sangrias, que dependem da sua regra operacional. Para simular o balanço hídrico são geradas séries sintéticas de vazão, através da análise de frequência e da função de densidade de probabilidade gama biparamétrica. A simulação do balanço hídrico é repetida, então, para diferentes descargas e, para cada retirada, a confiabilidade é computada (ARAÚJO et al., 2006; ARAÚJO; MEDEIROS, 2008).

### **3.3. Resultados e Discussão**

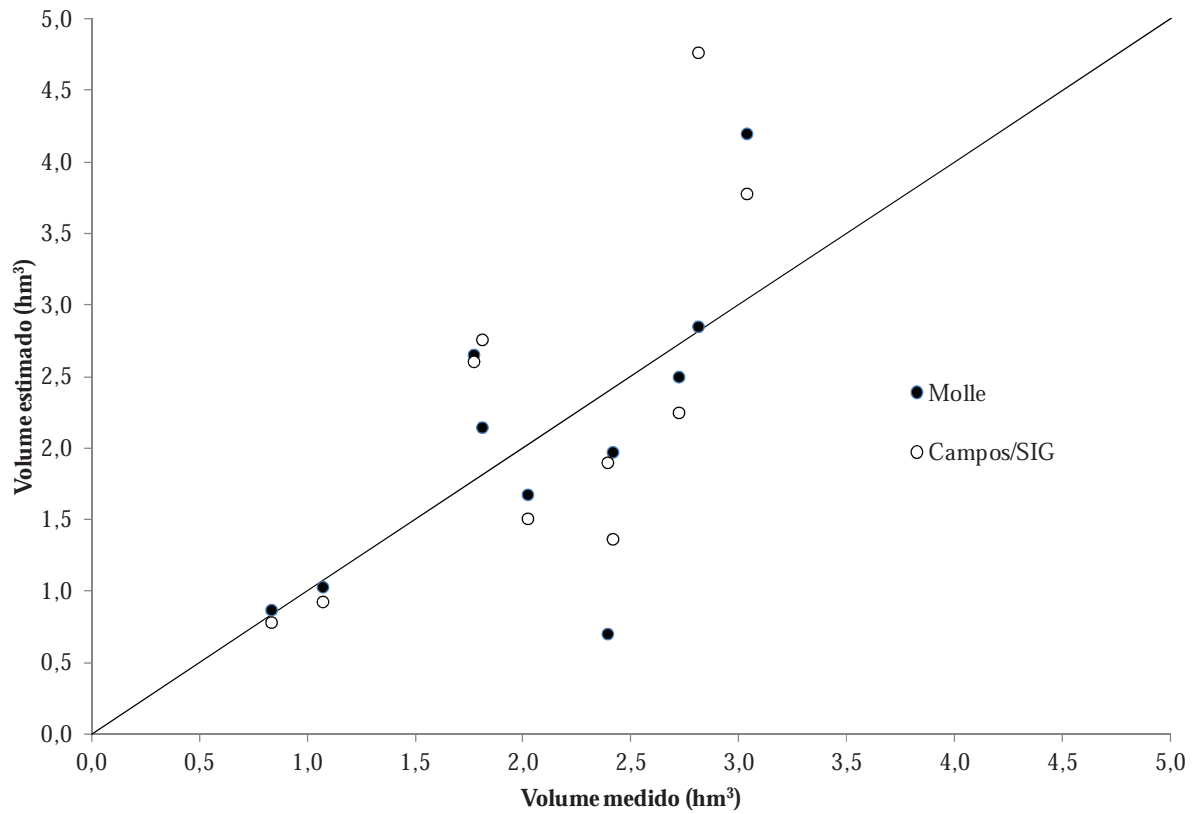
#### *3.3.1. Análise da Capacidade de Acumulação dos Reservatórios*

A Figura 28 apresenta os volumes máximos dos reservatórios obtidos através das metodologias de Molle e Campos/SIG, anteriormente descritas. Das simulações, é possível inferir erros maiores na metodologia de Campos/SIG. A estimativa do parâmetro  $\alpha$  foi realizada através da área da bacia hidráulica e da profundidade máxima de cada um dos reservatórios, sendo as áreas obtidas por imagem de satélite e confirmadas pelas fichas técnicas fornecidas pela Cogerh.

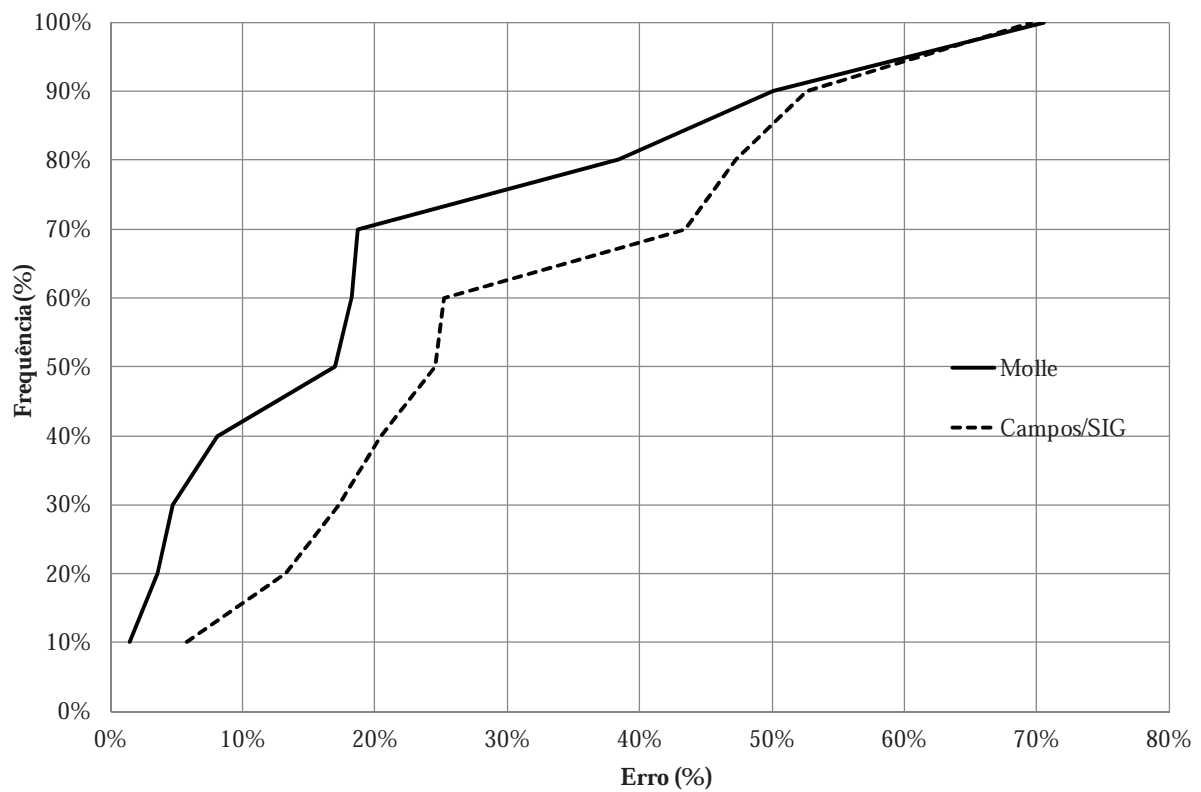
Foram, também, realizadas simulações com valores de parâmetro de forma, retirados das CAV, e estas se aproximaram muito dos volumes medidos, o que confirma a eficiência do método para açudes com dados de projeto. Porém, como esta metodologia deverá ser proposta, também, para açudes não monitorados, onde, normalmente, não se dispõem de dados, optou-se por calcular os valores de  $\alpha$  com base na área e na profundidade do açude.

A Figura 29 representa as curvas de frequência de erros acumulados na aplicação das metodologias. O erro do método de Campos/SIG foi maior que o método de Molle para oito dos dez reservatórios em questão, sendo no método de Campos/SIG metade dos erros menores que 25% e no de Molle, metade dos erros menores que 18%. Tal incidência de erro pode ser atribuída à redução da profundidade dos reservatórios que, obtidas através de sensoriamento remoto, podem ter sofrido alterações em campo devido ao assoreamento, imprecisões na determinação de  $h$  pelo SRTM, bem como pelo fato de a equação uniparamétrica de Campos (1996, ver equação 5) não representar adequadamente a topografia dos açudes estudados.





**Figura 28** – Volumes simulados e estimados para dez pequenos açudes monitorados no Ceará, pelas metodologias de Molle e de Campos/SIG.



**Figura 29** – Curvas de frequência de erros acumulados na aplicação dos métodos de Molle e Campos/SIG para obtenção do volume de dez reservatórios monitorados no Ceará.

Liebe et al. (2005), em estudo conduzido em Ghana, desenvolveram e aplicaram um modelo matemático para a estimativa do volume de pequenos reservatórios, em função da área de superfície, obtidas através de imagens de satélite. Os autores encontraram uma alta correlação (0,88) entre os volumes simulados e os volumes reais, obtidos por batimetria. Este resultado confirma a relação entre características físicas da bacia que podem influenciar na capacidade de acumulação dos reservatórios. Annor et al. (2009) encontraram correlação semelhante, em outra região de Ghana.

Cecchi et al. (2009) conseguiram confirmar com dados de campo, 95% dos volumes estimados por SIG de oito pequenos reservatórios na Costa do Marfim. Os autores ressaltam a robustez das técnicas de sensoriamento remoto quando utilizado com rigor metodológico, tanto na análise das imagens (estimativa) quanto no trabalho de campo (validação). Os resultados obtidos por Sawunyama et al. (2006) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para acompanhamento da evolução do assoreamento da barragem Sibasa, no Zimbábue, entre 1991 e 2005 e seus resultados indicaram uma considerável redução do volume do reservatório.

Já Santos et al. (2009), em pesquisa inserida no Projeto DISPAB-SA, conduzida na bacia do Sumé, na Paraíba, simularam através da metodologia de Molle o volume de 42 pequenos açudes, para isso usaram dados obtidos por sensoriamento remoto, validados por levantamento de campo. Os autores observaram que as características físicas da bacia influenciam no volume dos reservatórios e recomendam que sejam introduzidos coeficientes nas equações propostas por Molle, que possam expressar essas características, tais como relevo, geomorfologia, ordem dos riachos e abertura dos vales.

Do mesmo modo, ainda no âmbito do Projeto DISPAB-SA, além dos 42 açudes já citados, a metodologia de Molle foi aplicada para a estimativa do volume de mais 129 pequenos açudes distribuídos nos estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte.

### *3.3.2. Análise das Vazões Afluentes*

#### **Análise por açude**

A rede de monitoramento brasileira, seja pluviométrica ou fluviométrica, ainda é considerada pequena, mal distribuída espacialmente e com séries não muito longas, o que dificulta a disponibilidade de dados de vazão ou séries suficientemente longas para um determinado local de interesse (ALEXANDRE; MARTINS, 2005; CLARKE; DIAS, 2002; KRAUSKOPF NETO et al., 2007; SILVEIRA et al., 1998). Nestes casos, o uso de

informações regionais torna-se importante para a obtenção de parâmetros mais precisos em locais com séries curtas ou sem dados. As bacias deste estudo, como dito anteriormente, são bacias monitoradas, tornando a aplicação dos modelos chuva-vazão uma tarefa relativamente simples.

Silva et al. (2010c) afirmam a importância da regionalização de vazões como sendo um instrumento preciso para viabilizar as concessões de outorga em grandes rios, no Estado de Minas Gerais.

Apresenta-se nas Tabelas 5 a 14 o desempenho dos modelos, comparando-se as vazões medidas e as simuladas, por açude, representados graficamente nas Figuras 30 e 31. Nas figuras, para uma melhor visualização da distribuição, foram excluídos os açudes Pau Preto e Gomes, cuja ordem de grandeza das vazões são bem superiores às dos demais açudes. Podem ser observados valores altos de coeficientes de variação, mesmo nas vazões medidas, que mostram grande dispersão de valores. Este fato pode ser atribuído à grande variabilidade pluviométrica do período de observação e, conseqüentemente, de escoamento ocorrido.

**Tabela 5** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Santo Antonio, Ceará ( $A=3,20 \text{ km}^2$ ).

Ano	Chuva (m)	Qmed ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	Vazão simulada ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ )			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,683	0,792	1,446	4,052	0,485	1,277
2005	0,695	0,107	0,176	0,155	0,112	0,314
2006	1,076	0,537	0,574	0,547	1,261	0,691
2007	0,934	0,310	0,397	0,343	1,261	0,567
2008	1,513	0,865	1,218	2,312	1,242	1,342
2009	1,664	1,566	1,423	3,805	1,569	1,697
2010	0,293	0,212	0,034	0,041	0,161	0,113
<b>Média</b>		0,627	0,753	1,608	0,870	0,857
<b>CV</b>		0,802	0,796	1,095	0,689	0,686

\*Qmed corresponde à vazão medida, em  $\text{hm}^3/\text{a}$ .

**Tabela 6** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Jatobá, Ceará ( $A=22,00 \text{ km}^2$ ).

Ano	Chuva (m)	Qmed ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )	Vazão simulada ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ )			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,186	4,917	4,995	6,059	1,135	3,430
2005	0,642	0,235	0,991	1,008	0,393	0,597
2006	0,742	0,766	1,439	1,403	1,666	0,729
2007	0,475	0,822	0,506	0,581	2,293	0,296
2008	1,177	2,162	4,910	5,889	12,586	2,232
2009	0,964	2,006	2,985	2,916	8,042	1,920
2010	0,546	0,653	0,678	0,735	1,848	0,271
<b>Média</b>		1,651	2,358	2,656	3,995	1,353
<b>CV</b>		0,974	0,827	0,901	1,139	0,888

\*Qmed corresponde à vazão medida, em  $\text{hm}^3/\text{a}$ .

**Tabela 7** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Do Coronel (A=26,17 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	0,813	4,460	2,192	2,376	2,936	5,069
2005	0,446	0,125	0,532	0,707	0,126	0,766
2006	0,654	0,150	1,232	1,403	0,625	1,729
2007	0,591	0,641	0,964	1,140	0,625	1,378
2008	0,520	0,715	0,725	0,903	0,604	1,144
2009	0,807	1,713	2,146	2,328	1,219	2,662
2010	0,270	0,112	0,251	0,395	0,179	0,350
<b>Média</b>		1,131	1,149	1,322	0,902	1,871
<b>CV</b>		1,391	0,664	0,584	1,071	0,850

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

**Tabela 8** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Pau Preto, Ceará (A=804,61 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	0,883	37,605	84,971	73,804	148,059	43,778
2005	0,460	0,088	17,370	18,250	2,324	1,135
2006	0,624	0,778	33,797	31,355	57,234	2,830
2007	0,519	1,329	22,189	22,173	56,153	1,404
2008	0,721	21,843	48,735	43,199	109,148	3,383
2009	0,916	34,490	94,339	82,295	95,029	20,370
2010	0,534	0,652	23,595	23,298	51,056	0,426
<b>Média</b>		13,826	46,428	42,054	74,143	10,475
<b>CV</b>		1,234	0,675	0,618	0,638	1,552

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

**Tabela 9** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Valério, Ceará (A=60,00 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,252	23,620	15,456	22,307	20,865	16,613
2005	0,584	0,261	2,153	2,461	1,254	0,920
2006	1,228	8,974	14,781	20,595	25,492	9,158
2007	0,896	1,350	6,590	6,883	14,357	4,115
2008	1,025	6,052	9,525	10,550	10,615	5,610
2009	0,985	6,097	8,679	9,255	7,091	5,271
2010	0,796	0,428	4,732	4,947	9,209	1,436
<b>Média</b>		6,683	8,845	11,000	12,698	6,160
<b>CV</b>		1,224	0,558	0,694	0,653	0,872

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

**Tabela 10** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Gomes, Ceará (A=31,43 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,000	16,441	4,745	4,688	7,532	8,120
2005	0,374	1,141	0,472	0,594	1,836	1,038
2008	0,737	11,631	2,017	1,969	9,889	2,084
2009	0,400	2,256	0,528	0,648	3,867	0,964
2010	0,251	1,235	0,277	0,395	2,966	0,388
<b>Média</b>		6,541	1,608	1,659	5,218	2,519
<b>CV</b>		1,080	1,173	1,088	0,646	1,267

\* Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

\*\*Os anos de 2006 e 2007 foram retirados por apresentarem falhas nos dados pluviométricos.

**Tabela 11** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Penedo, Ceará (A=8,27 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,297	7,078	2,307	3,094	2,462	3,570
2005	0,465	0,584	0,182	0,199	0,457	0,366
2006	1,023	0,908	1,306	1,251	1,083	1,851
2007	1,288	0,847	2,272	3,003	1,776	2,161
2008	1,385	1,415	2,652	4,131	1,466	3,976
2009	1,617	6,522	3,523	8,876	3,775	6,575
2010	0,604	0,210	0,322	0,314	0,241	0,965
<b>Média</b>		2,509	1,795	2,981	1,608	2,781
<b>CV</b>		1,179	0,691	1,006	0,759	0,760

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

**Tabela 12** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS para a bacia hidrográfica do açude Tatajuba, Ceará (A=22,09 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,016	2,869	3,430	3,311	1,798	1,567
2005	0,439	0,313	0,436	0,492	0,886	0,106
2006	0,578	1,100	0,774	0,780	0,324	0,111
2007	0,718	0,347	1,323	1,237	0,324	0,267
2008	1,304	2,629	6,231	8,558	0,921	2,705
2009	1,023	5,702	3,489	3,386	4,907	1,892
2010	0,848	1,196	2,079	1,900	7,135	0,265
<b>Média</b>		2,023	2,537	2,809	2,328	0,988
<b>CV</b>		0,944	0,797	0,990	1,138	1,069

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

**Tabela 13** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/D para a bacia hidrográfica do açude Madeiro, Ceará (A=9,86 km<sup>2</sup>).

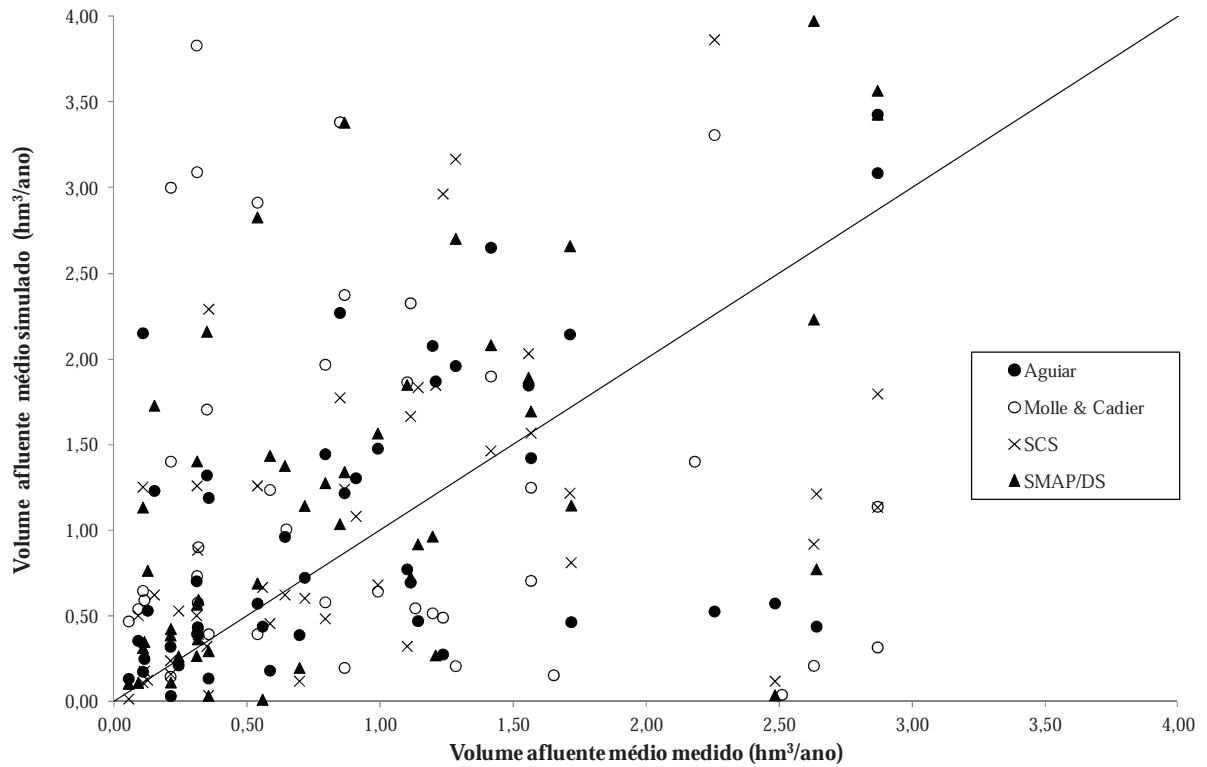
Ano	Chuva (m)	Qmed (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	1,003	0,990	1,479	1,258	0,683	0,775
2005	0,352	0,053	0,135	0,147	0,017	0,013
2006	0,586	0,089	0,356	0,318	0,504	0,038
2007	0,767	0,309	0,704	0,579	0,504	0,198
2008	1,122	1,283	1,961	1,867	3,169	1,147
2009	1,095	1,557	1,848	1,708	2,034	0,985
2010	0,461	0,241	0,214	0,211	0,531	0,035
<b>Média</b>		0,646	0,957	0,870	1,063	0,456
<b>CV</b>		0,957	0,824	0,839	1,054	1,088

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.

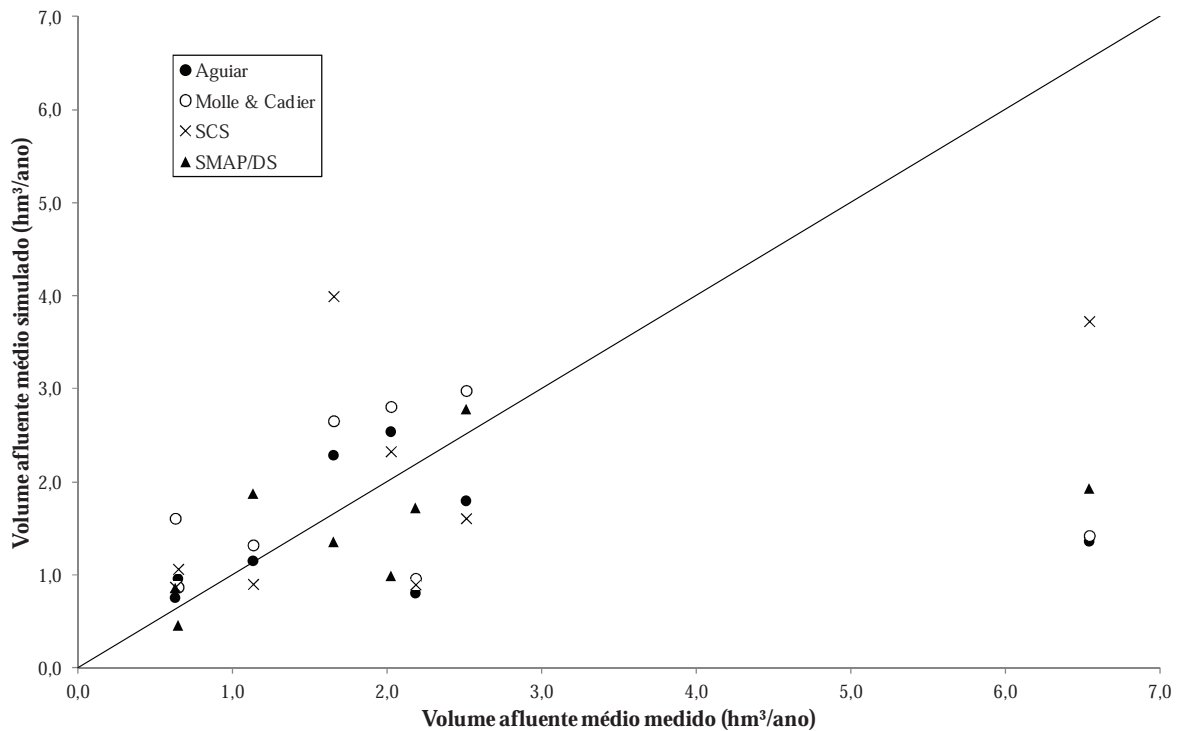
**Tabela 14** – Desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/D para a bacia hidrográfica do açude São Domingos, Ceará (A=15,62 km<sup>2</sup>).

Ano	Chuva (m)	Qobs (hm <sup>3</sup> /a)	Vazão simulada (hm <sup>3</sup> /ano)			
			Aguiar	Molle & Cadier	SCS	SMAP/DS
2004	0,524	2,640	0,440	0,517	1,214	1,888
2005	0,524	0,557	0,440	0,517	0,668	0,915
2006	0,591	2,483	0,575	0,644	0,120	1,365
2007	0,495	0,695	0,390	0,470	0,120	0,880
2008	0,538	1,717	0,466	0,542	0,813	1,053
2009	1,131	6,826	3,168	3,833	3,301	5,672
2010	0,249	0,353	0,137	0,209	0,038	0,257
<b>Média</b>		2,182	0,802	0,962	0,896	1,719
<b>CV</b>		1,030	1,311	1,324	1,279	1,055

\*Qmed corresponde à vazão medida, em hm<sup>3</sup>/a.



**Figura 30** – Diagrama de dispersão para as vazões simuladas, por ano, pelos modelos hidrológicos para as bacias hidrográficas estudadas no Ceará, período de 2004 a 2010.



**Figura 31** – Diagrama de dispersão para as médias das vazões simuladas pelos modelos hidrológicos para as bacias hidrográficas estudadas no Ceará, período de 2004 a 2010.



Na amostra de açudes utilizada, embora tratando de pequenos açudes com capacidade de acumulação de até  $3 \text{ hm}^3$ , os tamanhos de suas bacias hidrográficas são bastante variados, indo de pequenas bacias, como a do açude Santo Antonio, de  $3,2 \text{ km}^2$ , até a bacia do açude Pau Preto com área de  $804 \text{ km}^2$ . Machado et al. (2003) indicam, no caso de bacias maiores, a discretização da bacia, ou seja, tratá-la como diversas microbacias, cada uma com suas características de uso da terra e solo dominante, como forma de atenuar os erros.

Para tanto, na busca de soluções eficientes para uma melhor representação da transformação da precipitação em descarga, vários estudos têm sido apresentados, desde a utilização de critérios de subdivisões espaciais da bacia, até a busca de parâmetros que visam descrever a variação dos processos físicos envolvidos (COSTA NETO, 2005). Alguns modelos hidrológicos já consideram esse aspecto, como o AÇUMOD (PASSERAT DE SILANS, 1998) e o MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001).

O fato de a bacia ser grande, como no caso do açude Pau Preto, dificulta a correta avaliação dos parâmetros de entrada dos modelos hidrológicos e isto pode ter influenciado nas simulações dos modelos mais sensíveis a fatores ambientais, como a modificação ou retirada da vegetação. O método de Molle e Cadier, por exemplo, possui grande sensibilidade aos fatores corretivos do parâmetro  $L_{600}$ , portanto uma pequena variação na cobertura vegetal, por exemplo, pode alterar significativamente a simulação dos volumes escoados na bacia. Lima Júnior et al. (2009) comprovaram a afirmativa, em simulações de afluências na bacia do açude Sumé, constatando variações de até 50% nos volumes escoados quando da mudança da classificação da cobertura vegetal de uma das pequenas bacias.

Lajoie et al. (2007) atribuíram as alterações das vazões simuladas na bacia do rio Saint-Lawrence, em Québec, ao tamanho da bacia hidrográfica e à sazonalidade. Já Almeida et al. (2009) relacionaram a cobertura florestal às alterações das respostas hidrológicas da bacia do Córrego do Galo, no Espírito Santo.

Cecchi et al. (2009) citam que a diferença nas respostas hidrológicas não estão relacionadas apenas às características físicas das bacias. O uso do solo pode exercer papel fundamental nas alterações do regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, bem como as queimadas, as práticas de agricultura e pecuária, os desmatamentos, a urbanização, enfim, as mais diversas atividades antrópicas.

### **Erros Centrais e Distribuídos**

A Tabela 15 apresenta a análise comparativa do desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS, utilizados neste estudo.

**Tabela 15** – Análise comparativa do desempenho dos modelos hidrológicos de Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS, aplicados a dez pequenos açudes monitorados no Ceará.

	Santo Antonio	Jatobá	Do Coronel Pau Preto	Valério	Gomes	Penedo	Tatajuba	Madeiro	São Domingos	
<b>Coefficiente de Nash e Sutcliffe</b>										
Aguiar	0,593	0,379	0,542	-4,099	0,580	-0,301	0,321	0,084	0,555	0,221
Molle & Cadier	-10,709	-0,101	0,529	-2,589	0,445	-0,299	0,358	-0,925	0,751	0,396
SCS	-0,099	-9,553	0,811	-17,463	-0,368	0,359	0,433	-0,868	-0,822	0,296
SMAP/DS	0,745	0,605	0,764	0,681	0,640	0,227	0,095	0,206	0,799	0,792
<b>Erro relativo médio</b>										
Aguiar	0,451	0,900	1,856	42,093	3,311	0,747	0,763	0,884	1,020	0,590
Molle & Cadier	0,789	0,993	2,487	42,883	3,671	0,706	0,988	0,976	0,880	0,496
SCS	0,789	2,010	0,655	32,191	5,263	0,774	0,394	1,247	1,326	0,637
SMAP/DS	0,605	5,166	0,655	0,932	3,467	2,578	5,202	0,988	1,326	0,608

Analisando a eficiência de Nash e Sutcliffe, considerado um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliação da precisão de modelos hidrológicos (MACHADO et al., 2003), podemos observar que o modelo hidrológico que apresentou melhor desempenho, quando comparado com os resultados dos outros modelos aplicados, foi o SMAP/DS, com coeficientes iguais ou superiores a 0,60 em 70% dos resultados obtidos, de acordo com a Tabela 15. Assim, o modelo SMAP/DS pode ser considerado de boa precisão, segundo Collischonn e Tucci (2003).

No entanto, o modelo SMAP/DS não correspondeu satisfatoriamente à reprodução dos padrões hidrológicos referentes aos açudes Gomes, Penedo e Tatajuba, apresentando eficiência abaixo de 30%. Tais resultados podem ser atribuídos às distorções nos dados referentes ao monitoramento, gerando erros na parametrização ou à própria limitação do modelo. Barros (2010), em aplicação do modelo SMAP para pequenas bacias hidrográficas não monitoradas localizadas na bacia do açude Sumé, procurou minimizar os erros do modelo calibrando os parâmetros para os grandes açudes monitorados da Paraíba.

Haan (1989) afirma que as incertezas dos modelos hidrológicos podem ser decorrentes dos modelos de entrada e saída, da estrutura do modelo e dos parâmetros utilizados. Silveira et al. (1998) corroboram com tal afirmativa, complementando que a incerteza da estrutura do modelo é causada pela limitação da representação dos processos, enquanto a incerteza dos parâmetros é resultado de inadequadas técnicas de estimativa dos dados utilizados e variabilidade temporal e espacial dos parâmetros.

Hughes (2004) afirma que avaliações rápidas da disponibilidade dos recursos hídricos na África do Sul têm sido facilitadas pela considerável disponibilidade de dados de vazões mensais, mas isto somente para grandes bacias hidrográficas. Por isso, para previsões de vazões em bacia menores é necessária a aplicação de técnicas e regionalização através de

modelos hidrológicos. O autor relata, ainda, que os métodos aplicados até agora para bacias de pequeno porte têm sido limitados, com baixa confiabilidade nas estimativas e aponta a necessidade de um método mais seguro para diferentes intensidades de vazões, independente do tamanho da bacia em estudo.

Silva et al. (2010a) utilizaram o modelo SMAP mensal para simulações em 123 açudes monitorados da Paraíba e o seu desempenho foi considerado apenas como razoável, tendo sido relacionado os seus resultados ao processo de avaliação dos parâmetros, às casualidades e aos dados de entrada. Os autores indicam, ainda, que melhores resultados podem ser obtidos com o modelo em sua versão diária.

Diniz e Clarke (2001) apresentaram resultados de regionalização de parâmetros do modelo SMAP em 14 bacias do semiárido nordestino, estabelecendo a relação entre os parâmetros calibrados e as características físicas das bacias através do uso de uma rede neural artificial. A correlação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo SMAP obtiveram coeficientes de determinação entre 73,5 e 98,8%, com média igual a 90,7% para as bacias estudadas.

Yatheendradas et al. (2008), em aplicação de modelo chuva-vazão no semiárido Norte Americano, observaram inconsistências nos seus resultados, que simularam vazões superiores às registradas na área. Tais resultados foram associados à incerteza na determinação dos parâmetros de entrada do modelo, como a precipitação e à estimativa da umidade inicial do solo.

Silva et al. (2011) apontam que os erros nas estimativas chuva-vazão podem ser oriundos, além das incertezas dos dados de entrada, pelos erros de medição. Silveira et al. (1998) corroboram com a afirmação, reforçando que quando se tem erros de precipitação e vazão, os mesmos são transferidos aos parâmetros dos modelos hidrológicos e aos seus resultados. Portanto, quanto maior a série de vazões, menores serão as incertezas. Indicam, ainda, que a incerteza envolvida em todo o processo de calibração de modelos hidrológicos não se restringe apenas aos parâmetros, mas também aos dados e à adequação do modelo ao problema.

Götzinger e Bárdossy (2007), ao aplicarem e compararem quatro modelos de regionalização no sudoeste da Alemanha, apontaram que as incertezas dos dados de entrada podem influenciar significativamente nas simulações. Yair e Raz-Yassif (2004) reforçam a necessidade de dados confiáveis para conhecimento dos processos chuva-vazão em pequenas bacias hidrográficas inseridas em áreas áridas ou semiáridas.

O modelo SCS, no âmbito dessa tese, não se mostrou muito eficiente na simulação das vazões, por limitações conceituais; e/ou por falhas nas séries de vazões e de chuvas, já que o modelo é muito sensível a eventos extremos de precipitação, que afetam fortemente o armazenamento de água no solo. Outra possível fonte de incerteza é a atribuição do CN. Esse fato pode ter sido um dos fatores responsáveis pelas superestimativas das vazões simuladas em três dos dez açudes (Valério, Pau Preto e Madeiro).

Mello et al. (2003) atribuem os erros do emprego do modelo SCS aos dados das propriedades do solo e do uso da terra, ou seja, os erros na determinação da variabilidade espacial dos parâmetros da bacia hidrográfica. Tucci (2003), em aplicação do método em microbacias hidrográficas, encontrou erros do modelo SCS nas bacias onde houve aumento das enchentes devido à substituição da vegetação de grande porte por culturas anuais e pastagem. Montenegro et al. (2009) utilizaram o modelo do SCS para simular o escoamento na Ilha de Fernando de Noronha e seus resultados representaram adequadamente a geração de deflúvios diários na Bacia do Xaréu, no ano de 2004, para um valor de CN situado entre 70 e 75.

Com relação às simulações realizadas pelo modelo empírico de Aguiar (1940), pode-se dizer que não foram consideradas satisfatórias. O modelo é válido para valores de médias anuais pluviométricas, portanto, em alterações climáticas que aumentem o escoamento superficial, como o aumento da precipitação ou da evaporação, o modelo não consegue se aproximar dos processos reais, conforme citado por Campos e Studart (2001).

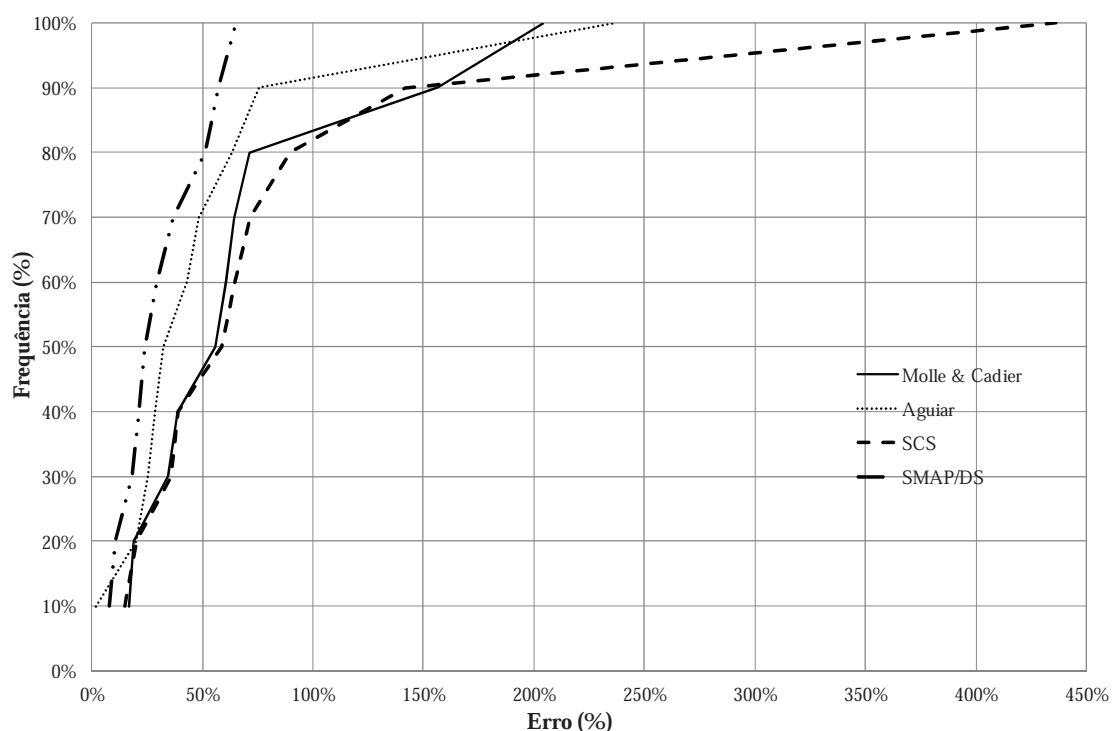
Mugabe et al. (2007a) compararam as respostas hidrológicas de duas pequenas bacias hidrográficas do Zimbábue e seus resultados confirmam que a resposta hidrológica é fortemente dependente da precipitação e da evaporação, mas ressaltaram, também, que a distribuição das chuvas e a variabilidade do tipo de solo são fatores críticos para geração de escoamento.

A precisão dos resultados fornecidos pelas simulações do modelo de Molle e Cadier, pode ser considerada inferior a de outros modelos hidrológicos, considerados clássicos e mais completos, porém ainda é um método prático, rápido e de baixo custo (SILVA, 2000). De fato, dos resultados obtidos, somente em dois açudes (Do Coronel e Madeiro), dos dez estudados, foram considerados satisfatórios.

Os altos percentuais de erros no âmbito dessa tese podem ter ocorrido devido à pequena série de dados, de sete anos. Além disso, fatores como a alta variabilidade interanual desse período e a sazonalidade intrínseca ao semiárido, com vazões somente em período chuvoso.

É importante lembrar que os erros dos modelos também podem estar associados às irregularidades temporais de chuvas no semiárido. O exemplo disso é que no período de verificação deste estudo foram observados anos de totais pluviométricos acima da média, como em 2004 e 2009, e um ano abaixo da média, 2010. Portanto, os modelos sensíveis à sazonalidade podem apresentar maiores erros nas suas estimativas. Lima e Alves (2009) sugerem que a precipitação, como dado de entrada em modelos hidrológicos chuva-vazão, deve ser utilizada na escala intrasazonal, devendo subsidiar melhor gestão de uso de água superficial em bacias hidrográficas do Nordeste.

Confirmando o que já foi exposto, o modelo SMAP/DS apresentou o melhor desempenho, com 90% dos açudes com erro máximo de até 57%. Para os modelos de Aguiar, Molle e Cadier e SCS, 70% dos açudes apresentaram erros de até 28%, 65% e 71%, respectivamente. A Figura 32 apresenta as curvas de frequência de erros acumulados resultantes da aplicação dos modelos hidrológicos. Os modelos apresentaram a mesma tendência (inclinações semelhantes) até a frequência de 80%, a partir de onde se observou mudança de gradiente.



**Figura 32** – Curvas de frequência de erros acumulados na aplicação de quatro modelos hidrológicos (Aguiar, Molle e Cadier, SCS e SMAP/DS) dos modelos hidrológicos aplicados a dez pequenos açudes monitorados do Ceará.

Em relação ao modelo de Molle e Cadier, a mudança de gradiente foi causada pelos açudes Santo Antonio, que apresentou erro de 156% e Pau Preto, com erro de 204%. Nos modelos de Aguiar, a mudança de gradiente foi do açude Pau Preto, com erro de 235% e no modelo SCS, além do açude Pau Preto, com erro de 436%, o açude Jatobá apresentou erro de 141%. Tais resultados envolvendo o açude Pau Preto, podem ter sido causados pelo tamanho da bacia hidrográfica do açude, reforçando o exposto anteriormente sobre a necessidade de discretização de grandes bacias hidrográficas.

Andrade et al. (2004), em estudo de regionalização de vazões médias no Ceará, associaram os maiores erros dos resultados à área de drenagem da bacia. Seus resultados indicam que os erros tendem a ser maiores para grandes valores de área de drenagem.

### *3.3.3. Análise da disponibilidade hídrica*

Em uma política holística e sustentável de recursos hídricos, os fatores hidrológicos e ecológicos crescem em importância, com relação aos tradicionais fatores administrativos, econômicos e políticos (CRUZ, 2001). Sob esta ótica, o conceito de disponibilidade hídrica, uma das muitas variáveis a serem consideradas na atividade de gerenciamento de recursos hídricos, apresenta diferentes interpretações. O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais (SILVA et al., 2006).

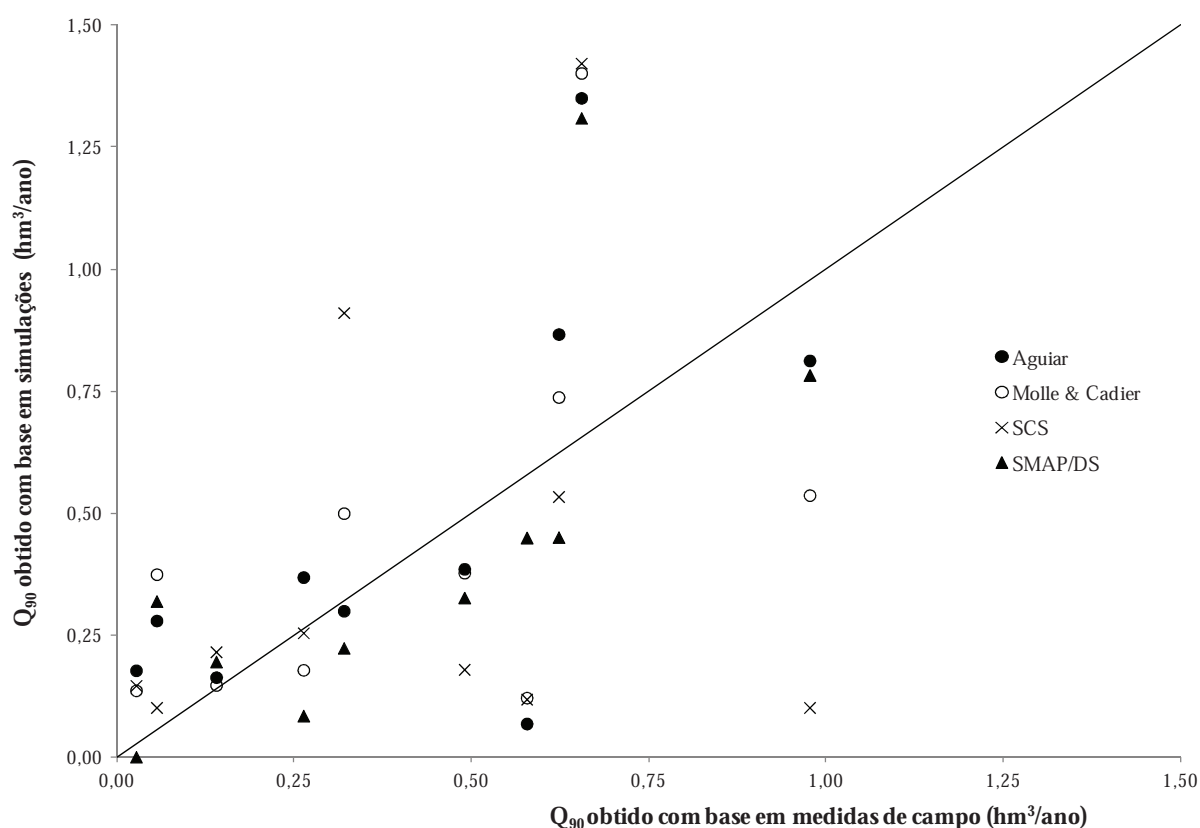
Em regiões onde há limitação da disponibilidade hídrica, a alocação de água para usos múltiplos requer o uso de metodologias que contemplem a complementariedade existente entre o caráter estocástico da disponibilidade hídrica, geralmente representada por uma estimativa de vazão associada a um determinado risco de falha, e as diferentes garantias requeridas pelos vários tipos de uso (ASFORA; CIRILO, 2005). A disponibilidade hídrica pode ser impactada de acordo com duas perspectivas: a mudança da confiabilidade na vazão regularizável e a mudança na vazão disponível, dado um nível de confiança (ARAÚJO et al., 2006). Entre os fatores que podem reduzir a disponibilidade hídrica dos reservatórios superficiais podem ser citados o assoreamento, a poluição, a derivação de água e a construção de múltiplos reservatórios a montante (ARAÚJO, 2011; MALVEIRA et al., 2012; VAN OEL et al., 2008).

Apesar do seu papel na distribuição espacial da disponibilidade hídrica, estima-se que os pequenos reservatórios tendem a ter uma baixa eficiência se comparados aos grandes, que representam reservas estratégicas em um regime hidrológico com elevada variabilidade, típico do semiárido brasileiro (MALVEIRA et al., 2012). Isto também pode ser comprovado

por simulações de Costa et al. (2009) que, ao analisarem a sensibilidade das vazões regularizáveis de três reservatórios no Alto Jaguaribe, Ceará, constataram a forte influência do regime de vazões sobre a disponibilidade hídrica.

Para a verificação do equilíbrio entre oferta e demanda de água numa bacia hidrográfica e, assim, ser possível detectar situações de conflito pelo uso da água entre os diversos usuários, é importante a verificação do volume de água captada não exceder a capacidade de regulação do sistema hidrológico (GARCIA et al., 2007), que no caso do Estado do Ceará é determinado no cálculo da  $Q_{90}$ .

Nesse trabalho foram realizadas simulações considerando-se a garantia de 90% ( $Q_{90}$ ), de acordo com a legislação que regulamenta a outorga no Estado do Ceará, para as vazões medidas e para as vazões simuladas por cada um dos modelos hidrológicos empregados, conforme demonstra a Figura 33.



**Figura 33** – Diagrama de dispersão para as vazões  $Q_{90}$  obtidas com base em simulações e as vazões  $Q_{90}$  com base em medidas de campo para os dez pequenos açudes estudados no Ceará.

Analisando-se a Figura 33, pode-se constatar semelhante tendência da Figura 31, ou seja, as vazões regularizadas  $Q_{90}$  simuladas com dados obtidos pelas simulações modelo



SMAP/DS fornecem vazões mais próximas das obtidas com base nas medições, comprovando a confiabilidade do modelo para a gestão da oferta de água.

A Tabela 16 mostra os resultados das simulações de disponibilidade hídrica com garantias de 85%, 90% e 99%, realizadas através do modelo VYELAS (ARAÚJO et al. 2006), além das vazões outorgáveis, e sua relação com a capacidade de acumulação dos reservatórios ( $V/Q_{out}$ ) e o volume afluente médio anual ( $Q_{out}/Q_A$ ).

**Tabela 16** – Simulações da disponibilidade hídrica com garantias de 85%, 90% e 99%, vazões outorgáveis ( $Q_{out} = 0,90 * Q_{90}$ ), sua relação com a capacidade de acumulação dos reservatórios ( $V/Q_{out}$ ) e o volume afluente médio anual ( $Q_{out}/Q_A$ ).

Açude	$Q_{85}$	$Q_{90}$	$Q_{99}$	$Q_{out}$	$V/Q_{out}$	$Q_{out}/Q_A$
		(hm <sup>3</sup> /ano)			(ano)	(-)
Santo Antonio	0,226	0,203	0,096	0,183	4,554	0,213
Jatobá	0,154	0,119	0,025	0,107	9,991	0,079
Do Coronel	0,400	0,320	0,100	0,288	6,146	0,154
Pau Preto	0,994	0,725	0,000	0,653	2,772	0,062
Valério	1,190	1,027	0,000	0,924	2,185	0,150
Gomes	0,888	0,783	0,496	0,705	3,392	0,280
Penedo	1,056	0,946	0,616	0,851	2,835	0,306
Tatajuba	0,550	0,465	0,211	0,419	6,499	0,424
Madeiro	0,098	0,073	0,000	0,066	42,770	0,144
São Domingos	0,531	0,450	0,193	0,405	7,494	0,236

Na Tabela 16, para o período analisado, as vazões de referência  $Q_{90}$  foram estimadas com base nas vazões simuladas pelo modelo SMAP/DS, que apresentou melhor desempenho nas simulações realizadas neste estudo. Para o período analisado, as vazões de referência  $Q_{90}$  estimadas foram inferiores à vazão média medida, o que garante que não deverá ser outorgada quantidade superior à capacidade de fornecimento. Os resultados obtidos nas estimativas confirmam a confiabilidade do modelo para subsidiar a gestão de pequenos sistemas não monitorados.

Araújo e Gonzalez Piedra (2009) afirmam que, no 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. Neste estudo, de acordo com os valores constantes na Tabela 16, os açudes estão disponibilizando entre 6% (Pau Preto) e 42% (Madeiro).

Nas estimativas de disponibilidade hídrica, a aplicação do modelo VYELAS para

simulações das vazões com 85%, 90% e 99% de garantia anual para os dez pequenos açudes, demonstram que alguns açudes (Pau Preto, Valério e Madeiro) não conseguem regularizar vazões com 99% de garantia e isto se deve a sua eficiência relativa e a maior susceptibilidade ao regime de vazões. Campos et al. (2003) explicam que as interferências significativas na eficiência dos pequenos açudes do semiárido são devido às altas taxas de evaporação e às irregularidades das vazões naturais dos rios.

As legislações estaduais que fixam a vazão máxima outorgável, por meio das vazões de referência, provavelmente o fazem por questões de segurança de fornecimento de água para os mais diversos fins, facilitando a operacionalização e a fiscalização do sistema. Camara (2003) afirma que a grande vantagem de se utilizar vazões de referência é o controle da probabilidade de falhas de suprimento. No caso do Estado do Ceará, de acordo com o limite fixado por sua legislação de recursos hídricos, em princípio sabe-se que em 90% do tempo os valores outorgados poderão ser cumpridos.

Observando ainda as vazões nas diversas garantias, expostas na Tabela acima, constata-se que a “obrigatoriedade” de outorgar com base no  $Q_{90}$  pode estar limitando bastante a expansão de algumas atividades, na maior parte do tempo. Provavelmente, pensando nessa limitação, a barragem de Poilão, localizada em Cabo Verde, alvo de estudo de Teixeira (2011), foi projetada considerando-se uma vazão de retirada para 85% de garantia, para fins de implantação de uma área para irrigação a jusante. O ideal seria o que foi sugerido por Ribeiro (2000) para sistemas em expansão, para fins de planejamentos produtivos, que a vazão liberada fosse constituída de uma parte fixa e outra variável, ou seja a vazão condicionada.

Portanto, o conhecimento e a interpretação do comportamento hidrológico de um sistema para fins de planejamento e gestão são de suma importância, não só para as concessões de outorga, mas também para gestão de conflitos (MAURIZ et al, 2007). É importante ressaltar, ainda, a necessidade de estudos sobre a real disponibilidade hídrica das pequenas bacias no período de estiagem, época de maiores taxas de evaporação e em que retiradas se tornam mais intensas para atender aos diversos usos. Pruski e Pruski (2011) sugerem a utilização de critérios baseados nas vazões mensais, que podem fornecer um plano de utilização da água, na 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.

Para um aproveitamento seguro das águas dos pequenos açudes, além do conhecimento de suas vazões regularizadas, deve-se ter um cadastro de usuários atualizado. É

imprescindível, portanto, que todos os usos sejam outorgados. Desta feita, é possível ter o conhecimento do montante outorgado e a disponibilidade hídrica, gerindo, assim, o balanço oferta *versus* demanda.

### 3.4 Conclusões

Diante dos resultados obtidos por este estudo, pode-se concluir que:

- Nas estimativas da capacidade máxima dos reservatórios através de dados obtidos por sensoriamento remoto, a equação de Molle foi o método que apresentou melhores resultados, mostrando confiabilidade na aplicação a reservatórios sem dados de projeto;
- Nas estimativas de vazões afluentes, o modelo que melhor reproduziu os padrões hidrológicos das áreas estudadas foi o SMAP, com parametrização por mineração de dados, de acordo com Diniz e, posteriormente, com Souza (DS), o que sugere segurança na sua aplicação em açudes não monitorados;
- As diferenças entre os valores de vazão simulados e os medidos podem ser atribuídas aos parâmetros e variáveis exigidos pelos modelos, a possíveis inexatidões de medição de vazões e séries de chuva e evaporação, além do curto tempo de observação utilizado no estudo (sete anos);
- As simulações da disponibilidade hídrica, realizadas através do modelo VYELAS, com garantias anuais de 85%, 90% e 99%, indicaram que três dos dez açudes não conseguem regularizar vazões significativas com 99% de garantia anual, comprovando a inclinação a uma baixa eficiência dos pequenos açudes;
- Devido à sua baixa eficiência em anos secos e sua maior susceptibilidade ao regime de vazões, a outorga e, portanto, a avaliação de disponibilidade hídrica deve ser feita anualmente, como forma de garantir que não deverá ser outorgada quantidade superior à capacidade de disponibilização e podendo fornecer a segurança do atendimento aos usos propostos;
- O método de Molle para estimativa da capacidade de reservatórios e os modelos SMAP/DS e VYELAS, de transformação chuva-vazão e disponibilidade hídrica, respectivamente, podem ser aplicados com confiabilidade a pequenos sistemas não monitorados;

- Um banco de dados consistente aliado a estudos hidrológicos eficientes propicia o conhecimento de um sistema hídrico e se constitui de condição primordial para o seu gerenciamento. Portanto, os estudos realizados neste capítulo são considerados importantes auxiliares do processo de gestão da oferta de água.

## 4. MODELO DE GESTÃO DOS PEQUENOS SISTEMAS

### 4.1. Introdução

O desequilíbrio entre oferta e demanda de água, principalmente nas regiões semiáridas, tem se acentuado nos últimos tempos e imposto aos pesquisadores a busca por soluções cada vez mais elaboradas, exigindo regras eficientes de operação de reservatórios, mesmo os de pequeno porte, e de alocação das águas, com a finalidade de atender aos múltiplos usos e aos mais diversos usuários (CURI et al., 1997)

Conforme explorado nos capítulos anteriores, os pequenos açudes inseridos em regiões semiáridas contribuem para o aproveitamento das águas pluviais, para o controle de inundações, para a recarga de aquíferos, nas áreas que dispõem de água subterrânea e, sobretudo, para a melhoria da disponibilidade de água para as comunidades rurais (AIT IHAJ et al., 2009; AKO et al., 2010; MAMBA et al., 2007; MECHERGUI, 2000; WISSER et al., 2010).

Porém, a sustentabilidade hídrica de pequenos sistemas só pode ser alcançada através de estudos que associem a gestão da oferta e da demanda, disciplinando os usos, de modo a tornar o açude eficiente para as necessidades das comunidades (FEUILLETTE, 2001). Tal afirmação é reforçada por Silva e Pruski (2000), que definem a gestão das águas como a articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos e políticos objetivando a compatibilização do uso, do controle e da proteção desse recurso, disciplinando as ações antrópicas de acordo com a política estabelecida para a mesma.

A gestão das águas no Brasil tem como legislação vigente a Lei Federal Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, através dos seguintes instrumentos de gestão: I) Os Planos de Recursos Hídricos; II) O enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; III) A outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; IV) A cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e V) Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. A Lei preconiza que a gestão das águas deva ser realizada de modo integrado, descentralizado e participativo, cabendo aos Estados, de acordo com as suas peculiaridades regionais, implementarem a sua gestão, de acordo com a sua legislação própria.

Os principais objetivos da introdução desses instrumentos de gestão são o comprometimento consciente da sociedade e dos usuários dos recursos hídricos com os planos, programas e instrumentos legais requeridos para o desenvolvimento da bacia hidrográfica (SETTI et al., 2000). A sua implantação exige capacidade técnica, política e

institucional, além da garantia à participação no processo de alocação/gestão, por se tratar de um processo organizativo-social (PEREIRA, 2003).

Nesse contexto, a política de recursos hídricos do Ceará, marcada pela busca de um modelo próprio ao semiárido brasileiro, foi definida pela Lei Estadual Nº 11.966/1992, recentemente revogada pela Lei Nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010. Nessa legislação, o Estado enfatiza a gestão da demanda, englobando a formalização do direito de uso, a cobrança de água, as campanhas educativas e a descentralização das decisões através do incentivo da participação dos usuários nos comitês de bacias. Para a efetivação das ações de gestão, foi criada em 1993 (Lei Nº 12.217/1993) a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - Cogerh, vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos – SRH. A Cogerh é o órgão que desempenha o papel de agência executiva e operacional, nas funções de coordenação, regulação e controle do gerenciamento das águas de todo o Estado (CHACON, 2007; COSTA, 2003).

Os comitês, por sua vez, têm poder consultivo e deliberativo e representam a instância mais importante de participação e integração do planejamento e das ações na área dos recursos hídricos (SOUZA FILHO, 2001). Sua formação é ponto fundamental na gestão, pois visa a participação dos usuários e suas deliberações acerca da definição de políticas, prioridades e gestão de interesses conflitantes (CHACON, 2007).

Nos grandes açudes, considerados estratégicos, todo o processo de alocação de água é realizado a partir da operação destes reservatórios. São realizados seminários, conduzidos pela Cogerh/SRH e DNOCS com os usuários, representantes dos Comitês de Bacias e/ou das Comissões de Usuários dos grandes vales perenizados, nos quais são discutidas, com base na disponibilidade hídrica existente, as regras de operação de cada reservatório (VIANNA et al., 2006). No caso de açudes não monitorados, os procedimentos de alocação só são realizados quando são constatados conflitos, então o processo é realizado com as Associações de Usuários ou Associações Comunitárias.

Tal processo é corroborado por Johnson et al. (2001), que afirmam que a gestão participativa de bacias hidrográficas, em qualquer escala, deve ser um processo que envolva diretamente as partes interessadas, que devem negociar em conjunto como serão definidos seus interesses, suas prioridades, avaliando alternativas e implantando e monitorando os resultados.

Assim, os modelos de gestão dos recursos hídricos aplicados em regiões áridas e semiáridas do mundo tentam atender a divergentes perspectivas para os problemas de escassez de água, porém suas causas e soluções podem exacerbar as controvérsias nas

tomadas de decisão (LARSON et al., 2009). Porém, o gerenciamento dos recursos hídricos é de caráter multidisciplinar e multiescalar e as dificuldades surgem com frequência por falta de dados confiáveis e necessários para fundamentar a tomada de decisões. Leal e La Rovere (1997) afirmam que uma legislação adequada é fundamental, mas não suficiente, sendo necessário, também, um quadro institucional e uma situação política que possibilite sua regulamentação e aplicação. Além disso, ainda surgem as dificuldades disciplinares e regulatórias, causadas pela fragmentação legal/institucional (QUINN et al., 2004).

No contexto de escassez de água, inerente às regiões semiáridas, e da necessidade de mecanismos de utilização, conservação e manejo de pequenos açudes, o objetivo deste capítulo é a proposição de um modelo de gestão para um pequeno sistema inserido no Nordeste Brasileiro. O sistema em questão é o açude Paus Branco localizado no Sertão Central Cearense, na bacia do Banabuiú, que abastece, em média, 600 pessoas e possui sérios problemas de usos conflitantes e, conseqüente, deterioração progressiva da qualidade de suas águas. O sistema não possui um modelo de gestão, sendo todas as atividades e usos exercidos de modo permissivo, além disso, os seus usuários não participam das decisões relativas ao gerenciamento do reservatório. O modelo elaborado foi baseado nos instrumentos de gestão preconizados pela Lei Nº 9.433/1997 (“Lei das Águas”), com ênfase na outorga do direito de uso da água.

#### **4.2. Sistematização da proposta metodológica**

A denominação de pequenos sistemas pode englobar açudes de pequeno porte<sup>2</sup> (aqui considerados os com capacidade de acumulação de até 10 hm<sup>3</sup>), cacimbas, cacimbões, cisternas e poços que servem à população rural para o desenvolvimento das suas mais diversas atividades (ver capítulo 2). A gestão desses sistemas nunca foi efetiva, nem mesmo por parte das municipalidades (COLLARD et al., 2010) e, por serem considerados insignificantes, não compõem o Plano de Bacias e nem têm representatividade nos Comitês de Bacias.

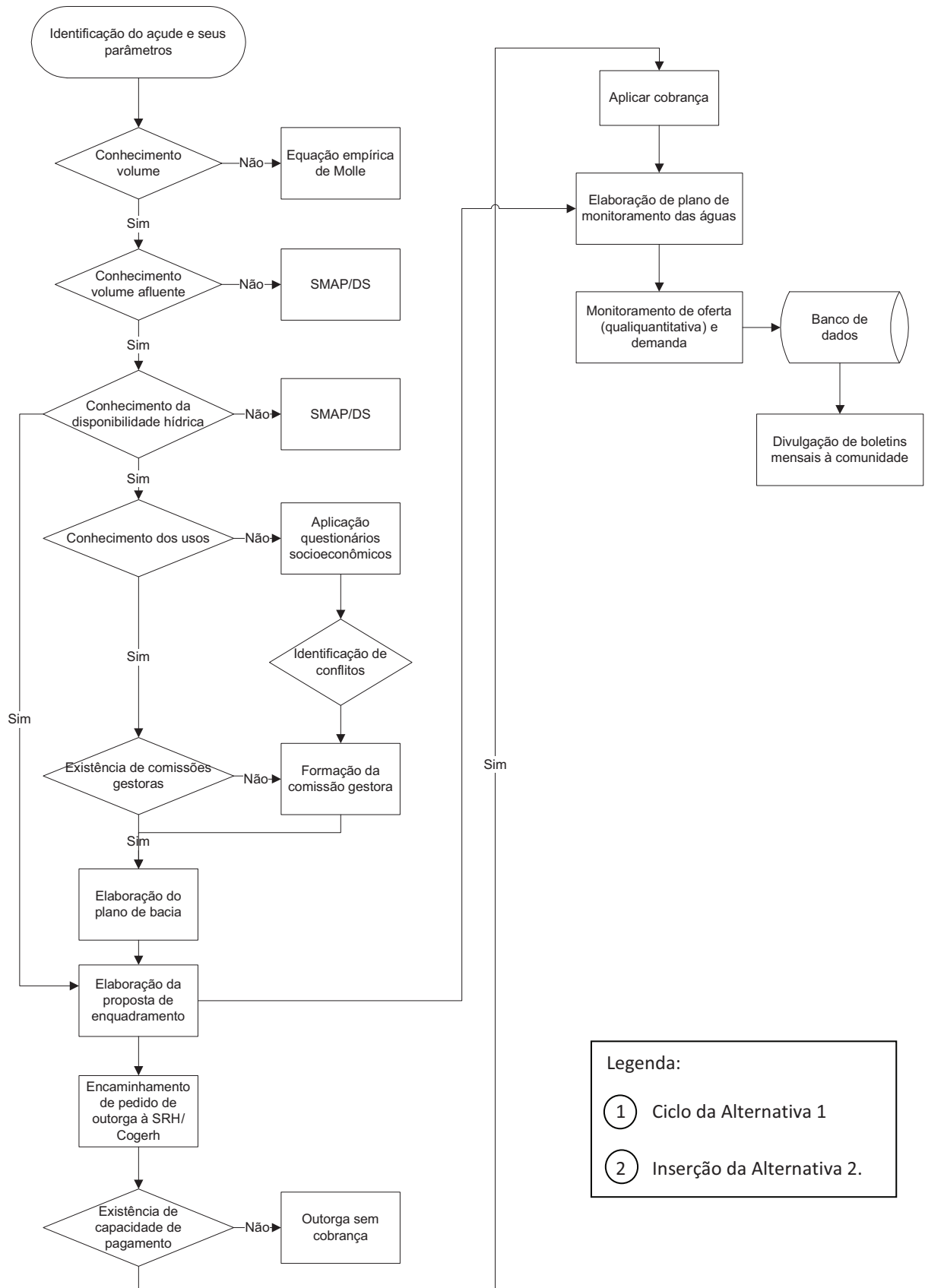
A proposta metodológica, aqui tratada, parte do pressuposto de que se deve haver gestão dos pequenos sistemas e que esta deve ser autônoma. Os mecanismos de gestão devem oferecer soluções efetivas e eficazes para a alocação da água, para a minimização de

---

<sup>2</sup> Macedo (1981) define o porte do açude, de acordo com a área do espelho d’água: muito pequenos os açudes com espelho d’água de até 20 ha; pequenos entre 21 e 100 ha; médios os compreendidos entre 101 a 500 ha; grandes os de 501 a 2000 ha e muito grandes os de bacia hidráulica acima de 2000 ha.



problemas como a poluição e a deterioração da qualidade da água, para o disciplinamento e compatibilização dos usos do solo e da água, além da conciliação dos conflitos. A plena execução do modelo, portanto, implica na existência de uma sociedade organizada em nível local, disposta de um relacionamento que partilhe decisões e interesses. A Figura 34 mostra o fluxograma da proposta metodológica para a gestão de um pequeno sistema (Alternativa 1).



**Figura 34** – Fluxograma da proposta metodológica para a gestão de um pequeno sistema do semiárido.

Conforme apresentado no fluxograma, a metodologia proposta deve seguir o seguinte roteiro:

**Identificação do açude e a verificação da existência de projeto.** Caso não haja projeto, deve-se partir para a obtenção dos seus parâmetros, através de sensoriamento remoto ou dados de campo;

**Conhecimento do volume.** Para a obtenção do volume do reservatório, devem-se aplicar as equações empíricas de Molle (1994), detalhadas no capítulo 3;

**Conhecimento do volume afluente.** Para a obtenção do volume médio afluente anual, deve-se empregar a regionalização de vazões, através do modelo SMAP (LOPES et al., 1982), cuja parametrização deve ser obtida através de redes neurais e mineração de dados proposta por Diniz (2008) e aplicada em ambiente GIS por Silva (2012), ou seja, modelo SMAP/DS;

**Conhecimento da disponibilidade hídrica.** Uma vez obtidas as aflúências, a disponibilidade hídrica do açude deve ser obtida por meio do modelo VYELAS (ARAÚJO et al., 2006), por meio do qual serão obtidas as vazões regularizadas e determinadas as vazões outorgáveis. Para sistemas com planejamento produtivo, sugere-se que seja concedida outorga com 85% de garantia, para melhor aproveitamento da água disponível;

**Conhecimento dos usos e conflitos.** Para o conhecimento da “vocação” do açude, ou seja, os usos da água e do solo, bem como o mapeamento de conflitos e o conhecimento das lideranças locais, devem ser aplicados questionários socioeconômicos. Nesta etapa, devem ser realizadas reuniões que envolvam toda a comunidade beneficiada pelo açude, para que seja esclarecida a respeito dos objetivos dos questionários e, assim, iniciado o processo de participa o;

**Existência de comissões gestoras.** Uma vez conhecidas as potencialidades do açude, os usos, os conflitos e as lideranças locais, caso não exista uma Comissão Gestora desse sistema, deve ser formada pelo Comitê da Bacia na qual o açude está inserido. A Comissão deve ser composta por usuários, representantes da sociedade civil e representantes do poder público (ver detalhes em Resolu o CONERH N  02, de 20/11/2007).   Comissão caberá, além do apoio   gestão do sistema, conciliar conflitos pelo uso da  gua;

**Elaboração do plano de bacia.** A partir da formalização da Comissão Gestora, deve ser elaborado, com o apoio do órgão gestor de recursos hídricos do Estado e o Comitê de Bacia, o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia, no qual deverão ser consolidadas todas as informações relativas às demandas da bacia, de modo a estabelecer as bases operacionais para a implantação da gestão de recursos hídricos da bacia; fornecer diretrizes para aplicação dos instrumentos de gestão; e prover a Comissão Gestora e o Comitê de Bacias instrumentos para suporte à tomada de decisão. No Plano Diretor deve constar uma alternativa de abastecimento (Alternativa 2) para os casos de colapso no abastecimento;

**Elaboração da proposta de enquadramento.** A partir da elaboração do Plano Diretor, deve ser estudada uma proposta de enquadramento das águas do sistema, tomando como base as diretrizes da legislação vigente.

Para o controle dos usos da água, devem ser encaminhados os pedidos de outorga ao órgão competente. A cobrança deverá ser aplicada de acordo com a legislação estadual vigente e somente após o estudo da capacidade de pagamento da população.

Em consonância com a elaboração do Plano Diretor, deve ser elaborado um plano de monitoramento quali-quantitativo das águas do açude, através do qual será alimentado um banco de dados que subsidiará a elaboração de boletins mensais, com o objetivo de informar aos usuários sobre a qualidade da água consumida.

#### **4.3. Aplicação da metodologia proposta: Estudo de Caso do açude Paus Branco**

A escolha da bacia hidrográfica do açude Paus Branco para este estudo de caso se deu por diversos motivos. O açude abastece a maior comunidade do Assentamento 25 de maio/São Joaquim, em Madalena, no Ceará e não possui uma gestão formal de suas águas. A forma permissiva como vêm sendo conduzidos o uso da água e do solo no entorno e ao longo da sua bacia hidrográfica, tem causado conflitos entre os usuários de montante e os abastecidos pelas águas do açude. Nas visitas realizadas à região observou-se que o açude está eutrofizado, em virtude de seus usos conflitantes, e apresenta contaminação com ovos de helmintos (FEITOSA, 2011; PINHEIRO, 2011), conforme detalhado a seguir. Diante dos fatos expostos, vem o questionamento: como um sistema desse porte, com essa função social, não possui um plano de gestão?

#### 4.3.1 Caracterização do sistema

O açude em estudo neste capítulo se localiza na área do Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, na Comunidade Paus Branco, Sertão Central do Ceará (ver características da região no capítulo 2). O açude Paus Branco está inserido na bacia hidrográfica dos rios Quixeramobim e Pirabibu, região marcada pela irregularidade pluviométrica, o que dificulta o acesso à água e seu armazenamento pelos assentados (FEITOSA, 2011).

O Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, antiga Fazenda Reunida São Joaquim S/A – Agricultura e Comércio, foi instalado em 1989 após mobilização dos trabalhadores rurais da área para a desapropriação das terras, junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. A área ocupava, aproximadamente, 23 mil hectares entre os municípios de Madalena e Quixeramobim, e tinha como principal atividade a pecuária extensiva, com cerca de 2.500 cabeças de gado bovino e 2.500 caprinos e ovinos. Ao todo, 82 famílias viviam no local e os relatos indicam que viviam em condições subumanas devido ao sistema de exploração imposto e à precariedade das habitações (ALMEIDA, 2011).

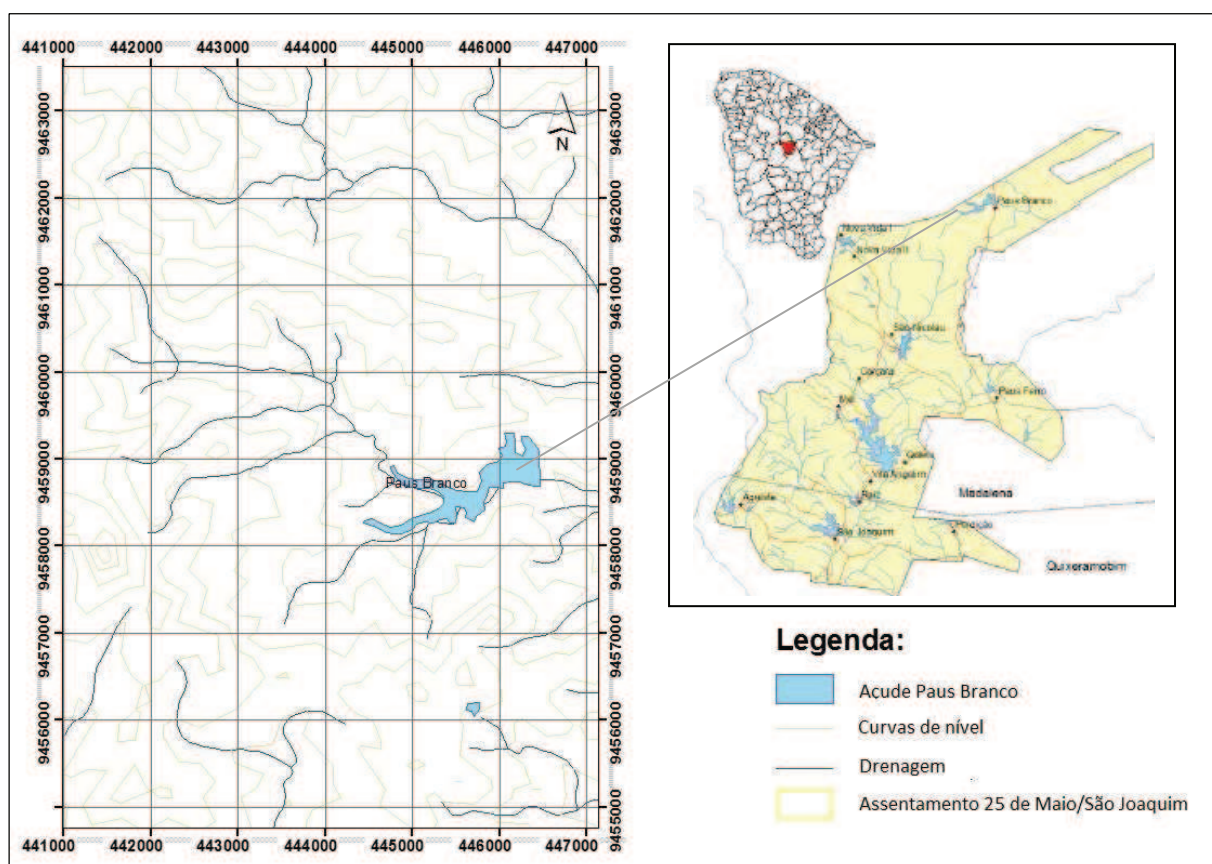
O Assentamento em questão dista 200 km de Fortaleza e possui 431 famílias distribuídas em 13 comunidades, organizadas em 18 associações comunitárias, uma cooperativa e treze açudes: Paus Branco, Paus Ferro, Quieto, Nova Vida I, Nova Vida II, São Joaquim, Agreste, São Nicolau, Raiz, Perdição, Mel, Caiçara e Vila Angelim (ACACE, 2005; ALMEIDA, 2011). A Tabela 17 mostra as principais informações do açude Paus Branco, através de uma ficha técnica sintética e a Figura 35 mostra a localização do açude.

**Tabela 17** – Ficha técnica sintética do açude Paus Branco, em Madalena, Ceará.

Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	22,54
Área da bacia hidráulica (ha)	57
Volume (hm <sup>3</sup> )*	5,0
Profundidade (m)	7,0

\*Pinheiro (2011);

Demais dados obtidos por sensoriamento remoto.



**Figura 35** – Localização do açude Paus Branco, na Comunidade de Paus Branco, Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, Ceará.

A comunidade Paus Branco é a maior do assentamento, composta por 170 famílias, distribuídas em três localidades: Vila, Açude e Central. Estas localidades são distantes umas das outras e isso dificulta a aproximação entre seus moradores. A comunidade conta com duas escolas, um posto de saúde e quatro pontos comerciais (PINHEIRO, 2011). Sua interação e organização se dão através de quatro associações: Associação dos Assentados de Paus Branco, Associação Nova Conquista de Paus Branco, Associação Cooperação Agrícola de Paus Branco e Associação das assentadas de Paus Branco Unidas para Vencer (ACACE, 2005).

Almeida (2011), em seus estudos de avaliação da participação das comunidades no processo de implantação do Projeto Fossa Verde<sup>3</sup>, observou que a comunidade de Paus Branco é organizada de forma mais complexa que as demais e atribuiu isto ao fato de a comunidade ser formada por grupos de origens distintas, como os antigos moradores da

<sup>3</sup> Projeto “Biorremediação Vegetal do esgoto domiciliar em comunidades rurais do semi-árido: água limpa, saúde e terra fértil”, financiado pelo CNPq, sendo a Universidade Federal do Ceará (UFC) a instituição executora e as seguintes instituições parceiras, para o estudo interdisciplinar: Universidade Estadual do Ceará (UECE), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST).

fazenda, os novos moradores e os agregados. Isto faz com que existam opiniões e objetivos diferenciados e explica a necessidade das quatro associações, descritas acima.

Para viabilizar a implantação das fossas e facilitar a mobilização social da comunidade, foram aplicados questionários socioeconômicos em toda a população, no período compreendido entre outubro de 2009 e setembro de 2010 (ver capítulo 2). Neste período também foram realizadas visitas técnicas ao açude, com o objetivo de coletar amostras de água para análise.

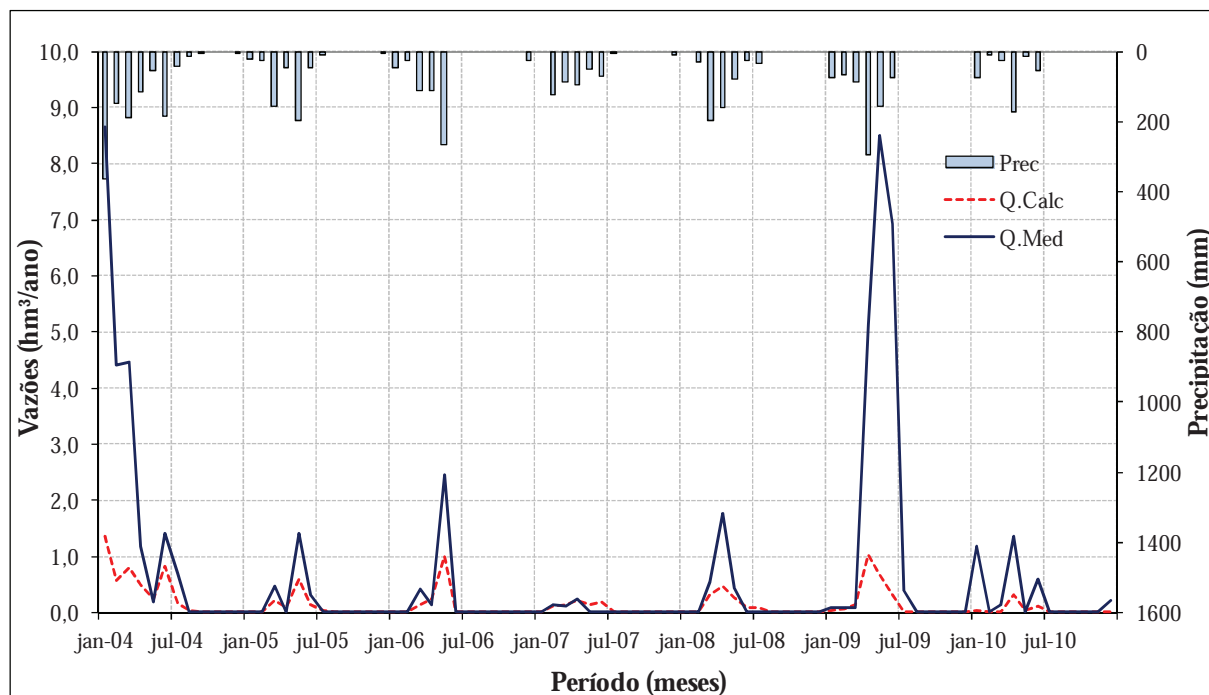
O questionário (ver Anexo I) buscou informações acerca dos diversos tipos de usos, das formas de captação da água do açude, das atividades econômicas da comunidade. Também foram abordadas questões ambientais, tais como as instalações sanitárias das residências, a disposição do lixo doméstico, o uso de agrotóxicos e a presença de animais nas margens dos açudes. Desta feita, os questionários possibilitaram o conhecimento da situação socioeconômica dos assentados da comunidade de Paus Branco, além do uso do açude inserido na área e os impactos ambientais decorrentes das atividades praticadas.

#### **Disponibilidade hídrica do açude – Aspectos quantitativos**

O açude Paus Branco não dispõe de dados de projeto, tendo o seu volume informado pelo INCRA como sendo  $5,0 \text{ hm}^3$ , de acordo com estimativas realizadas no final da década de 1990. Porém, de acordo com o cálculo do volume baseado na metodologia de Molle, descrita no capítulo 3, o seu volume seria de  $3,5 \text{ hm}^3$ . A diferença de 30% nas estimativas pode ser explicada pela diferença de métodos utilizados. Considerou-se, nesse estudo, o volume fornecido pelo INCRA, que é o órgão que gere o assentamento.

Quanto às aflúências, foi aplicado o modelo SMAP/DS, conforme descrito e aplicado aos reservatórios do capítulo 3, para sete anos. Os resultados indicam uma vazão afluyente média de  $4,474 \text{ hm}^3/\text{ano}$  para os sete anos, que incluem dois anos de cheias (2004 e 2009). Quando retirados os dois anos atípicos, a aflúência média anual cai para  $2,690 \text{ hm}^3/\text{ano}$ , valor mais aproximado à aflúência média informada pelo INCRA, de  $1,2 \text{ hm}^3/\text{ano}$ . A Figura 36 mostra os hidrogramas medido e simulado no período.

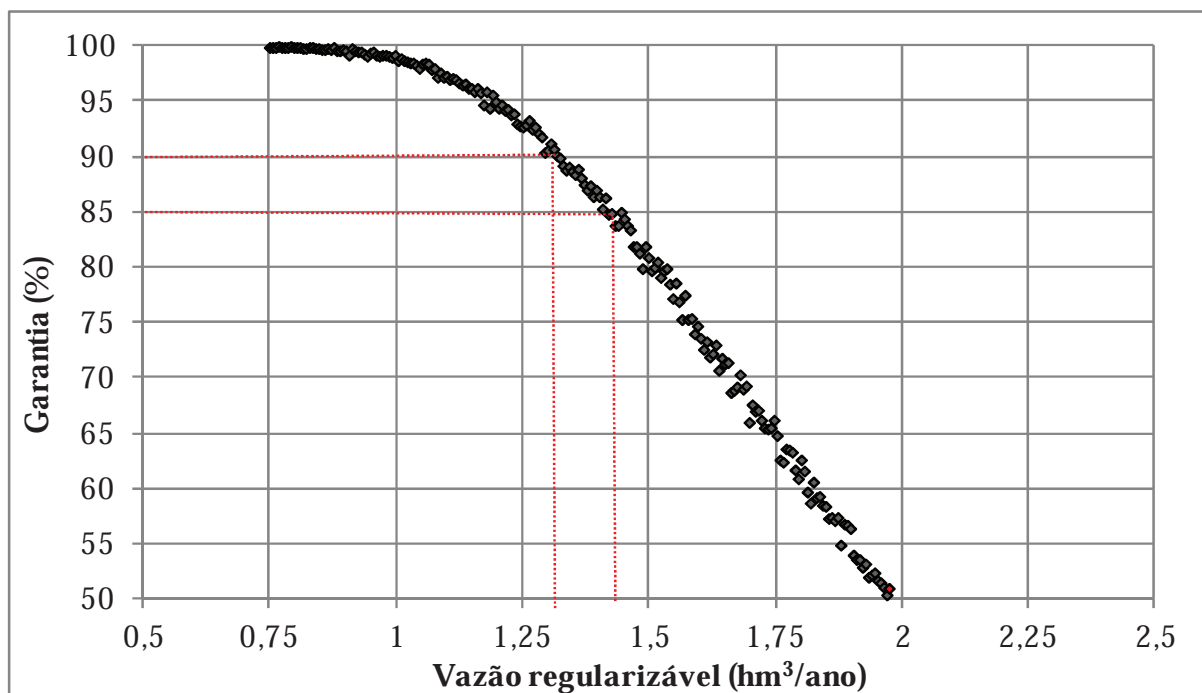




**Figura 36** – Hidrograma do açude Paus Branco. (Prec – precipitação;  $Q_{med}$  representa as vazões medidas e  $Q_{calc}$  as vazões simuladas pelo modelo SMAP/DS).

Nota-se que o modelo não reproduziu bem os picos de vazões, principalmente as vazões dos anos de cheia intensa. As maiores incertezas, associadas aos períodos de precipitações intensas, também foram observadas nas simulações realizadas por Silva (2012) e associadas à falta de dados exatos, o que causa diferenças consideráveis entre a vazão calculada e a observada durante períodos de vazão de pico.

Para a estimativa da disponibilidade hídrica, utilizou-se o modelo VYELAS (ARAÚJO et al., 2006) para a simulação das vazões regularizáveis com garantias entre 50% e 100%, de forma a obter a curva de garantia do açude, utilizando-se as vazões simuladas. Optou-se por excluir as maiores vazões, aquelas referentes aos anos de 2004 e 2009, considerados atípicos, com chuvas muito acima da média. De acordo com as simulações, a vazão regularizável associada a uma garantia de 90% ( $Q_{90}$ ) é de 1,294 hm<sup>3</sup>/ano. A Figura 37 apresenta a curva de garantia de vazões regularizáveis do açude Paus Branco.



**Figura 37** – Curva de garantia das vazões regularizáveis do açude Paus Branco.

Costa et al. (2009) realizaram simulações semelhantes para três escalas de açudes (Orós, Benguê e Boqueirão) e concluíram que há um aumento da eficiência hidrológica de reservatórios na medida em que ocorre o aumento da escala.

### **Disponibilidade hídrica do açude – Aspectos qualitativos**

A escassez de água não se dá apenas em função da disponibilidade em termos quantitativos, mas também da oferta de manancial de boa qualidade, da eficiência dos diversos usos e do suporte institucional para atender à crescente demanda.

A água estocada em reservatórios superficiais sofre alterações na sua qualidade causadas por processos físicos, principalmente, por evaporação, que consome em torno de 40% da água dos reservatórios do Nordeste (ARAÚJO et al., 2006; CAMPOS, 2010); químicos (reações, dissolução e precipitação) e biológicos (crescimento, morte e decomposição da matéria orgânica) (MEIRELES et al., 2007).

Feitosa (2011) realizou o monitoramento sistemático da qualidade da água do açude Paus Branco no período de abril a outubro de 2010. As variáveis analisadas foram: temperatura, transparência, zona eufótica, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, condutividade elétrica (CE), fósforo total, ortofosfato solúvel, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, sólidos totais, clorofila “a”, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>) e coliformes termotolerantes. Os resultados

indicaram variações sazonais da qualidade da água, aumentando, consideravelmente, as concentrações de nutrientes no período de estiagem.

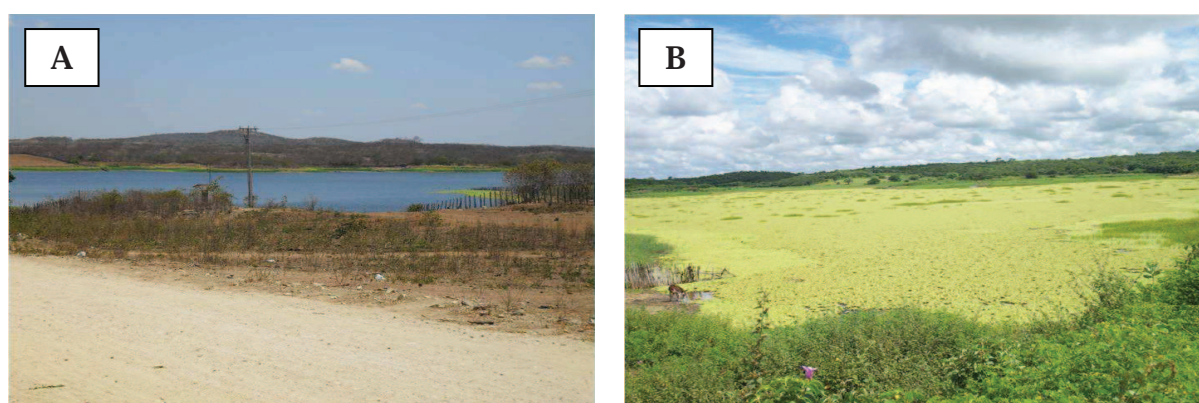
O índice de estado trófico (IET) do açude Paus Branco foi classificado como eutrófico que, de acordo com classificação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2010), indica um corpo d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus usos múltiplos. Quanto ao índice de qualidade de água (IQA), no período chuvoso a água foi considerada regular ( $51 < IQA \leq 70$ ) e boa no período de estiagem ( $51 < IQA < 79$ ) (PINHEIRO, 2011).

Na análise parasitológica da saída da ETA da comunidade Paus Branco foi detectada a presença de ovos de helmintos. Já na pesquisa de bactérias indicadoras de contaminação fecal (termotolerantes), foi observada uma grande redução dos coliformes no período seco, provavelmente, devido à intensa luz solar e ao meio bastante oxidativo, com presença de oxigênio dissolvido (PINHEIRO, 2011). Pacheco et al. (2002) associam a presença de ovos de helmintos e coliformes fecais na água às descargas de esgotos e à presença de animais pastando nas áreas próximas das captações.

Desta forma, os resultados de qualidade de água do açude Paus Branco apontados por Feitosa (2011) e Pinheiro (2011) confirmam a tendência de sazonalidade dos açudes do semiárido, com tendência ao aumento de sais e de IET no período de estiagem. A Figura 38 mostra a grande quantidade de macrófitas no açude, sendo a espécie predominante *Pistia stratiotes* (Araceae), conhecida popularmente como alface d'água, macrófita aquática do tipo flutuante livre, comumente encontrada em lagos tropicais. Sua presença é associada às alterações antropogênicas, tais como a eutrofização e o aquecimento global (CANCIAN et al., 2009). A Figura 39 demonstra a variação sazonal da qualidade da água, através da cobertura de macrófitas no período de estiagem e seco.



**Figura 38** – Macrófitas aquáticas presentes na bacia hidráulica do açude Paus Branco, Madalena, Ceará (Outubro/2010).



**Figura 39** – Cobertura de macrófitas aquáticas na bacia hidráulica do açude Paus Branco, Madalena, Ceará, no período de estiagem (A), em outubro de 2010 e no período chuvoso (B), março de 2011.

### **Aspectos ambientais da bacia hidrográfica**

Pinheiro (2011), ao classificar as condições de uso e ocupação do solo e sua implicação na contribuição de cargas aos reservatórios do Assentamento 25 de maio/São Joaquim através de técnicas de geoprocessamento, detectou que 41% da bacia hidrográfica do açude Paus Branco são de mata preservada, porém 49% da área são utilizadas para agropecuária, 6% possuem solo exposto e o restante (4%) apresentam vegetação densa.

Feitosa (2011) observou que grande parte da água utilizada nos usos domésticos é descartada no quintal das residências e pode estar escoando para os açudes ou mesmo infiltrando e contaminando os açudes e o lençol freático com compostos químicos provenientes dos detergentes e sabão utilizados.

Outros fatos preocupantes detectados são a destinação da água dos sanitários conduzida para fossa sumidouro e a queima dos resíduos sólidos ou a sua disposição ao ar livre. O lixo orgânico é aproveitado para a alimentação dos animais (HIDROSED, 2010). Quando da aplicação dos questionários, observou-se que, comumente, havia dispersão dos resíduos sólidos, ocasionada pela ação dos ventos e dos animais domésticos (cachorro e gato) e dos de criação (porco, galinha, cabra e bode) que eram soltos na área. Pinheiro (2011) relata fatos semelhantes. Nos dias de hoje, com o cumprimento da Lei Nº 0143/1999, citada anteriormente, os suínos têm sido confinados.

Ellery et al. (2010), ao realizarem pesquisa participativa na bacia hidrográfica do açude Paus Branco, detectaram três principais causas da poluição: o acesso de muitos animais à bacia hidráulica; o lançamento de esgotos provenientes das residências próximas ao açude e a criação de suínos no entorno do lago.

Quanto ao uso de agrotóxicos na produção agrícola, constatou-se tal prática no cultivo de vazantes. Os produtos são utilizados nas culturas de milho e de feijão e o destino das embalagens tem implicado em sério problema ambiental na comunidade, já que muitas embalagens são enterradas, outras são armazenadas de forma indevida ou jogadas a céu aberto.

Foi observado, ainda, que os resíduos provenientes do posto de saúde da comunidade estão sendo enterrados nas proximidades do posto, conforme Figura 40.

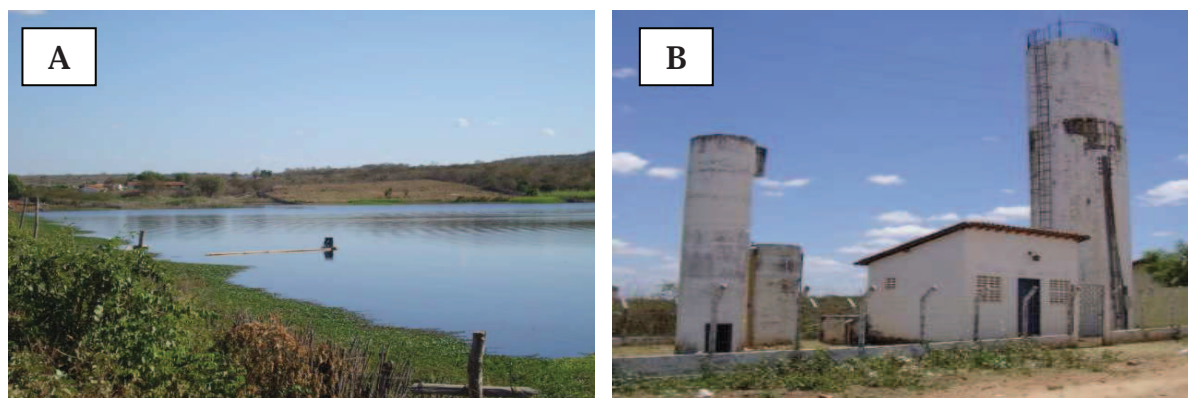


**Figura 40** – Seringa proveniente do lixo hospitalar do posto de saúde da comunidade de Paus Brancos, Madalena, Ceará. **Fonte:** Pinheiro (2011).



### Principais usos do açude Paus Branco

O açude Paus Branco abastece, em média, 600 pessoas (ALMEIDA, 2011; FEITOSA, 2011; PINHEIRO, 2011). Seu uso preponderante é o doméstico, seguido de pesca e dessedentação animal. A comunidade conta com sistema de abastecimento, instalado em 2006 pelo Sistema de Saneamento Rural – SISAR, sob a gerência da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece. O sistema de abastecimento do SISAR é composto por bombas de sucção e recalque, caixa d'água e rede de encanamento (Figura 41). Existe, ainda, a estrutura para tratamento preliminar com compartimentos para filtração e cloração, porém o mesmo nunca entrou em funcionamento. A operação do sistema é realizada por moradores da própria comunidade (PINHEIRO, 2011) e a rede de abastecimento não contempla todas as residências.



**Figura 41** – Captação por bomba flutuante (A) e Sistema de abastecimento SISAR da Comunidade de Paus Branco (B), Madalena, Ceará (Outubro/2010).

O levantamento dos usos realizado através dos questionários aponta que 9% das residências utilizam a água do açude Paus Branco para uso doméstico, pesca e dessedentação animal; 39% para uso doméstico e pesca; 4% para uso doméstico e dessedentação animal; 2% para uso doméstico, dessedentação humana, irrigação e pesca; e 48% somente para uso doméstico.

Para a dessedentação humana e para cozinhar, são utilizadas cisternas, que são abastecidas por água da chuva e, eventualmente, por carros pipas com água de outros açudes. Somente 50% da população afirma fazer tratamento simples de filtração e/ou cloração da água dessas cisternas, o restante consome a água bruta, fato este bastante preocupante, pois indica que a população pode estar ingerindo água poluída. Xavier (2010), ao pesquisar as condições de manejo, manutenção e qualidade da água de oito cisternas rurais da Paraíba,

detectou que as cisternas que receberam água de carros pipa apresentaram água com qualidade inferior às que receberam somente água de chuva.

As principais culturas praticadas são milho e feijão, sendo na sua maioria para subsistência, sem fins comerciais. Os moradores possuem, também, fruteiras tipicamente tropicais como goiabeira, cajueiro, sirigueleira e limoeiro. Acredita-se que não se utilizam de outras culturas por escassez de recursos para o investimento, por falta de tradição da agricultura irrigada e por falta de incentivo técnico, a exemplo do que foi constatado por Cirilo et al. (2003) em localidades no interior de Pernambuco.

Chacon (2007) lembra que alguns programas de desenvolvimento do Estado do Ceará, não obstante tivessem como prioridade o crescimento do setor agropecuário, não obtiveram êxito por não considerar devidamente a realidade das comunidades a serem beneficiadas, importando modelos supostamente adequados, mas sem a devida integração e adaptação ao meio local.

Quanto aos animais criados, afora os domésticos, como cães e gatos, foi registrada uma grande quantidade de galinhas, suínos, caprinos e ovinos e, em menor quantidade, os bovinos. Os animais, quase sempre, são criações rústicas e aclimatadas à região, fato também observado por Galizoni et al. (2008) no Alto Jequitinhonha. Quando das visitas ao campo, os animais eram criados soltos e, em sua grande maioria, com livre acesso ao reservatório, em descumprimento à Lei Nº 0143/1999, da Prefeitura de Madalena, que trata da proibição de acesso dos animais aos mananciais hídricos de servidão pública, sob pena de apreensão dos mesmos. Recentemente, porém, a percepção da comunidade com relação à crescente degradação da qualidade da água do açude Paus Brancos e o conhecimento das suas causas, os moradores resolveram cumprir a lei, confinando, principalmente, os suínos. Contudo, ainda é possível ver bovinos soltos.

#### *4.3.2 Proposição de um modelo de gestão para o açude Paus Branco*

Conforme já explorado, os pequenos açudes são soluções técnicas nascidas do voluntarismo político, com o objetivo de aplacar as secas e suas consequências para as populações rurais (AKINDÈS, 2007). Porém, para que a disponibilização da água desses pequenos sistemas ocorra de forma sustentável, é necessário defender a implantação de políticas de gestão que controlem eficientemente os usos, levando em conta os impactos econômicos, sociais e ambientais (CUDENNEC et al., 2003; FIORILO et al., 2007; POUGET et al.; 2003).



Garjulli et al. (2004) recomendam que uma proposta de gestão deve obedecer os seguintes princípios: 1) O conhecimento da situação hídrica da bacia; 2) O respeito às formas de organização dos usuários já existentes (cooperativas, associações, comissões); 3) A negociação de conflitos através do diálogo, do subsídio técnico e do aparato legal existente; e 4) A definição conjunta (usuários, instituições e sociedade civil) de regras e normas de operação e preservação dos recursos hídricos.

A compreensão da participação das comunidades rurais na regulação das águas no semiárido é um aspecto crucial, pois a experiência, ao longo do tempo, indica que os seus habitantes são os principais gestores dos mananciais (RIBEIRO; GALIZONI, 2003).

Nascimento e Aires (2011) apontam que algumas instituições governamentais e não governamentais têm orientado ações direcionadas à conservação e ao gerenciamento dos recursos hídricos, ao estímulo de uma consciência crítica e da organização de comunidades rurais por meio de programas educativos como oficinas, projetos de monitoramento, campanhas de conscientização ambiental, entre outros.

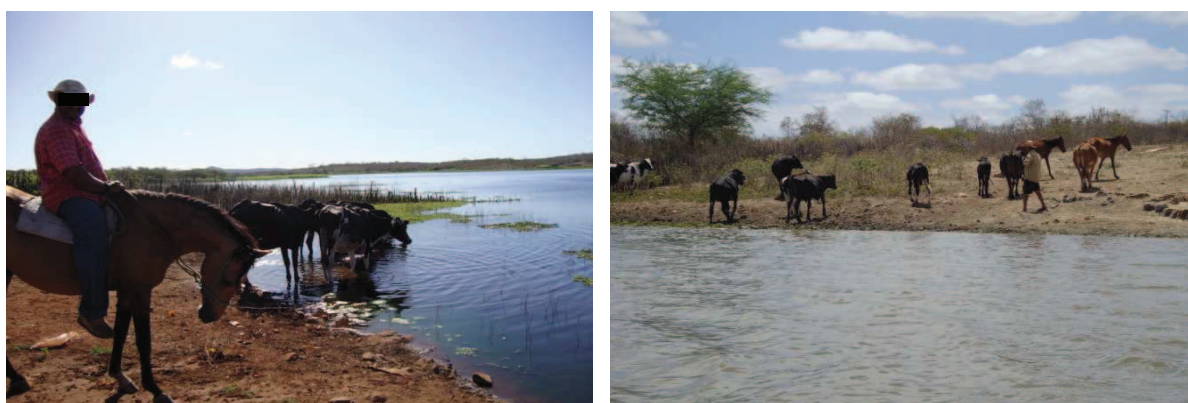
Johnson et al. (2001) comentam que o insucesso de muitos dos projetos de gestão de bacias hidrográficas em todo o mundo é devido ao desconhecimento ou desconsideração das necessidades, restrições e práticas da população local. Ressaltam, ainda, que a gestão participativa, independentemente da escala de grandeza da bacia, auxilia os usuários na definição dos problemas, das prioridades, e na seleção de tecnologias e políticas, além do acompanhamento e avaliação dos impactos. A participação dos usuários na gestão da bacia, portanto, suscita questões para um maior conhecimento das peculiaridades da bacia hidrográfica, de forma a se obter mecanismos adequados para organizar os interessados e facilitar a ação coletiva.

Nesse contexto, a proposta de gestão para o açude Paus Branco foi elaborada com o intuito de disciplinar o acesso à água do açude, já que este representa um exemplo típico dos pequenos sistemas rurais do semiárido. O modelo de gestão ora proposto toma como base as informações colhidas em campo e os dados obtidos via sensoriamento remoto e visa à organização e à priorização dos usos, de modo que a comunidade possa ser beneficiada com água em quantidade e qualidade.

O diagnóstico obtido através da pesquisa participativa, representada pela aplicação dos questionários e das reuniões realizadas pelo grupo técnico do Projeto Fossa Verde, indica que a comunidade enfrenta problemas de usos conflitantes da água do açude, que vem impactando a qualidade da água disponível. A história da comunidade mostra que os usuários não conseguiram criar critérios de consumo, nem técnicas de gestão comunitária de abastecimento

e acesso ao açude. GALIZONI et al. (2008) mostram uma realidade organizacional bem diferente nas comunidades rurais do Alto Jequitinhonha, em Minas Gerais. Os pesquisadores relatam que as comunidades criaram, ao longo do tempo, lógicas de consumo, critérios de priorização dos usos e que aprenderam a organizar a produção de acordo com a oferta da água.

A Figura 42 mostra o gado tendo acesso direto ao reservatório Paus Branco, inclusive no mesmo local de onde há captação de água para abastecimento humano. Esta é uma das maiores fontes de contaminação da água de açudes nas zonas rurais do Nordeste Brasileiro e é considerado um importante fator de risco à saúde humana.



**Figura 42** – Livre acesso do gado ao açude Paus Branco, em Madalena, Ceará (Outubro/2010).

De posse dos resultados dos questionários, que apontavam os usos da água do açude Paus Branco, partiu-se para a identificação dos usos conflitantes. Os entrevistados apontaram que o açude fornece água em quantidade satisfatória para a manutenção dos diversos usos, mesmo nos anos de seca, como aconteceu no ano de 2008. Porém, não souberam quantificar o volume de água necessário para cada atividade.

A Organização das Nações Unidas (ONU) calcula o consumo médio diário de 5 litros por pessoa/dia para beber e cozinhar e 25 litros por pessoa/dia para higiene básica (IPEA, 2004). Porém, as estimativas realizadas por Galizoni et al. (2008) no Vale do Jequitinhonha apontaram que algumas comunidades utilizam bem menos da quantidade mínima calculada pela ONU, na ordem de 7,8 litros por pessoa/dia para beber, cozinhar e para higiene, apontando desigualdades na disponibilidade de água para consumo entre as famílias rurais da região.

Quanto às criações, as comunidades rurais costumam criar os animais soltos e, por este motivo, nem sabem quantificar quantos animais possuem, ao certo, nem o consumo médio de

água cada animal. Valores fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), para animais confinados e de raças melhoradas, indicam consumo de 45 a 50 litros por dia por cabeça de gado; 15 litros por dia por cabeça de suíno e de 15 mililitros por dia para aves domésticas. As estimativas da necessidade hídrica da comunidade de Paus Branco, as estimativas apontam que o consumo diário para uso doméstico é de 60 mil litros; para dessedentação humana é de 100 litros e para a dessedentação animal, incluindo na estimativa apenas os bovinos e os suínos, é de 25 mil litros. A estimativa da demanda total anual, portanto, é de 0,058 hm<sup>3</sup>/ano. Vale salientar que não foi incluída no cálculo a irrigação, por se tratar, neste caso, de volume desprezível.

Por conseguinte, o que se constatou na comunidade abastecida pelo açude Paus Branco não foi a escassez de água e, sim, uma má administração dos usos do açude. Confirmando o que já foi apontado por Araújo (2011); Dhas et al. (2006); Etiópia (2001) e Wilson (2007), de que a eutrofização é um problema de primeira grandeza para as águas dos pequenos açudes do semiárido. A estratégia de gestão, nesses casos, deve se dar de forma a desenvolver a percepção da comunidade, sensibilizando-a e envolvendo-a nas tomadas de decisão (AIT IHAI et al., 2009).

A garantia da manutenção da água do açude Paus Branco, em quantidade e qualidade, está estritamente condicionada a um eficiente sistema de gestão das demandas e da disponibilidade. Para tanto, como forma de solucionar os conflitos e minimizar os efeitos da degradação da qualidade da água do açude, são propostas algumas medidas que se apoiam, fundamentalmente, na gestão local da bacia hidrográfica.

### **Arranjo institucional**

A “Lei das Águas” não prevê espaços para a participação na gestão das águas em âmbito local (VEIGA, 2007). Os esforços que vêm sendo empreendidos nos últimos anos na gestão da água no âmbito federal ainda não chegam ao conhecimento da sociedade em geral, muito menos aos atores sociais dos pequenos sistemas hídricos. Essa ausência de um processo de envolvimento da sociedade geram desconhecimento e desinformação generalizados, o que impede ou dificulta os chamados “pactos sociais” para a conservação dos recursos hídricos (VARGAS et al., 2002).

O açude Paus Branco está localizado na bacia do Banabuiú estando, portanto, sob o auspício do Comitê do Banabuiú, que foi criado pela Lei Nº 26.435/2001, e é constituído por 48 instituições membro, distribuídas da seguinte forma: 30% da Sociedade Civil Organizada; 30% de usuários; 20% do Poder Público Municipal e 20% do Poder Público Estadual e

Federal, escolhidas entre instituições governamentais e não governamentais. O Comitê decide, desde 2007, sobre os parâmetros mínimos e máximos de negociação da alocação participativa de seus sistemas hídricos. Isto ocorre com os açudes considerados estratégicos, ou seja, açudes de médio a grande porte ou com função de abastecimento a sedes municipais. Assim, os pequenos açudes integrantes da bacia, com função de abastecimento de pequenas comunidades rurais, estariam fora desse contexto de alocação.

Pesquisas como a de Chacon (2007), que buscou o entendimento das práticas de gestão de águas na bacia do Banabuiú, no Ceará, comprovam que quem efetivamente conhece de fato os Comitês de Bacias, suas funções, sua composição, suas deliberações, são aqueles que fazem parte do próprio Comitê. A autora afirma, ainda, que os membros dos Comitês deveriam ser representantes da população interessada no uso da água da bacia, contudo, não representam de fato, não fazem intermediação, não levam reivindicações aos Comitês, nem levam as informações àqueles que representam. O Comitê (e seu trabalho) é desconhecido pela grande maioria da população em todo o Sertão, o que dificulta as reivindicações e possíveis intervenções nos pequenos sistemas.

O açude é o núcleo básico de organização dos usuários, de onde procede a água para o abastecimento das cidades, para as atividades dos pescadores, dos vazanteiros, dos irrigantes e dos agropecuaristas que devem, portanto, decidir conjuntamente sobre sua utilização (COGERH, 2001). Considerando a premissa de organização local e reconhecendo a grande dificuldade de um Comitê de Bacias atingir cada um dos sistemas hídricos de uma grande bacia hidrográfica, a Resolução Nº 2 do Conselho de Recursos Hídricos do Ceará – CONERH, de 20 de novembro de 2007, criou as Comissões Gestoras (CG) de Sistemas Hídricos no Estado do Ceará.

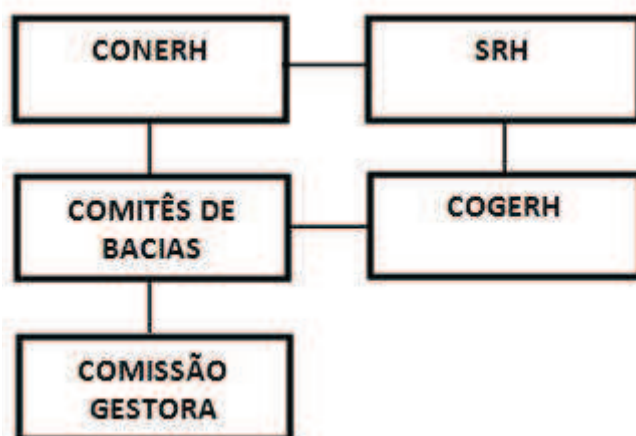
Entre as atribuições delegadas às CG, estão: 1) apoiar a gestão dos sistemas hídricos e do seu entorno; 2) promover debates sobre a preservação ambiental e o uso sustentável da água junto aos usuários do respectivo sistema hídrico; 3) realizar Assembleia de Alocação, com o apoio do CBH; 4) apoiar os órgãos gestores de recursos hídricos na atualização do cadastro dos usuários da respectiva bacia e no monitoramento das decisões tomadas no âmbito da Alocação Negociada de água.

As assembleias de alocação implicam na participação direta dos usuários de água nas decisões das demandas e da oferta da água. Nela são apresentados as avaliações e os cenários identificados; em seguida, a assembleia discute as possíveis cotas de uso da água para cada usuário, levando sempre em conta o risco de um período chuvoso desfavorável; definidas as cotas, é celebrado o “Pacto de Alocação”, que deverá valer por determinado período de

tempo; a assembleia então delega ao colegiado representativo (LORENTZ, MENDES, 2012), nesse caso, à Comissão Gestora do açude, a responsabilidade de acompanhar o atendimento ao Pacto. As CG, nessa ocasião, têm o papel, de administrar os acordos em torno do uso da água e dirimir os conflitos que possam surgir.

A Comissão Gestora é, pois, um organismo de bacia vinculado ao Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH). Araújo (2011) alerta para a necessidade da realização de um trabalho de gestão que seja, simultaneamente, local e regional. Assim, a CG deve, necessariamente, estar articulada com o CBH, de modo a garantir sua representação.

Desta feita, para a visualização do modelo ideal e efetivo de gestão de um pequeno açude, em termos institucionais, foi montado um diagrama mostrado na Figura 43.



**Figura 43** – Diagrama esquemático do arranjo institucional ideal para a gestão de um pequeno açude.

No caso específico do açude Paus Branco, que possui quatro associações, com interesses divergentes e, muitas vezes, conflitantes, o indicado seria que a composição da Comissão Gestora contemplasse, pelo menos, um representante de cada uma das quatro associações (Associação dos Assentados de Paus Branco, Associação Nova Conquista de Paus Branco, Associação Cooperação Agrícola de Paus Branco e Associação das assentadas de Paus Branco Unidas para Vencer); um representante do Comitê do Banabuiú; usuários da água do açude; e, conforme indicado pela legislação, representantes do Poder Público, quais sejam: um representante do INCRA; um representante do Posto de Saúde (Programa de Saúde da Família); um Agente de Saúde, e um professor de cada uma das duas escolas. A criação e o pleno funcionamento da CG do açude Paus Brancos minimizaria os problemas de gestão citados por Ellery et al. (2010), que relatam a falta de instituições com credibilidade e capacidade de executar as deliberações coletivas.

### **Participação dos usuários**

Wilson (2007) afirma que a utilização eficaz dos pequenos açudes deve ser feita através de uma boa gestão e organização social. Machado et al. (2004) corroboram com a afirmação e acrescentam que acreditam em uma maior integração entre a participação social e o conhecimento técnico-científico, o que definem como “negociação sociotécnica”. Os autores afirmam, ainda, que, embora as decisões não sejam construídas localmente, é no entorno do pequeno açude que essas decisões são realmente vividas, daí a grande importância da participação dos atores locais.

Porém, as experiências mostram que é um grande desafio organizar os mais diversos usuários da bacia hidrográfica, conforme afirmação de Araújo (2011). Demonstrações claras dessa dificuldade foram relatadas por Ellery et al. (2010), que vêm trabalhando em pequenas bacias semiáridas e identificaram diversos obstáculos à participação legítima e representativa de usuários, como o pouco interesse dos atores, a resistência à mudança de hábitos e a dificuldade de comunicação. Munamati e Senzanje (2007) apontam, ainda, para a falta de recursos para a gestão dos pequenos sistemas, ocasionando planejamentos inconsistentes. Os autores atribuem isto à multiplicidade dos atores envolvidos (irrigantes, agropecuaristas e usuários em geral) e ao pouco envolvimento dos mesmos.

A comunidade de Paus Branco apresenta conflitos registrados entre os habitantes de montante e os usuários do açude. Isso acontece, principalmente, devido aos usos impactantes da qualidade da água, ou seja, por divergências de interesses. Outro ponto conflitante é o fato da rede de abastecimento não contemplar todas as residências, causando descontentamento nos usuários que não recebem água em casa. Becu et al. (2003) comentam que a literatura recente sobre gestão de bacia hidrográfica dá ênfase à obtenção de acordos negociados para esse tipo de conflito. Os autores sugerem que a comunicação entre as partes interessadas podem fornecer uma base para resultados consensuais. Neste processo, dois pressupostos básicos despontam como elementos imprescindíveis: o respeito mútuo entre os usuários, entre técnicos e usuários e o diálogo permanente como forma de chegar ao entendimento, fundamentado no conhecimento técnico da área (GARJULLI et al., 1995).

A aplicação de uma metodologia participativa tem como exigência básica a ação conjunta e participativa dos usuários e dos técnicos nos momentos de conhecimento da realidade, no processo de planejamento, organização, execução e avaliação das ações (GARJULLI et al., 2004). Além do mais, a alocação tem induzido uma maior utilização de



dois outros instrumentos – a outorga e o sistema de informações –, os quais são utilizados ao longo do seu desenvolvimento (LORENTZ, MENDES, 2012).

Silliman et al. (2008) citam a experiência da região rural de Benin, na África Ocidental. Diante de sérios conflitos entre os usuários de água, o poder público instituiu comissões locais, que são responsáveis por todos os aspectos da administração dos poços e elaboram relatórios de acompanhamento para o órgão de gestão.

Balazs (2006) cita um exemplo exitoso de gestão local de bacia hidrográfica em Capão Seco, no Paraná, em que o envolvimento social tem sido proporcionado pela associação comunitária local. A autora ressalta a importância das lideranças locais na manutenção de pequenos açudes.

Diante do exposto, para o açude em questão a proposta de organização dos usuários deve seguir uma metodologia participativa, pautada no conhecimento dos usos da água, na sua normatização e no estabelecimento de regras para o uso. Com a formação e a boa representação da Comissão Gestora do açude, com o apoio do Comitê do Banabuiú, é esperada a busca pela conciliação de interesses da comunidade, incluindo as questões relativas ao acesso democrático à água. É esperado que, com a gestão local, a população se sinta mais integrada ao ambiente e responsável pela manutenção do mesmo, considerando o açude como um sistema polivalente (BALAZS, 2006), para o qual devem ser desenvolvidas estratégias para o aumento do bem-estar da comunidade, como as ligações de todas as residências ao sistema de abastecimento, com acesso à água tratada e meios de exploração do açude para o complemento de renda.

### **Implantação dos instrumentos de gestão**

Os instrumentos de gestão preconizados pela Lei Nº 9.433/1997, citados anteriormente, também devem ser aplicados no âmbito dos pequenos sistemas (ARAÚJO, 2011; VIEGAS FILHO, 2004). Para o açude Paus Branco, a efetivação dos instrumentos deverá ser guiada pelas recomendações a seguir.

O Plano de Bacia envolve a definição de diretrizes e critérios de aplicação do enquadramento, da cobrança, da outorga e da fiscalização (BEZERRA E SILVA et al., 2005) e deve ser feito em dois níveis: da grande e da pequena bacia (ARAÚJO, 2011). No Plano da Bacia do Jaguaribe, cuja Bacia do Banabuiú se constitui em sub-bacia, devem ser inseridos os pequenos açudes: a localização, as ameaças ou o favorecimento aos grandes e estratégicos açudes.



O Plano da bacia do açude Paus Branco deve consistir de um Plano Diretor, que deve constar do seu estudo hidrológico, com as suas potencialidades, os problemas e as suas possíveis soluções (ver CIRILO et al., 2003; ELLERY et al., 2010; PASSERAT DE SILANS, 2004; ROSADO; MORAIS, 2010). Deve constar do trabalho de diagnóstico, que já foi iniciado com este estudo, além dos de Feitosa (2011) e Pinheiro (2011), que levantaram as questões ambientais, como a identificação e estimativa das cargas poluidoras do açude, a situação do saneamento básico na bacia hidrográfica e no entorno do açude, o balanço da disponibilidade *versus* demanda. Para atualização dessas demandas, é necessária a realização do cadastro de usuários, que tem como objetivo identificá-los, conhecer a sua localização, as suas necessidades hídricas mensais, os hábitos de consumo e as finalidades de uso, entre outros aspectos.

No trabalho de prognóstico, devem ser incluídas as prioridades dos usos, as projeções das demandas futuras, o plano de manejo de resíduos sólidos, a avaliação das condições da água do açude e o plano de monitoramento hidrológico. Deve abranger, também, um plano de saneamento básico na comunidade e uma proposta de recuperação das áreas desmatadas. Para esse último item, deve-se partir da delimitação da área de proteção permanente – APP, para a verificação da sua ocupação e posterior plano de recuperação de mata ciliar.

No que tange à qualidade da água do açude, para a redução do índice de estado trófico, além das medidas sanitárias, detalhadas a seguir, deve ser previsto um plano de biorremediação, ou seja, o uso de organismos vivos para a redução dos nutrientes presentes no açude. Consiste em uma alternativa ecologicamente mais adequada e eficaz para tratamento de ambientes poluídos ou contaminados (GAYLARDE et al., 2005). Kasprzak et al. (2003) realizaram experimento no lago eutrofizado Haussee Feldberger, na Alemanha. O programa consistia da redução do lançamento de nutrientes no lago, associado à retirada de peixes do tipo ciprinídeos (ornamentais) e inserção de peixes piscívoros (predadores). O procedimento, considerado de longo prazo, reduziu a biomassa de algas e a concentração de fósforo, reestabelecendo a qualidade da água do lago. Radke et al. (2003), também na Alemanha, realizaram uma experiência exitosa com biomanipulação com peixes do tipo salmonídeos (p.ex. truta) como ferramenta para melhorar a qualidade da água em um reservatório para abastecimento humano, com teores de fósforo provenientes de fontes não pontuais.

Para solucionar as questões relativas ao saneamento, na elaboração do plano deve ser realizado um levantamento da quantidade de fossas verdes necessárias e a programação de sua implantação, já que somente doze fossas foram construídas na comunidade. Esta é uma questão, que deve ser conduzida pela Comissão Gestora, buscando o apoio da Prefeitura

Municipal de Madalena. A CG deve articular, também, um regime de mutirão para implantação dessas fossas, visto que seu custo fica cerca de 50% mais barato. Valores fornecidos pelo Projeto Fossa Verde indicam que a fossa com e sem regime de mutirão custam 450 e 850 reais, respectivamente.

O sistema Fossa Verde ou Tanque de Evapotranspiração Biosséptico, é uma técnica disseminada pelo Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado (ECOCENTRO IPEC). Além das 70 instalações no Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, doze das quais na comunidade de Paus Branco, foram instaladas em comunidades costeiras de Icapuí, Ceará, pelo Projeto de Olho na Água. A Figura 44 mostra uma fossa verde com seis meses de instalação. Para detalhes construtivos ver Pinheiro (2011).



**Figura 44** – Fossa verde com seis meses de instalação, Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, Madalena, Ceará.

A estação de tratamento de água instalada na comunidade deve ser ativada pela Cagece, deixando de ser apenas um “reservatório” de água. A água que passa pela ETA deve ser analisada, tratada, e entregue à população obedecendo aos padrões estabelecidos pela legislação vigente: Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e Resolução Conama Nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

As regras de uso e acesso à água devem ser continuamente desenvolvidas e/ou modificadas, para responder às oportunidades e limitações que vão surgindo não só devido ao regime pluviométrico das regiões semiáridas, mas também devido às dinâmicas sociais.

Deverá ser incluído no plano da bacia do açude Paus Branco, um plano emergencial contra as secas, aqui denominado de “Alternativa 2”, contendo medidas a serem tomadas para o suprimento de água à população, conforme Figura 45.

- i. Com a escassez de chuvas e a observação da depleção do volume, deverá ser realizado um levantamento da demanda dos usos de abastecimento humano, dessedentação animal e uso doméstico;
- ii. Na permanência da escassez de chuvas e na previsão de atingimento de cota de porão do reservatório, que para fins de maior aproveitamento, pode-se deixar chegar a 5% da capacidade total, a estratégia prevê o abastecimento da população por meio de carros pipa. Nesse caso, o fornecimento deve se dar, preferencialmente, às cisternas, ou seja, seria a garantia do fornecimento para a dessedentação humana e para o uso doméstico. Para quem não dispõe de cisternas, a água, em menor quantidade, poderá ser armazenada em reservatórios domésticos por até três dias, para evitar contaminação;
- iii. O manancial indicado para a captação deve ser o açude Quieto, também conhecido como Marengo, o maior açude do Assentamento 25 de Maio/São Joaquim, com capacidade de acumulação de 16 hm<sup>3</sup>, cujo levantamento batimétrico realizado no início de 2012, pelo Projeto ECoMaSD<sup>4</sup>;
- iv. Para a dessedentação animal, a Prefeitura Municipal deverá construir, em caráter emergencial, bebedouros em locais estratégicos da comunidade, para que os animais tenham acesso à água;
- v. Deve ser considerada a possibilidade de construção de poços para abastecimento humano. No caso da água ser salobra, o que não é raro nessa região, recomenda-se a instalação de dessalinizadores comunitários, com utilização do processo de osmose reversa. Para isto, a Superintendência de Obras Hidráulicas – Sohidra deve ser acionada;
- vi. Para que todo o abastecimento não fique dependente somente de carros pipa, deverá ser viabilizada pela Prefeitura, por meio de parcerias, a construção de uma adutora do açude Quieto até a Estação de Tratamento de Água da Comunidade de Paus Branco. A adutora terá, aproximadamente, vinte quilômetros de extensão, e

---

<sup>4</sup> Estudo comparativo de manejo de recursos hídricos em duas bacias tropicais latino-americanas sob diferentes condições ambientais: Bacia de Madalena, Ceará, Brasil e Bacia do Rio San Diego, Pinar del Rio, Cuba, financiado pela CAPES/MES, Proc. Nº 097/2010.

seu traçado deverá, por questões de economia, aproveitar o eixo da estrada de terra que liga as duas comunidades.

A respeito da construção de poços e instalação de dessalinizadores, Porto et al. (2004) explicitam o sistema de produção integrada, desenvolvido pela Embrapa Semi-Árido para reaproveitamento dos rejeitos dos dessalinizadores de água salobra, com o objetivo de redução dos impactos ambientais causados por esses efluentes. O sistema é constituído por quatro subsistemas dependentes que se complementam em uma cadeia sustentável, são eles: obtenção de água potável para consumo humano (dessalinização via osmose reversa); produção de tilápia rosa (tanques com o rejeito do dessalinizador); produção de forragem irrigada (plantações de erva-sal<sup>5</sup> irrigadas com o efluente dos tanques) e engorda de caprinos e ovinos (erva-sal como forragem). As unidades produtivas envolvem recursos comuns e exigem uma gestão coletiva.

O enquadramento tem o propósito de proteção dos níveis de qualidade dos recursos hídricos, que considera que a saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico-aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas (LEEUEWESTEIN; MONTEIRO, 2000).

Sabiá (2008) realizou estudos no rio Salgado, no Cariri Cearense, com o objetivo de propor uma metodologia de enquadramento de um trecho do rio. Para isto, fez um trabalho de diagnóstico da qualidade da água e analisou os impactos de diversos padrões de emissão. Desta forma, realizou um experimento social com membros do Comitê do Salgado e os atores sociais, subsidiando discussões sobre o enquadramento, a qualidade adequada e possível para a bacia. De acordo com os estudos realizados pelo autor, foi firmado um acordo de enquadramento do trecho do rio em classe III.

Apesar das dificuldades metodológicas para o enquadramento de corpos hídricos no semiárido, dados fatores como a intermitência dos rios e a ausência de legislação específica para ambientes com alterações sazonais, o plano de monitoramento periódico do açude Paus Branco deve ser aliado ao plano de mitigação de impactos, proporcionando subsídios às discussões dos padrões de emissão de poluentes, gerando-se, assim, acordos com vistas ao controle da qualidade da água, a exemplo da experiência realizada por Sabiá (2008).

A outorga de direito de uso deverá sempre ser concedida mediante estudo técnico da disponibilidade hídrica do reservatório, semelhante ao que já se aplica aos grandes açudes,

---

<sup>5</sup> Atriplex Nummularia, planta halófito originária da Austrália.

sendo que nesse caso, como o açude é de porte pequeno, as avaliações deverão ocorrer de ano a ano. Reis (2002), em estudo sobre os critérios de outorga em ambiente semiárido, detalha a política de operação padrão dos reservatórios, normalmente aplicada ao Nordeste Brasileiro, que trata do compartilhamento equitativo do risco de falha entre todos os grupos de usuários, alertando que, em alguns casos, pode limitar as expansões dos usos da água. O autor ressalta a importância de os pequenos reservatórios (considerados pelo autor os de volume inferior a 20 hm<sup>3</sup>) terem uma alocação anual.

Para esta avaliação, foi utilizada técnica de regionalização de vazões através do modelo SMAP/DS (ver detalhes da metodologia no capítulo 3) para a obtenção do volume médio afluente anual, cujo resultado aponta para 2,0 hm<sup>3</sup>/ano. Para o conhecimento da disponibilidade hídrica, utilizou-se o modelo VYELAS (ARAÚJO et al., 2006), realizando-se as simulações de vazões outorgáveis e obtendo-se para a garantia de 90% (Q<sub>90</sub>) o equivalente a 2,535 hm<sup>3</sup>/ano. Desta forma, a vazão outorgável, de acordo com a legislação do Estado do Ceará, seria de 90% de Q<sub>90</sub>, ou seja, 2,281 hm<sup>3</sup>/ano.

A cobrança pelo uso da água deve constar no Plano, porém não para custeio de manutenção e operação do sistema de gestão (VIANA, 2011), mas como uma medida de eficiência econômica, racionalização de seu uso e internalização apropriada de custos sociais (VIANNA et al., 2006).

Araújo et al. (2005) realizaram um estudo sobre o custo de disponibilização e distribuição da água por diversas fontes no Ceará, onde obtiveram um custo de referência de 0,142 R\$/m<sup>3</sup> para água proveniente de açudes com vazão outorgável com 90% de garantia. Este valor, atualizado pelo INCC<sup>6</sup> para dezembro de 2011, seria de 0,33 R\$/m<sup>3</sup>. No caso do sistema Paus Brancos, diante da realidade da comunidade de assentados, onde, invariavelmente, as condições socioeconômicas não são favoráveis, a cobrança, neste momento, não seria viável.

Corroboram com esta afirmação Bruno e Dias (2004), em estudo sobre a capacidade de pagamento em assentamentos rurais, indicam que a baixa condição socioeconômica dos assentados induz a uma baixa capacidade de pagamento. Caetano (2010) estudou o impacto do aumento do crédito nos agricultores familiares do assentamento Vereda I, no Distrito Federal, e expôs a fragilidade da economia dos assentados, que dependem de renda extra para a sustentabilidade das famílias.

---

<sup>6</sup> Índice Nacional da Construção Civil é o índice que apura a evolução dos custos no setor de construção considerando os setores de materiais, equipamentos, serviços e mão de obra, e abrange as cidades de Recife, Salvador, Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Brasília, e Porto Alegre.

Araújo (2011) afirma que a cobrança pode ser implantada nos pequenos sistemas desde que venha a ser efetivamente um instrumento de gestão, não uma fonte de arrecadação ou uma fonte de impedimento do acesso à água. Portanto, a menos que sejam realizados estudos e comprovada a capacidade de pagamento dos usuários do açude Paus Branco, por enquanto não deve ser considerada a aplicação do instrumento de cobrança.

Abers e Jorge (2005) afirmam que, na ausência da cobrança, os órgãos responsáveis pela gestão, em qualquer nível, se dedicam a uma grande variedade de outras atividades, como a elaboração de planos de bacia, a resolução de conflitos, a discussão de projetos públicos, a promoção de parcerias locais, a realização de ações de educação ambiental.

O sistema de informações é composto por instrumentos essenciais para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, a partir dos quais, informações tais como diferentes usos do solo, disponibilidade hídrica, medidas de proteção, conservação dos corpos de água e monitoramento dos padrões de qualidade, são derivadas e disponibilizadas (ALMEIDA et al., 2009). Deve contemplar, também, dados que ofereçam suporte para a administração da água e instrumentos para tomada de decisão (CIRILO et al., 2000).

No caso do açude Paus Branco, o sistema de informações deve ajudar a comunidade a entender o comportamento hidrológico do açude e a qualidade das suas águas, subsidiando ações de controle e acompanhamento do corpo hídrico. Bezerra e Silva et al. (2005) afirmam que ao ampliar a participação na gestão, também cresce a demanda por dados e informações relevantes para que as decisões sejam tomadas com segurança.

Um método prático pode ser implantado para o acompanhamento e controle dos regimes de oferta e demandas, semelhante ao proposto por Almeida e Diniz (2001), que desenvolveram um sistema para o gerenciamento de pequenos açudes da Paraíba, que consiste de simulação do esvaziamento de cada manancial suficiente para definir regras operacionais. Para tanto, é necessária a instalação de réguas limnimétricas, para o acompanhamento do nível do açude, bem como o uso de ferramenta computacional, que pode ser feita com o acompanhamento da Gerência Regional Cogerh Banabuiú.

Para a composição do banco de dados do monitoramento quantitativo, portanto, deverá ser armazenado o nível d'água diário do açude, obtido através da leitura das réguas limnimétricas, que deverá ficar a cargo de um morador do entorno do açude, previamente treinado para a função de leiturista.

Para a criação de um banco de dados de monitoramento, pode ser utilizada uma sonda multiparamétrica de qualidade de água, de modelo de simples operação, a qual fornece os parâmetros temperatura da água, transparência, pH, salinidade, Oxigênio Dissolvido, turbidez



e condutividade elétrica. Devem ser escolhidos pontos representativos da bacia hidráulica para o monitoramento, que deve ocorrer mensalmente. A partir daí, deve ser criado um banco de dados para posterior divulgação para a comunidade. O banco de dados deverá, também, ser incorporado ao banco de dados da rede de monitoramento de qualidade de água da Cogerh.

Araújo (2011) sugere que as informações sejam fornecidas à comunidade em forma de publicação mensal de boletim. Isto feito, deverá ser de grande valia para a comunicação entre a CG e os usuários, além de facilitar as tomadas de decisões.

### **Disciplinamento de usos impactantes**

A gestão dos usos da água tem se tornado assunto prioritário, devendo ser orientada para o seu uso racional, através do controle da poluição dos reservatórios; do seu armazenamento em cisternas, açudes e do tratamento de águas poluídas (ROSADO; MORAIS, 2010).

Galizoni et al. (2008) asseguram que as estratégias de disciplinamento de uso devem ser ajustadas às especificidades do acesso à água. Os autores consideram que as soluções devem ser “personalizadas” regionalmente e devem aproveitar as iniciativas locais de aprendizado de gestão comunitária e o atendimento às necessidades das famílias.

Os usos competitivos mais marcantes ocorrem quando o manancial serve ao abastecimento humano, ao mesmo tempo que à diluição de dejetos e à dessedentação animal, com os animais tendo acesso livre ao recurso hídrico (NASCIMENTO; AIRES, 2011).

Na bacia hidrográfica do açude Paus Branco, um dos usos mais impactantes na qualidade da água é a criação de animais soltos e com acesso direto a sua bacia hidráulica. Uma das soluções para este problema, sem prejuízo para a pecuária local, pode ser a indicada por Wilson (2007), que recomenda que a água destinada ao gado e outros animais de criação deve ser destinada em bebedouros, que evitam seu acesso ao açude, evitando a contaminação da fonte e deixando que a destinação ao consumo humano se dê de forma mais segura. O autor defende, ainda, que as políticas de gestão devem abranger todos os usos e envolver questões mais amplas, como as sociais, a educação ambiental e a saúde.

Outra solução viável seria a de cercar parte do açude Paus Branco, como forma de evitar o acesso dos animais a sua bacia hidráulica e destinar um pequeno açude somente para a dessedentação animal (“açude bebedouro”) e, neste caso, o indicado seria um açude que se localiza a menos de um quilômetro da barragem do Paus Branco, nas coordenadas UTM 446.502 E; 9.459.930 N (SAD 69) e que não vem sendo utilizado para abastecimento doméstico.

Brasileiro (2009) indica, para regiões semiáridas, práticas sustentáveis de produção na agricultura, entre elas a qualificação dos agricultores para a agroecologia, que pode proporcionar uma relação mais equilibrada do ser humano com o meio natural.

Recomendam-se, como solução da questão de saneamento, que sejam instaladas mais fossas verdes no entorno do açude Paus Branco. De acordo com Pinheiro (2011), foram instaladas doze fossas verdes nas residências do entorno. No assentamento, ao todo, foram instaladas 70 fossas verdes. Quanto à presença de parasitas intestinais na água, Coelho et al. (2001) indicam que, além da instalação de fossas, deve ser incentivado o uso de filtros de água nas residências.

No tocante à poluição já detectada na água do açude Paus Branco, é importante que seja implantada uma rede de monitoramento comunitário, conforme já mencionado anteriormente, a exemplo do implantado no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais (ver NASCIMENTO; AIRES, 2011) e em várias localidades rurais da bacia do rio Jaguaribe, no Ceará (ARAÚJO et al., 2007; GIRÃO; FUCK JÚNIOR, 2007; FIGUEIREDO et al., 2008). As experiências exitosas fazem parte do Programa Vigilantes Globais da Água (*Global Water Watch*), que prevê ações como a capacitação dos membros das comunidades; levantamento sobre os recursos naturais; diagnóstico da microbacia e planejamentos das ações; monitoramento dos corpos hídricos, controle bacteriológico e redução da contaminação dos recursos hídricos.

Sua implantação consiste, basicamente, em duas etapas (FIGUEIREDO et al., 2008): 1) treinamento: consiste na capacitação dos participantes para o uso de tecnologias como os kits bacteriológicos empregados nas campanhas de monitoramento; e 2) monitoramento: os “vigilantes” capacitados realizam a escolha de pontos prioritários dentro da microbacia, os quais serão alvos das campanhas de coletas e análise de amostras de água. Ressalta-se que o programa monitora a presença de contaminação fecal (*E. Coli*), dados que devem ser inseridos no banco de dados de monitoramento qualitativo do açude.

A gestão dos recursos hídricos, em qualquer escala, portanto, implica não só na manutenção dos ecossistemas, mas também na preocupação com as outras dimensões do desenvolvimento sustentável, tais como o uso eficiente da água, a sua distribuição equitativa e os benefícios gerados pelo recurso. Para isso, devem ser geradas abordagens participativas para a formulação de políticas e tomada de decisão (IORIS et al., 2008).



#### 4.4. Conclusões e Recomendações

Diante da necessidade de gerenciamento em pequena escala, detectada por ocasião da aplicação dos 524 questionários socioeconômicos, foi elaborado um modelo de gestão baseado nos instrumentos de gestão inseridos pela Lei Nº 9.433/1997. No entanto, o modelo vai além, apontando soluções para o conflito e incompatibilidade do uso do pequeno açude para dessedentação animal e abastecimento humano. Além disso, o modelo indica uma alternativa para o abastecimento em períodos de estio severo.

O açude Paus Branco é um exemplo típico de pequeno sistema do semiárido nordestino, que serve a múltiplos usos; tem conflitos implantados; é poluído e não é monitorado pelo órgão de gestão.

Os usos relatados pelos entrevistados foram o doméstico, a pesca e a dessedentação animal. Entre os muitos problemas detectados, podem ser citados a poluição do açude, que está eutrofizado; a falta de gestão dessas águas; o desconhecimento da comunidade da existência do Comitê do Banabuiú e, portanto, a não participação nas decisões, do conhecimento do atual estado do reservatório, tanto em termos quantitativos, quanto qualitativos, nem das medidas mitigatórias dos impactos.

Diante da importância do açude para a comunidade e do seu estado de poluição, as principais medidas constantes no modelo de gestão proposto para o sistema são:

- A formação de uma Comissão Gestora, para legitimar a gestão participativa. Na sua composição deverá ter, pelo menos, um representante de cada uma das quatro associações (Associação dos Assentados de Paus Branco, Associação Nova Conquista de Paus Branco, Associação Cooperação Agrícola de Paus Branco e Associação das assentadas de Paus Branco Unidas para Vencer); um representante do Comitê do Banabuiú; usuários da água do açude; um representante do INCRA; um representante do Posto de Saúde (Programa de Saúde da Família), um Agente de Saúde e um professor de cada uma das duas escolas;
- Como medida para a melhoria da qualidade da água do açude, sugeriu-se a biorremediação, através da inserção de peixes ou outros organismos no ecossistema, a fim de reduzir a concentração de nutrientes;
- Para a garantia do consumo de água dentro dos padrões de potabilidade, recomendou-se a ativação do processo de tratamento de água na ETA Paus Branco. Associadas a isto, devem ser realizadas, junto à população, campanhas de conscientização da necessidade de tratamento da água a ser consumida;

- O açude Paus Branco deverá ser cercado, evitando o acesso dos animais à água. Os animais deverão ser desviados a um pequeno açude nas proximidades, o qual será destinado apenas para dessedentação animal, ou seja, “açude bebedouro”;
- A elaboração de um plano para os períodos de estiagem (Alternativa 2), com medidas emergenciais, como o abastecimento através de água captada no açude Quieto, fornecidas por carros pipa e, em médio prazo, a construção de uma adutora do açude Quieto até a ETA da Comunidade de Paus Branco.

É importante salientar que os sistemas de gestão comunitária são dinâmicos, devendo ser permanentemente monitorados e avaliados. Com a aplicação desse modelo, é esperado garantir a inserção da comunidade no processo de gestão para que tenha acesso à água em quantidade e qualidade para o desenvolvimento das suas atividades; que os problemas ambientais sejam sanados ou, pelo menos, minimizados, e que o processo participativo torne a comunidade corresponsável pela manutenção do ambiente em que vive.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação de 524 questionários socioeconômicos realizada no âmbito desta tese permitiu o conhecimento da função social dos pequenos açudes no suprimento de água à população rural. Foi possível constatar que os mananciais, considerados muito importantes para os usuários, garantem não só o abastecimento doméstico, mas também suporte às suas diversas atividades, como a criação de animais, a pesca e, em poucos casos, a irrigação. Assim, tornam-se fonte para benefícios econômicos e não econômicos. Porém, nas localidades onde os usuários dispõem de cisternas de placa, os açudes passaram a ter a função de “grandes tanques bebedouros” para dessedentação animal, que o torna incompatível com outros usos, especialmente os mais nobres, como abastecimento humano.

A principal combinação de fontes de água é pequeno açude e cisterna. As cisternas representam a principal fonte de abastecimento para a dessedentação humana, servindo de reservatório de água de chuva nos períodos úmidos e de água proveniente de açudes, através de carros-pipa, nos períodos de estiagem.

Foi observado, também, que a população não tem apoio técnico e nem informações necessárias para a exploração correta dos açudes, por esse motivo são observadas práticas poluentes, como a criação de animais soltos e a lavagem de roupas nas margens dos corpos hídricos. Além disso, falta orientação para maior proveito da água disponível, como a criação de patos, a piscicultura extensiva e a prática da agricultura familiar, medidas essas que poderiam diversificar as atividades no meio rural e garantir maior fonte de renda e melhor nutrição dos beneficiados. Portanto, mesmo manifestando interesse em permanecer no campo, os usuários de pequenos açudes não contam com um plano de gestão eficiente para a garantia hídrica, em quantidade e qualidade. A manifestação de vontade de permanecer no campo pode estar associada à satisfação quanto à disponibilidade de água dos pequenos açudes para manutenção de suas atividades e consequente geração de renda e melhoria da qualidade de vida.

No que diz respeito à caracterização hidrológica desses pequenos sistemas, a equação empírica proposta por Molle foi a que apresentou os resultados mais consistentes nas estimativas da capacidade de acumulação de dez reservatórios monitorados do Ceará.

Nas estimativas das afluências médias anuais, realizadas a partir de quatro modelos chuva-deflúvio, o modelo SMAP com parâmetros calculados por mineração de dados, de acordo com Diniz e, posteriormente, com Silva (DS), foi o que melhor reproduziu os padrões hidrológicos das pequenas bacias estudadas, sugerindo maior confiabilidade no cálculo

hidrológico de bacias não monitoradas. Esse resultado é de grande relevância, posto que até o momento outros modelos chuva-deflúvio, tais como Molle e Cadier; Número da Curva (CN) do SCS e equação de Aguiar eram os utilizados para bacias não monitoradas na região semiárida. Com isto, espera-se que a utilização do modelo SMAP/DS eleve o padrão de qualidade dos projetos e da gestão de pequenas bacias não monitoradas.

Quanto às estimativas de disponibilidade hídrica, a aplicação do modelo VYELAS para os pequenos açudes demonstra que alguns desses não conseguem regularizar vazões minimamente significativas, com 99% de garantia anual. Devido à sua baixa eficiência em anos secos e sua maior susceptibilidade ao regime de vazões, a avaliação de disponibilidade hídrica para outorga deve ser feita anualmente.

Diante da necessidade de gerenciamento em pequena escala, em nível de pequenos sistemas, foi proposto um modelo, tendo o mesmo sido aplicado no sistema Paus Branco, Madalena, Ceará, visitado na etapa de aplicação de questionários e que vem sendo acompanhado há quatro anos. O modelo é baseado nos instrumentos de gestão preconizados pela Lei das Águas (outorga, cobrança, enquadramento, plano de bacia e sistema de informações), mas vai além, propondo medidas que auxiliem os atores sociais a solucionar os problemas relativos à oferta de água.

Para contribuir com a formação de bases sólidas de cooperação e participação, foi proposta a formação de uma comissão gestora do sistema, cuja composição abrangente, envolvendo os diversos seguimentos de atores sociais e do poder público, deverá legitimar a gestão participativa na bacia e colaborar com o processo de definição dos acordos que garantirão o funcionamento do modelo de gestão.

Diante das simulações das diversas garantias, constatou-se que, embora se tenha como justificativa as questões de segurança hídrica, a “obrigatoriedade” de outorgar com base no  $Q_{90}$ , no caso do Ceará, pode estar limitando a expansão de algumas atividades, na maior parte do tempo. Portanto, sugere-se aos órgãos de gestão, que nos açudes não estratégicos (ou seja, os que não abasteçam grandes populações), em anos úmidos, as outorgas sejam concedidas com base em garantias menores, como 85%, para possibilitar a expansão dos sistemas produtivos. Nos anos secos, ou períodos de estiagem prolongada, foi sugerido um plano, denominado de Alternativa 2, que deve conter medidas tanto em caráter emergencial, quanto a serem tomadas no curto prazo, como o abastecimento através de água captada no açude Quieto, fornecidas por carros pipa e, no médio prazo, a construção de uma adutora desse açude até a ETA da Comunidade de Paus Branco.

Para as questões relacionadas à qualidade da água do açude, que está eutrofizado, o modelo propõe que seja realizada a biomanipulação, com o objetivo de reduzir a concentração de nutrientes na água. Esta água, ao ser bombeada para a ETA Paus Branco, deverá ser analisada e tratada periodicamente, de modo que a água a ser consumida pela população esteja em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

Com o objetivo de evitar a contaminação da água proveniente dos excrementos dos animais, o açude Paus Branco deverá ser cercado, nos pontos acessíveis ao gado. O rebanho deverá, então, ser desviado para um pequeno açude nas proximidades, que deverá ser destinado tão somente para dessedentação animal, tornando-se, portanto, um “açude bebedouro”. Esta proposta foi construída mediante a constatação da iniciativa da população local na confinação dos suínos, não somente em cumprimento a uma lei municipal, mas por questões de conscientização da poluição causada por esses animais quando soltos.

Como recomendação desta tese de doutorado, sugere-se que, em estudos futuros, seja aplicado o modelo proposto, como um “projeto piloto” de construção do processo de gestão participativa em pequenos sistemas. Desse modo, é esperado que se construam acordos de cooperação para que os problemas ambientais e sociais advindos dos usos mal administrados sejam sanados, com a corresponsabilidade da comunidade, e que o aproveitamento do pequeno sistema gere mais água, riqueza e saúde.

No tocante às questões ligadas à disponibilidade hídrica, um dos maiores problemas enfrentados é a escassez de dados hidrológicos e suas séries históricas. A rede de estações hidrometeorológicas é insuficiente e apresenta falhas de manutenção, reduzindo, significativamente, a precisão dos dados registrados. Em vista disso, recomenda-se a ampliação da rede, principalmente em regiões de escassez hídrica, como o semiárido brasileiro. Recomenda-se, ainda, a alimentação dos bancos de dados hidrológicos com registros feitos por comissões gestoras de pequenos sistemas, conforme a proposta para o açude Paus Branco.

## BIBLIOGRAFIA

ABERS, R.; JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Ambiente & Sociedade*, v.8, n. 2, jul./dez. 2005.

ACACE. Associação de Cooperação Agrícola do Estado do Ceará. *Plano de recuperação do projeto de assentamento São Joaquim*. Madalena-CE, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Consumo de água por criações*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso: 02 mai. 2012.

AGRA, S. G.; SOUZA, V. C. B. de; NEVES, M. G. F. P. DAS; CRUZ, M. A. S. Metodologias de Regionalização de Vazões: Estudo Comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2003. Curitiba, 2009. *Anais...*Curitiba: ABRH.

AGUIAR, F. G. Estudo Hidrométrico do Nordeste Brasileiro. *Boletim da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS)*, v. 13, n.1, Rio de Janeiro, jan/mar, 1940.

AIT IHAJ, A.; MIMOUNI, A. SEDKI, M.; WIFAYA, A.; RHAJAOU, M. LAAMRANI, H.; BOELEEE, E.; DEPLAEN, R. Gestion des petits barrages et interaction eau-écosystème: une Évaluation communautaire participative. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL AGRICULTURE DURABLE EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE (AGDUMED), Maroc, 2009.

ALBINATI, R. C. B. Aqüicultura em pequenos açudes no semiárido. *Revista Bahia Agrícola*, v.7, n.2, abr. 2006.

AKINDÈS, F. *Gestion des petits barrages: des jeux d'acteurs complexes*. In: Cecchi, P. (Ed.) *L'eau en partage: Les petits barrages de Côte d'Ivoire*. Paris: IRD, 2007. 302p.

AKO, A.A.; EYONG, G. E. T.; NKEN, G. E. Water Resources Management and Integrated Water Resources Management (IWRM) in Cameroon. *Water Resource Management* (2010) 24:871–888.

ALEXANDRE, A.M.B. *Regionalização de Vazões Máximas, Médias e Parâmetros de Modelos Hidrológicos do Estado do Ceará*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005. 117f.

ALEXANDRE, A. M. B.; MARTINS, E. S. P. R.; CLARKE, R. T.; REIS JUNIOR, D. S. Regionalização de Parâmetros de Modelos Hidrológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2005. João Pessoa, 2005. *Anais...* João Pessoa: ABRH.

ALEXANDRE, A.M.B; MARTINS, E.S.P.R. Regionalização de vazões médias de longo período para o Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.10, n.3, Jul/Set 2005, 93-102.

ALMEIDA, C. A. S. *O processo de participação das famílias das comunidades Paus Ferro e Paus Branco do Assentamento Rural 25 de maio/São Joaquim no Projeto Fossa Verde*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Serviço Social) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011. 80f.

ALMEIDA, C. N.; DINIZ, L. S. Método simples para gerenciamento de pequenos açudes da região Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14, 2001. *Anais...* Aracaju, 2001.

ALMEIDA, C.N.; PASSERAT DE SILANS, A.M.P.; ROEHRIG, J.; WENDLAND, E. Novas Tecnologias de Informações em Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.14, n.2 Abr/Jun 2009.

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; SOUZA, C.A.M. Relação entre cobertura florestal e resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal, 2009. *Anais...*Natal: INPE.

ALMEIDA NETO, J. A.; CRUZ, R. S.; ALVES, J. M.; PIRES, M. M.; PARENTE JÚNIOR, E. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004. *Anais...*Campina Grande, 2004.

ALVES, J. M. B; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A.; VITORINO, M. I.; FERREIRA, N. S. Episódios de La Niña na bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, (12), n.1, 63-76. 1997.

AMARAL, L. A.; NADER FILHO; A.; ROSSI JÚNIOR, O.D.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista de Saúde Pública*; v. 37, n.4, 2003.

ANDRADE, E.M.; PORTO, M.M.; COSTA, R.N.T.; MEIRESLES, M.; CARNEIRO NETO, J.A. Regionalização de modelos de vazões médias de longo período para o Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, Vol. 35, Número Especial, out., 2004: 139 – 148.

ANNOR, F. O.; GIESEN N. van de; LIEBE, J.; ZAAG, P. van de; TILMANT, A.; ODAI, S.N. Delineation of small reservoirs using radar imagery in a semi-arid environment: A case study in the upper east region of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34 (2009) 309–315.

ARAÚJO, J. C. Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.2, p.39-56, 2003.

ARAÚJO, J. C. *Gestão das águas de pequenos açudes na região semiárida*. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (Ed.) Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 440 p.

ARAÚJO, J. C.; 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.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hidrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques*. 51(1) February, 2006.

ARAÚJO, J. C.; MEDEIROS, P. H.A. Water availability reduction in reservoirs for different sediment yield scenarios in a semiarid watershed. In: WORLD WATER CONGRESS, 13, 2008. Montpellier, 2008. *Anais...* Montpellier: IWRA, 2008.



ARAÚJO, J. C.; MOLINAS, P.A.; JOCA, E.L.L.; BARBOSA, C.P.; BEMFEITO, C. J. S.; BELO, P.S.C. Custo de Disponibilização e Distribuição da Água por Diversas Fontes no Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 36, n. 2, abr-jun. 2005.

ARAÚJO, L.B.C.; ALMEIDA, C.A.S; SANTANA, I.V.F. Condições socioambientais do Assentamento rural 25 de Maio/CE: Um estudo a partir do Projeto Fossa Verde no semiárido. In: JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 5, 2011. *Anais...*São Luís: UFMA, 2011.

ARAÚJO, T. M. S.. GIRÃO, E. G. ROSA, M. de F. ARAÚJO, L de F. P. Monitoramento participativo da qualidade da água de fontes hídricas em comunidades rurais: o caso de Santa Bárbara. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA E MANEJO DE ÁGUAS DE CHUVA: PESQUISA, POLÍTICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 6, 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: UFMG, 2007.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v.2, p.27-38, 2005.

BALAZS, A. C. *Rural Livelihoods and Access to Resources in Relation to Small Reservoirs: A Study in Brazil's Preto River Basin*. Masters Project (Energy and Resources Group). University of California, Berkeley, 2006. 82f.

BARKER, R., DAWE, D.; INOCENCIO, A. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture. *International Water Management Institute*, CAB International, Colombo, Sri Lanka, 2003.

BARRETO, F. H.; LEPRUN, J. C.; CADIER, E.; CAVALCANTE, N. M. C.; HERBAUD, J. J. M. Classificação hidrológica de pequenas bacias hidrográficas no semi-árido Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8, 1989. *Anais...*Foz do Iguaçu: ABRH, 1989.

BARROS, S. V. A. *Otimização dos usos múltiplos em pequenos açudes na bacia do açude de Sumé-PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. 163f.

BECU, N.; PEREZ, P.; WALKER, A.; BARRETEAU, O.; LE PAGE, C. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand – Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling* 170 (2003) 319-331.

BESKOW, S.; MELLO, C. R. DE; COELHO, G.; SILVA, A.M. da; VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:169-178, 2009.

BEZERRA, B.G. *Obtenção da evapotranspiração diária no Cariri Cearense utilizando imagens Landsat 5-TM e o algoritmo SEBAL*. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. 135f.

BEZERRA E SILVA, F.C.; BARRETO, S.R.; NABINGER, V. (Orgs.) *Reflexões & dicas para acompanhar a implementação dos sistemas de gestão de recursos hídricos no Brasil*. Brasília: WWF-Brasil, 2005. 78p.

BOELEEE, E.; CECCHI, P.; KONE, A. *Health impacts of small reservoirs in Burkina Faso*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2009. 50p. (IWMI Working Paper 136).

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. *Lex*. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/leis2.asp>>. Acesso em: 11 nov.2007.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Programa Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos efeitos da seca – PAN-Brasil. Brasília: MMA/SRH, 2004.

\_\_\_\_\_. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Ministério da Integração Nacional, 2005. Disponível em: <[www.integracao.gov.br](http://www.integracao.gov.br)>. Acesso em 02 dez 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=161&idConteudo=9515&idMenu=10197>>. Acesso: 13 dez. 2009.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. *Scientia Plena*, vol. 5, n.5, 2009.

BRUNO, R.A.L.; DIAS, M.M. *As políticas públicas de crédito para os assentamentos rurais no Brasil*. Relatório de Consultoria. Rio de Janeiro, 2004.

BUCHIANERI, V. C. *Geração de série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba*. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 2004.

BURTE, J.; JAMIN, J. I.; COUNDRAIN, A.; FRISCHKORN, H.; MARTINS, E. S. Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies. *Agricultural Water Management* 96 (2009) 1181-1190.

CADIER, E. Hydrologie des petits bassins du Nordeste Brésilien semi-aride: typologie des bassins et transpositions écoulements annuels. *Journal of Hydrology* 182 (1996) 117-141.

CADIER, E.; MOLINIER, M. Les sécheresses du Nordeste Brésilien, *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.*, v. 21, n. 4, 1984-1985, 23-49.

CADIER, E.; ALBUQUERQUE, C.H.C.; ARAÚJO FILHO, P.F.; NASCIMENTO, P.H.P.; MONTGAILLARD, M. Dimensionamento de pequenos reservatórios superficiais do Nordeste Semiárido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8, 1989. *Anais...* Foz do Iguaçu: ABRH, 1989.

CAETANO, M.R. O impacto do aumento do crédito nos agricultores familiares: estudo de caso sobre o assentamento Vereda I, localizado no entorno do Distrito Federal. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48, 2010. *Anais...*Brasília: SOBER, 2010.

CAMARA, A.C.F.C. *Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do rio Gramame (PB)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2003. 210f.

CAMPOS, J. N. B.; LIMA, A. V. C. O início do inverno no Ceará e o dia de São José (19 de março): Uma abordagem Estatística. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1, 1992. *Anais...* Recife: ABRH, 1992. p.253-260.

CAMPOS, J. N. B. *Dimensionamento de Reservatórios: O método do diagrama triangular de regularização*. Fortaleza: UFC, 1996. 112p.

CAMPOS, J. N. B. Modeling the Yield Evaporation Spill in the Reservoir Storage Process: The Regulation Triangle Diagram. *Water Resources Management*, p. 1-25, 2010.

CAMPOS, J.N.B.; STUDART, T.M.C. Variabilidades climáticas e tendências hidrológicas em clima semi-árido. In: ENCUENTRO DE AGUAS, 3, 2001. *Anais...*Santiago: IICA, 2001.

CAMPOS, J. N. B. E STUDART, T. M. C. O Ensino e a Avaliação de Incertezas Hidrológicas Usando Simulação de Monte Carlo. *Revista de Ensino de Engenharia*, ABENGE, set. de 2001. p. 81-94.

CAMPOS, J.N.B.; STUDART, T.M.C.; MARTINZ, D.D.G.; NASCIMENTO, L.S.V. Contribuições ao debate sobre as eficiências de pequenos e grandes reservatórios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.2, Abr/Jun 2003, 32-38.

CANCIAN, L.F.; CAMARGO, A.F.M.; SILVA, G.H.G. Crescimento de *Pistia stratiotes* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. *Acta Bot. Bras.*, vol.23, n.2 São Paulo Apr./June 2009.

CATALDI, M.; ACHÃO, C. C. L.; MACHADO, B. G. F.; SILVA, S. B.; GUILHON, L. G.F. Aplicação das técnicas de Mineração de Dados como complemento às previsões estocásticas univariadas de vazão natural: estudo de caso para a bacia do rio Iguaçu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 83-92, 2007.

CEARÁ. Decreto N° 23.068, de 11 de fevereiro de 1994 (Regulamenta o artigo 4° da Lei N° 11.996, de 24 de julho de 1992, na parte referente à outorga do direito de uso dos recursos hídricos, cria o Sistema de Outorga para Uso da Água e dá outras providências). Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/legislacao/legislacao-estadual>. Acesso: 02 abr. 2012.

\_\_\_\_\_. Decreto N° 26.435, de 30 de outubro de 2001 (Cria o Comitê da Sub-bacia hidrográfica do Banabuiú e institui seu estatuto). Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/legislacao/legislacao-estadual>. Acesso: 02 abr. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei N°. 11.996, de 24 de julho de 1992. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências. *Lex*: Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/legislacao/legislacao-estadual>>. Acesso em: 11 nov.2011.

\_\_\_\_\_. Lei N°. 14.844, de 28 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências. *Lex*: Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/legislacao/legislacao-estadual>>. Acesso em: 03 abr.2012.

CECCHI, P.; GOURDIN, F.; KONÉ, S.; CORBIN, D.; CASENAVE, A. Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire: Inventaire et potentialités hydrologiques. *Sécheresse*, v. 20, n.1, janvier-février-mars, 2009.

CECCHI, P.; MEUNIER-NIKIEMA, A.; MOIROUX, N.; SANOU, B. *Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso*. In: Andreini, M.; Schuetz, T.; Harrington, L. Battaramulla (Eds.). *Small reservoirs toolkit*. Sri Lanka: IWMI, 2009. 23p.

CERQUEIRA, P.S.; ROCHA, A.G. A agricultura familiar e o Pronaf: elementos para uma discussão. *Bahia Análise & Dados*, v.12, n.3, p. 105-117, dez. 2002.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Variáveis de qualidade das águas. São Paulo, 2010. Encontrado em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>. Acesso em 08 mai. 2012.

CHACON, S.S. *O sertanejo e o caminho das águas: políticas públicas, modernidade e sustentabilidade no semi-árido*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 354 p. (Série BNB Teses e Dissertações, n. 08).

CHOW, VEN TE; MAIDMENT, D. R; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1988. 572p.

CIRILO, J. A.; ABREU, G. H. F. G.; COSTA, M. R.; GOLDEMBERG, D.; COSTA, W. D.; BALTAR, A. M.; AZEVEDO, L. G. T. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.4, out/dez 2003, 5-24.

CIRILO, J. A.; OLIVEIRA, B.F. de; AZEVEDO, J.R.G. Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos: O Estado da Arte. In: SEMINÁRIO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS: O ESTADO DA ARTE, 2000. *Separata...* Recife: MMA, 2000.

CIRILO, J.A.; CABRAL, J.; FERREIRA, J.P.L.; OLIVEIRA, M.J.P.; LEITÃO, T.E.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; GOES, V.C. *O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas*. Recife: Editora Universitária, 2007. 508p.

CLARKE, R. T.; DIAS, P.L.S. As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos. CT-Hidro. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação. *Position Paper*, 2002.

COELHO, L.M.P.S.; OLIVEIRA, S.M.; MILMAN, M.H.S.A.; KARASAWA, K.A.; SANTOS, R.P. Detecção de formas transmissíveis de enteroparasitas na água e nas hortaliças consumidas em comunidades escolares de Sorocaba, São Paulo, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 34(5): 479-482, set-out, 2001.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/gestao-participativa/comissoes-gestoras-de-sistemas-hidricos/alocacao-negociada-de-agua/>>. Acesso em: 11 nov.2011.

COLLARD, A.L.; BURTE, J.P.; JACOBI, P. Os modos de gestão da água no semi-árido cearense: A relação dos produtores com a técnica agrícola e doméstica. In: SEMINÁRIO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 5, 2010. *Anais...* Florianópolis: ANPPAS, 2010.

COLLISCHONN, W. *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/IPH, Porto Alegre, 2001. 270f.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.1, p.27-39, 2003.

CONERH. Resolução Nº 2, de 20 de novembro de 2007. Dispõe sobre as Comissões Gestoras de Sistemas Hídricos. *Lex*: Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/legislacao/legislacao-estadual>>. Acesso em: 03 abr.2012.

COSTA, F. J. L. da. *Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial* - 1ª edição – Brasília: Banco Mundial, 2003. 204p.

COSTA, C. A. G.; ALEXANDRE, D. M. B.; MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. Análise de sensibilidade da vazão regularizável em reservatórios de diferentes escalas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009. *Anais...* Campo Grande: ABRH, 2009.

COSTA, R. G.; ALMEIDA, C. C.; PIMENTA FILHO, E. C.; HOLANDA JUNIOR, E. V. SANTOS, N.M.. Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região semi-árida do Estado da Paraíba. Brasil. *Arch. Zootec.* 57 (218): 195-205. 2008.

COSTA NETO, J. F. *Distribuição espacial e temporal do escoamento superficial em bacias hidrográficas*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005. 157f.

COULIBALY, A. *Socio-anthropologie des dynamiques foncières dans le Nord de la Côte d'Ivoire: Droits, autorités et interventions publiques. Etude comparée des villages de Niofoin et de Korokara*. Thèse de doctorat, EHESS Marseille, France, 2003. 365p.

CRUZ, J. C. *Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação dos aspectos técnicos e conceituais*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2001.

CUDENNEC, C.; BEJI, R.; LE GOULVEN, P.; BACHTA, M.S. Analyse des interactions entre ressources en eau et usages agricoles dans le bassin versant de l'oued Merguellil, Tunisie central. *Acts de l'atelier du PCSI*, 2-3 décembre 2003. Montpellier: CIRAD (2003).

CURI, W.F.; CURI, R.C.; CELESTE, A.B. Alocação ótima da água do reservatório Engenheiro Arcoverde para irrigação via programação não linear. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997. *Anais...* Vitória: ABRH, 1997.

DATSENKO, I. S.; SANTAELLA, S. T.; ARAÚJO, J. C. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes da região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SANEAMENTO E ENGENHARIA AMBIENTAL, 20, 1999. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999.

DENARDI, R.A. Agricultura familiar e políticas públicas: alguns dilemas e desafios para o desenvolvimento rural sustentável. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v2, n.3, p. 56-62, jul./set. 2001.



DHAS, M.; VIVEK, K.; PHANSALKAR, S. Water for migrant livestock: issues, concerns and policy. *Livestock Research for Rural Development*, 18, Article 135. 2006.

DINIZ, L. da S. *Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2008. 197f.

DINIZ, L. S. CLARKE, R. T. Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14, 2001. *Anais...* Aracaju: ABRH, 2001.

DINIZ, R. B. N. *Uso de técnicas de mineração de dados na identificação de áreas hidrologicamente homogêneas*. Dissertação (Mestrado em Informática). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

DUBREUIL, P.; MORELL, M.; SECRET, P. Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrol., vol. XII, n° 1, 1975.

ELLERY, A.E.L.; ARAÚJO, J.C. de; RIGOTTO, R.; ARAÚJO, L.B.C.; WIEGAND, M.C.; CHAVES, S.R. Produção de conhecimento de forma participativa: uma estratégia para além da transferência do conhecimento. *Interface. Comunicação, Saúde e Educação*, v.14, p.1-10, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa-SPI, 2005. 412p.

ETIÓPIA. Ministry of Water Resources. *National Water Strategy*. MoWR, Addis Ababa, Ethiopia. (Final draft), 2001.

FEELDERS, A.; DANIELS, H.; HOLSHEIMER, M. Methodological and practical aspects of data mining. *Information & Management*, 37 (2000) 271-281.

FEITOSA, L. S. *Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena-CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. 130p.

FEUILLETTE, S. *Vers une gestion de la demande sur une nappe en acces libre: Exploration des interactions ressource usages par les systemes multi-agents - Application à la nappe de Kairouan, Tunisie Centrale*. Thesis (Doctorat in Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental). Université Montpellier II, Montpellier, 2001, 350f.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M de F.; ARAÚJO, L de F. P.; GIRÃO, E. G.; DUCAN, B. L. Monitoramento comunitário da qualidade da água: uma ferramenta para a gestão participativa dos recursos hídricos. *Revista de Gestão da Água – REGA*, Porto Alegre, v.5, n.1, jan/jun, 2008.

FINCH, J. W. Monitoring small dams in semi-arid regions using remote sensing and GIS. *Journal of Hydrology* 195 (1997) 335-351.

FIORILLO, F.; PALESTRINI, A.; POLIDORI, P.; SOCCI, C. Modelling water policies with sustainability constraints: A dynamic accounting analysis. *Ecological Economics* 63 (2007) 392-402.

FROMAGEOT, A. *Vallées maraîchères, économies vivrières. Etude géographique de l'essor du maraîchage marchand dans les campagnes du Nord de la Côte d'Ivoire et de l'Ouest du Burkina Faso*. Thèse de doctorat, géographie, Paris 1 - Panthéon Sorbonne, 2003. 745p.

GALIZONI, F. M. Notas sobre água e chuva: o programa um milhão de cisternas no semi-árido mineiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 14, 2004. *Anais...* ABEP, Caxambu, 2004.

GALIZONI, F.M.; RIBEIRO, E.M.; LIMA, V.M.P.; SANTOS, I.F.; CHIODI, R.E.; LIMA, A.L.R.; AYRES, E.C.B. Hierarquias de uso de águas nas estratégias de convívio com o semi-árido em comunidades rurais do Alto Jequitinhonha. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.39, n.1, jan-mar, 2008.

GALVÃO, M.J.T.G.; OLIVEIRA, R.G.; FREIRE, A.G. Aplicação de resistividade elétrica para a locação de poços nos aquíferos cristalinos e sedimentares da região de salgueiro (PE), Nordeste do Brasil. In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1, 2000. *Anais...* Fortaleza, 2000.

GARCIA, A.V.; OLIVEIRA, E.C.A.; SILVA, G.P.; COSTA, P.P.; OLIVEIRA, L.A. Disponibilidade hídrica e volume de água outorgado na micro-bacia do Ribeirão Abóbora, Município de Rio Verde, Estado de Goiás. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 8, n. 22 set/2007 p. 97-106.

GARJULLI, R.; RODRIGUES, H. E.; OLIVEIRA, J. L. F. de. *A gestão participativa dos recursos hídricos no semi-árido: a experiência do Ceará*. In: MACHADO, J. S. (Org.). *Gestão de águas doces*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004 p. 267- 288.

GARJULLI, R.; OLIVEIRA, J.L.F.; SILVA,U.P.A. Proposta metodológica para organização de usuários de água: A experiência do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11, 1995. *Anais...*Recife: ABRH, 1995.

GAYLARD, C.C.; BELLINASSO, M.L.; MANFIO, G.P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento*, n.34, jan/jun. 2005.

GIRÃO, E.; FUCK JÚNIOR, S. O Programa Vigilantes da Água no Ceará: Monitoramento Participativo da Qualidade da Água em uma Comunidade Rural da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe In: SIMPÓSIO DE EXPERIÊNCIAS EM GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS POR BACIA HIDROGRÁFICA, 13, 2007, São Pedro. *Anais...* São Pedro: 2007.

GENOVEZ, A. B. *Vazões máximas*. In: Paiva, J.B.D.; Paiva, E.M.C.D. (orgs.). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. p.33-112.

GOLDENFUM, J. A. *Pequenas Bacias Hidrológicas: Conceitos Básicos*. In: PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de (Orgs.) *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap.1, p.3-13.

GÖTZINGER, J.; BÁRDOSSY, A. Comparison of four regionalisation methods for a distributed hydrological model. *Journal of Hydrology* (2007) 333, 374– 384.



- GOURDIN, F.; CECCHI, P.; CORBIN, D.; ÉTIENNE, J.; KONÉ, S.; CASENAVE, A. *Caractérisation hydrologique des petits barrages*. In: Cecchi, P. (Ed.) *L'eau en partage: Les petits barrages de Côte d'Ivoire*. Paris: IRD, 2007. 302p.
- HAAN, C. T. Parametric uncertain in hidrologie modeling. *American Society of Agricultural Engineers*, v.32 (1), p. 137-145, 1989.
- HAWKINS, R.H.; WARD, T.J.; WOODWARD, D.E.; MULLEM, J.A.V. *Curve number hydrology: State of the practice*. Virginia: ASCE/EWRI, 2009. 106p.
- HIDROSED. *Banco de dados Madalena*. Acesso restrito ao Grupo. Fortaleza: UFC/UECE, 2010.
- HOUTSMA, M.; SWAMI, A. Set-oriented data mining in relational databases. *Data & Knowledge Engineering* 17 (1995) 245-262.
- HUGHES, D.A. Problems of estimating hydrological characteristics for small catchments based on information from the South African national surface water resource database. *Water SA*, v.30, n.3, 2004.
- IORIS, A. A. R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *Journal of Environmental Management* 88 (2008) 1190-1201.
- IPEA. *Objetivos do desenvolvimento do milênio: Relatório Nacional de Acompanhamento*. Brasília: IPEA, 2004.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Quixeramobim. Fortaleza, 2009a. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/PBM\\_2009/quixeramobim.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM_2009/quixeramobim.pdf)>. Acesso: 12 dez. 2009.
- JOHNSON, N.; RAVNBORG, H. M.; WESTERMANN, O.; PROBST, K. User participation in watershed management and research. *Water Policy* 3 (2001) 507-520.
- KAHLOWN, M. A.; ASHRAF, M.; ASHFAQ, A. Contribution of Small Dams in the Development of Water Resources of the Pothwar Region. *Pakistan Journal of Water Resources*, Vol.8(1) January-June 2004.
- KASPRZAK, P.; KOSCHEL, R.; KRIENITZ, L.; GONSIORCZYK, T.; ANWAND, K.; LAUDE, U.; WYSUJACK, K.; BRACH, H.; MEHNER, T. Reduction of nutrient loading, planktivore removal and piscivore stocking as tools in water quality management: The Feldberger Haussee biomanipulation project. *Limnologica* 33, 190-204 (2003).
- KELLER, A.; SAKTHIVADIVEL, R.; SECKLER, D. Water scarcity and the role of storage in development. *Research Report* 39. International Water Management Institute, Colombo, 2000.
- KRAUSKOPF NETO, R.; GUETTER, A. K.; MINE, M.R.M. Modelo hidrológico com atualização de Estado. Parte I: Modelagem hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.1, p.27-39, 2007.

KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. *Journal of Hydrology* (2006) 328, 417– 431.

KRUG, L.A.; NOERNBERG, M.A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. v.1, p.3077-3084.

LAJOIE, F.; ASSANI, A.A.; ROY, A. G.; MESFIOURI, M. Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons. *Journal of Hydrology* (2007) 334, 423-439.

LARAQUE, A. *Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro*. Recife, SUDENE/DPG/PRN/Grupo de Trabalho de Hidrometeorologia, 1989. 95 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 26).

LARSON, K.L.; WHITE, D. D.; GOBER, P., HARLAN, S.; WUTICH, A. Divergent perspectives on water resource sustainability in a Public–Policy–Science context. *Environmental Science & Policy* 12 (2009) 1012–1023.

LEAL, M. S.; LA ROVERE, E. L. Implantação e Operacionalização do Modelo de Gestão de Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. *Anais...* Porto Alegre: ABRH, 1997. CD-ROM.

LEPRUN, J.C. *La conservations et gestion des sols le Nordest brésilien: Particularités, bilan et perspectives*. Paris: Cahier ORSTOM, 1985.

LEEUEWESTEIN, J.M.; MONTEIRO, R.A. *Procedimentos técnicos para enquadramento de corpos de água – Documento Orientativo*. Brasília: MMA/SRH, 2000. 47p.

LIEBE, J.; GIESEN, N. van, ANDREINI, M. Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005) 448–454.

LIMA JÚNIOR, V. A.; PORTO, R. Q.; PASSERAT DE SILANS, A.M.B.; ALMEIDA, C.N.; SILVA, G.S.; SANTOS, F.A. Estimativa do volume anual escoado de pequenos açudes no semiárido nordestino: Um estudo de caso na bacia hidrográfica do açude de Sumé – PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009. *Anais...*Cuiabá: ABRH, 2009.

LIMA, J.P. R.; ALVES, J. M. B. Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica Alto-Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, 323-338, 2009.

LIMA NETO, I. E., Wiegand, M. C., Araújo, J. C. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2) 2011.

- LOPES, J. E. G.; BRAGA JÚNIOR., B. P. F.; CONEJO, J.G.L. *SMAP: A simplified hydrological model, applied modelling in catchment hydrology*. Ed. V.P. Singh: Water Resources Publications, 1982.
- LORENTZ, J.F.; MENDES, P.A.B. Conflitos em torno do uso da água: uma saída viável. *GTÁguas*, ano 6, n.11, 2012.
- LUNA, C.F.; BRITO, A.M.; COSTA, A.M.; LAPA, T.M.; SZILASY, E.; THOMAS, K.; FLINT, J. *Avaliação de impacto do programa um milhão de cisternas (P1MC) na saúde: ocorrência de episódios diarreicos na população rural do agreste de Pernambuco*. In: Batista Filho, M.; Miglioni, T. *Viabilização o semiárido do Nordeste: um enfoque multidisciplinar*. Recife: LICEU, 2010. 237p.
- MADALENA. Lei Municipal Nº 0143/1999 (Dispõe sobre a proibição de acesso dos animais aos mananciais hídricos de servidão pública).
- MACEDO, M.V.A. de. *Aproveitamento hídrico das bacias fluviais do Ceará*. Fortaleza: DNOCS, 1981. 139p.
- MACHADO, C.J.S.; MIRANDA, N.; PINHEIRO, A.A.S. *A nova aliança entre Estado e Sociedade Civil na administração da coisa pública: descentralização e participação na Política Nacional dos Recursos Hídricos*. In: Machado, C.J.S. (Org.) *Gestão das águas doces*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C.A.; CRICIANI, D.E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.1, p.410-155, 2003.
- MALVEIRA, V. T. C.; VIEIRA, V. P. P. B. Avaliação de risco de falha na liberação de vazões em sistemas de tomada d'água em barragens no semi-árido nordestino. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7, 2004. São Luis, 2004. *Anais...* São Luis. ABRH.
- MALVEIRA, V.T.C.; ARAÚJO, J.C.; GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. *Journal of Hydrological Engineering*. 17, 109 (2012).
- MAMBA, G.; SENZANJE, A., MHIZHA, A., MUNAMATI, M. Formulation of Water Productivity-Based Allocative Strategy for Multiple-Use Small Reservoirs in Mzingwane Catchment, Zimbabwe. In: WATERNET/ WARFSA/ GWP SYMPOSIUM, 8, 2007, Lusaka. *Anais...*, Zâmbia, 2007.
- MAMEDE, G. L. *Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management*. Doctor Rerum Naturalium Thesis. 120P. Mathematisch – Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam. Potsdam, 2008.
- MARINHO, L.S.; SANTOS, C.A.G. Diagnóstico do setor de abastecimento de água em áreas rurais no Estado da Paraíba. *Revista Econômica do Nordeste*, v.42, n.4, 2011.
- MAURIZ, T.V.M.; RIBEIRO, G.O.; MORAES, L.; CARNEIRO, P.J.R. Avaliação preliminar de dados hidrológicos para outorga do uso da água em pequenas bacias hidrográficas. *Espaço & Geografia*, v.10, n.2 (2007), 295-324.

McMAHON, T. A.; MEIN, R. G. River and Reservoir Yield. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, USA, 1986.

MEDEIROS, P. H. A. *Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MECHERGUI, M. *La petite hydraulique et son impact sur la vie du paysan, les eaux de ruissellement, la conservation en eau et en sol et les ressources en eau vers l'aval dans un bassin versant: cas de deux bassins versants de Siliana et du Kef en Tunisie*. Atelier Électronique. Étude de cas 18, Rome: FAO. 2000.

MEIRELES, A.C.M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E.M. de. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.1, p.25-31, 2007.

MELLO, C. R. de; LIMA, J. M. de; SILVA, A. M. da; LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.3, p.494-500, 2003.

MENDES JÚNIOR, B.O. *Análise dos impactos do Programa Bolsa Família no Brasil*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2011. 140p. (Documentos do ETENE, n.29).

MENDONÇA, K.V.; CAMPOS, R.T.; LIMA, P.V.P.S.; BATISTA, P.C.S. Análise das Causas Socioeconômicas da Pobreza Rural no Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*. v. 41, n.3, jul-set, 2010.

MIALHE, F., GUNNELL, Y., MERING, C. Synoptic assessment of water resource variability in reservoirs by remote sensing: general approach and application to the runoff harvesting systems of south India. *Water Resources Research*, 44, 2008.

MOLLE, F. Geometria dos Pequenos Açudes Recife: SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994. 126 p. (Hidrologia, 29).

MOLLE, F. Caracteristiques et potentialites des “açudes” du Nordeste Brasilein. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Université Montpellier II, Montpellier, 1991. 376p.

MOLLE, F.; CADIER, E. Manual do Pequeno Açude. Recife: SUDENE/Cooperación Française/ORSTON, 1992. 529 p.

MONTENEGRO, A.A.A.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, S. M.G.L.; CORRÊA, M.M.; SANTOS, T.E.M. Potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha, PE, e alternativas para incremento da oferta. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, (Suplemento), p.931-939, 2009.

MOLLE, F. *Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento*. Recife: SUDENE, 1994 (Série Hidrologia, 30). 193p.

MUGABE, F. T.; HODNETT M.; SENZANJE, A. Comparative hydrological behaviour of two small catchments in semi-arid Zimbabwe. *Journal of Arid Environments* 69 (2007) 599-616a.

MUGABE, F.T., HODNETT, M.G., SENZANJE, A.; GONAH, T. Spatio-Temporal Rainfall and Runoff Variability of The Runde Catchment, Zimbabwe, and Implications on Surface Water Resources. *African Water Journal*, v.1, n.1, 2007b.

MUNAMATI, M.; SENZANJE, A. Dimensions of stakeholder interactions in small reservoir development and management in Zimbabwe. In: WATERNET/ WARFSA/ GWP SYMPOSIUM, 8, 2007, Lusaka. *Anais... Zâmbia*, 2007.

NASCIMENTO, F.R.; AIRES, R. Usos múltiplos e gestão participativa dos recursos hídricos na microbacia riacho das pedras – Médio Jaguaribe - CE. *Revista Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 40, dez/2011, p. 56 -69.

NASH, J.E.; SUTTCIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models - Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10 (3), 282–290, 1970.

NUNES, F.G.; FIORI, A.P. A utilização do método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. *Revista Eletrônica Geografar*. Curitiba, v.2, n.2, p.139-155, jul./dez. 2007.

PACHECO, M.S.R.; FONSECA, Y.S.K.; DIAS, H.G.G.; CÂNDIDO, V.L.P.; GOMES, A.H.S.; ARMELIN, J.M.; BERNARDES, R. Condições higiênico-sanitárias de verduras e legumes comercializados no Ceagesp de Sorocaba – SP. *Higiene Alimentar*, São Paulo, v.16, n.101, p.50-51, 2002.

PARAÍBA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, 2005. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/perh.html>>. Acesso: 02 dez.2009.

PASSERAT DE SILANS, A. M. B. *Alternativas Científicas e Tecnológicas para o Abastecimento de Água no Semi-Árido*. In: *Água e Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido*. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série Debates, N°24, 2004, p. 133-160.

PASSERAT DE SILANS, A.M.B. Desenvolvimento de um modelo hidrológico distribuído para ser incorporado ao sistema de informações hidrológicas do Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, I, 1998. *Anais...Gramado*: ABRH, 1998.

PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; QUEIROZ, R.; SANTOS, F. A. dos; SILVA, A. C. S. da. *Relatório - Projeto DISPAB – UFPB/AESA*. Disponível em: <<http://dispab.lrh.ct.ufpb.br>>. Acesso: 02 dez.2009.

PEREIRA, D. S. P. (Org.) *Governabilidade dos Recursos Hídricos no Brasil: a implementação dos instrumentos de gestão na bacia do rio Paraíba do Sul*. Brasília: ANA, 2003. 82p.

PIOGET, R. *Hydrologie et geometrie compares des reservoirs et politique de l'eau Du Nord-est du Bresil*. Recife: FAO, 1964. 238p.

PINHEIRO, L. S. *Proposta de Índice de Priorização Áreas para Saneamento Rural: Estudo de Caso Assentamento Rural 25 de Maio – CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

POOLMAN, M.I. *Developing small reservoirs: A participatory approach can help*. Masters' Thesis (Faculty of Technology, Policy and Management). Netherlands, 2005.



PORTO, E.R.; ARAÚJO, O.; ARAÚJO, G.G.L; AMORIM, M.C.C.; PAULINO, R.V.; MATOS, A.N.B. *Sistema de produção integrado usando efluentes da dessalinização*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004. 22p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 187).

POUGET, J.C.; CUDENNEC, C.; LEDUC, C.; LE GOUVEN, P.; LE GRUSSE, P.; POUSSIN, J.C. Co-construction d'un outil de gestion intégrée sur le bassin du Merguellil, Tunisie. *Acts de l'atelier du PCSI*, 2-3 décembre 2003. Montpellier: CIRAD (2004).

PRADHAN, D.; ANCEV, T.; DRYNAN, R.; HARRIS, M. Management of Water Reservoirs (Embungs) in West Timor, Indonesia. *Water Resource Management* (2011) 25:339–356.

PRISCOLI, J.D. Water and civilization: using history to reframe water policy debates and to build a new ecological realism. *Water Policy* 1 (1998) p. 623-636.

PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO DA ESCOLA DO CAMPO – PPP. Assentamento 25 de Maio/São Joaquim. Madalena, Ceará, 2010.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:403-410, 2001.

PRUSKI, F.F.; PRUSKI, P.L. *Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos*. In: Medeiros, S.S.; Gheyi, H.R.; Galvão, C. O.; Paz, V.P.S. (Eds.) Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 440 p.

QUINN, P.F.; HEWETT, C.J.M.; DOYLE, A. Scale appropriate modelling: from mechanisms to management. In: Tchiguirinskaia, I.; Bonell, M.; Hubert, P. (ed.) *Scales in Hydrology and Water Management*. IAHS Pub. n. 287, pp. 17-37, 2004.

RADKE, R. J.; KAHL, U.; BENNDORF, J. Food-web manipulation of drinking water reservoirs with salmonids: vertical distribution of prey and predator. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, v. 33, n.2, 2003.

REBOUÇAS, A. da C. *Água Doce no Mundo e no Brasil*. In: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J. (orgs.). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2ª ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

REIS, L.G.M. *Avaliação de critérios de outorga associados a políticas de operação de reservatório na bacia do rio Moxotó, semiárido brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2002. 183p.

RIBEIRO, M. M. R. *Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2000. 200f.

RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M. Água, população rural e políticas de gestão: o caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, v. 5/6, n. 1/2, p. 114-123, jan./jul. 2003.

RIGHETTO, A. M. *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

RIO GRANDE DO NORTE. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado Do Rio Grande do Norte, 1998. Disponível em: <[http://www.grilloweb.com.br/hotsite\\_rn/index.php/plano](http://www.grilloweb.com.br/hotsite_rn/index.php/plano)>. Acesso: 02 dez.2009.

ROBAÍNA, A. D.; PEITER, M. X.; PARIZI, A. R. C.; SOARES, F. C.; GOMES, A. C. S. Modelagem do volume de reservatórios de irrigação para fins de outorga e planejamento agrícola. *Ciência Rural*, v.39, n.9, dez, 2009.

ROMERO, J.A.R. *Utilizando o relacionamento de bases de dados para avaliação de políticas públicas: uma aplicação para o Programa Bolsa Família*. Tese (Doutorado em Demografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 256p.

ROSADO, J.; MORAIS, M.M. Estratégias de gestão da água em situação de escassez: regiões semiáridas e mediterrânicas. *Sustentabilidade em Debate*. 2010.

RUSERE, S. *An assessment of the multiple uses of small dams, water usage and productivity in the Limpopo Basin*. Monografia de final de curso (Engenharia Agrícola). University of Zimbabwe, Harare, 2005. 63p.

SABIÁ, R. J. *Estudo do padrão de emissão de poluentes para o enquadramento de rios intermitentes: Estudo de caso do rio Salgado, CE*. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SABOURIN, E. Multifuncionalidade da agricultura e manejo de recursos naturais: alternativas a partir do caso do semi-árido brasileiro. *Tempo da Ciência* (15) 29 : 9-27, 2008.

SABOURIN, E.; TRIER, R. Local water management and family agriculture in semi-arid Brazilian Northeast: limits and challenge. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE ECOSYSTEM MANAGEMENT, 1; 1999-03-14/1999-03-18, Chambéry, France, 1999.

SANTOS, F. A. DOS; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; PORTO, R. DE Q.; ALMEIDA, C. DAS N. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude Sumé. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009. Campo Grande, 2009. *Anais...Campo Grande*: ABRH.

SAWUNYAMA, T.; BUSANE, L.B.; CHINODA, G.; TWIKIRIZE, D.; LOVE, D.; SENZANJE, A.; HOKO, Z.; MANZUNGU, E.; MANGEYA, P.; MATURA, N.; MHIZHA, A.; SITHOLE, P. An integrated evaluation of a small reservoir and its contribution to improved rural livelihoods: Sibasa dam, Limpopo basin, Zimbabwe. In: SYMPOSIUM OF WARFSA/WATERNET/GWP, 6, 2005. *Anais...Ezulwini*, 2005.

SAWUNYAMA, T.; SENZANJE, A.; MHIZHA, A. Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River Basin using geographical information systems (GIS) and remotely sensed surface areas: Case of Mzingwane catchment. *Physics and Chemistry of the Earth* 31 (2006) 935–943.

SENZANJE, A.; BOELEEN, E.; RUSERE, S. Multiple use of water and water productivity of communal small dams in the Limpopo Basin, Zimbabwe. *Irrig Drainage Syst* (2008) 22:225–237.



SENZANJE, A.; CHIMBARI, M. Inventory of Small Dams in Africa: Case Study for Zimbabwe. Draft Report for Water, Health and Environment, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 2002.

SENZANJE, A., RUSERE, S.; BOELEE; E. *An assessment of the multipurpose nature of small dams, water usage and water productivity in the Limpopo Basin*. Disponível em: <www.smallreservoir.org>. Acesso: 11 jan. 2012.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de. M.; Pereira, I. de C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. (2ª ed.). Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 207 p.

SILLIMAN, S.E.; HAMLIN, C.; CRANE, P.E.; BOUKARI, M. International Collaborations and Incorporating the Social Sciences in Research in Hydrology and Hydrologic Engineering *Journal of Hydrologic Engineering*, n.13, v.1, p. 1084-0699. 2008.

SILVA, A. C. S. da; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; SILVA, G. S. da; SANTOS, F. A. dos; PORTO, R. Q; NEVES, C. A. Small farm dams research project in the semi-arid northeastern region of Brazil. Risk in Water Resources Management. Proceedings of Symposium H03 held during IUGG2011 in Melbourne, Australia, July 2011. *IAHS Publ.* 347, 2011.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.10, n.2, p.374–380, 2006.

SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. *Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília. Ed. Secretaria de Recursos Hídricos, DF, Universidade Federal de Viçosa, ABRH, 2000. 659p.

SILVA, F. H. B. B. *Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Documento N° 21). 68p.

SILVA, G. S. da; ALMEIDA, C. N.; TELES E LIMA, L. S.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; DINIZ, L. S.; SANTOS, F. A. Análise simultânea do processo de geração das vazões afluentes a açudes da região semiárida e da calibração de um modelo chuva-vazão com vista à regionalização dos parâmetros do modelo. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10, 2010. *Anais...* Fortaleza: ABRH, 2010a.

SILVA, G. N. S. *Regionalização automatizada de parâmetros de modelos chuva-vazão integrada a um sistema de informações geográficas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. 135f.

SILVA, G. N. S.; DINIZ, L. S.; ALMEIDA, C. N.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B. Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais artificiais em ambiente SIG. In: ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 2, 2010; ENCONTRO NACIONAL DE ECOHIDRÁULICA, 1, 2010. *Anais...* Fortaleza: UNIFOR, 2010b.

SILVA, G. N. S.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; ALMEIDA, C. N.; DINIZ, L. S. Development and evaluation of a rainfall-runoff-model using regionalization data as model

input. Symposium title (Proceedings of symposium XXX held during IUGG2011 in Melbourne, Australia, July 2011) (*IAHS Publ.* 3XX, 2011).

SILVA, J.F. LUZ NETTO, F. M.; RODRIGUES, S.C. Análise comparativa entre a vazão real e a vazão de referência para outorga de água do córrego Barreirinho – Uberlândia – MG. *Rev. Geogr. Acadêmica*, v.4, n.2, 2010c.

SILVA, J. B. da; GUERRA, L. D.; GOMES, R. A.; FERNANDES, M. Ecologia política das cisternas de placas: uma abordagem sociológica das medidas governamentais recentes relativas aos problemas de abastecimento de água em comunidades rurais de Boa Vista e Montadas-PB. *Cronos*, Natal-RN, v. 10, n. 2, p. 121-143, jul./dez. 2009.

SILVA, R.M.A. *Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010. 276p. (Série BNB Teses e Dissertações, n.12).

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n.3, jul/set 1998, 111-131.

SISTE, C.E.; SARMENTO, O.F.; LEITE, V.M. Açudes comunitários: uma estratégia para a segurança hídrica e alimentar do Vale do Jequitinhonha (MG). *Agriculturas*, v.7, n.3, out 2010.

SOARES JUNIOR, A.; MOTTA, G. H. M. B.; SANTOS, C. A. G.; ALMEIDA, C. N.; FARIAS, C. A. S. ; SUZUKI K. An XML-based Genetic Algorithm Tool: System Features and Modeling. In: CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA, 30, 2009, Armação dos Búzios. *Anais...*2009.

SOIL CONSERVATION SERVICE. *Hydrology*. In: National engineering handbook. Section 4. Washington: USDA, 1972. p.101-1023

SOUSA, H. T. Sistema computacional para regionalização de vazões. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 86f.

SOUSA, F. A. S.; LIMEIRA, R. C. Uso de Análise Multivariada na Regionalização de Cheias do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, V.11, n.4 Out/Dez 2006, 15-24.

SOUZA FILHO, F. de A. *Notas sobre Planejamento de Recursos Hídricos no Ceará*. In: Alves, R. F. F.; Carvalho, G. B. B de (Orgs.). *Experiências de Gestão dos Recursos Hídricos*. Brasília: MMA/ANA, 2001. 204f.

SUASSUNA, J. *A Média e a Pequena Açudagem no Semi-Árido Nordestino: Uso da Água na Produção de Alimentos*. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html>>. Acesso: 23 jan. 2011.

TABORGA-TORRICO, J. J. *Práticas hidrológicas*. Rio de Janeiro: Trascon, 1974. 120p.

TÁVORA, M. A. *Impactos sócio-ambientais do lançamento de percolato e esgoto nos recursos hídricos: o caso da lagoa do Borzeguim, Itapipoca, CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. 115p.

TEIXEIRA, J. J. L. *Hidrossedimentologia e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão, Cabo Verde*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. 100f.

TUCCI, C.E.M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, ABRH, 1998. 669p.

TUCCI, C.E.M. *Escoamento superficial*. In: Tucci, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora UFRGS, 2001. p.391-441.

TUCCI, C. E. M. *Regionalização de Vazões*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2002. 256p.

TUCCI, C. E. M. *Variabilidade climática e o uso do solo na bacia brasileira do Prata*. In: Tucci, C. E. M.; Braga, B. (org.) *Clima e recursos hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.163-208.

VAN OEL, P.; KROL, M.S.; HOEKSTRA, A.Y.; ARAÚJO, J.C. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Orós Reservoir in Brazil. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*, 53(4) August 2008.

VARGAS, M.C.; MANCUSO, M.I.R.; BENZE, B.G.; MIRANDA, C.O. *Água & Cidadania: Percepção social dos problemas de quantidade, qualidade e custo dos recursos hídricos em duas bacias hidrográficas do interior paulista*. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1, 2002. *Anais...* São Paulo, 2002.

VEIGA, B. G.A. *Participação social e políticas públicas de gestão das águas: olhares sobre as experiências do Brasil, Portugal e França*. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007, 320p.

VERMILLION, D.L.; AL-SHAYBANI, S. Small dams and social capital in Yemen: How assistance strategies affect local investment and institutions. *Research Report 76*, Sri Lanka: IWMI, 2004.

VIANA, L.F.G. *Proposta de modelo de cobrança de água bruta no Estado do Ceará: uma revisão do modelo atual*. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Universidade Federal do Ceará, 2011. 77p.

VIANNA, P. J. R.; AMARAL FILHO, J.; LÓCIO, A. B. *Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades*. Texto para Discussão nº 22, Ipece, 2006.

VIEGAS FILHO, J.S. *A gestão de recursos hídricos e o papel das microbacias nesse contexto*. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2, 2004. *Anais...* Universidade de Passo Fundo, 2004.

VIEIRA, V.P.P.B. *Risk Assessment in the Evaluation of Water Resources Projects*. Fortaleza: ASTEF, 1979. 235 p.

VIEIRA, V.P.P.B.; MALVEIRA, V.T.C.; MIRANDA, A.N.; GOUVEIA NETO, A. *Roteiro para projeto de pequenos açudes*. Fortaleza: Editora Universitária, 1996. 160p.

VIEIRA, V.P.P.B. Sustentabilidade do semi-árido Brasileiro: Desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.7, n.4, p. 105-112, 2002.

VIEIRA, V.P.P.B. *Análise de Risco em Recursos Hídricos - Fundamentos e Aplicações*. Porto Alegre: ABRH, 2005. 361 p.

VOERKELIUS, S.; KÜLLS, C.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; SEMRAU, L.A.S.; HEINRICHS, G.; LÓPEZ, M.M.G. *Investigations on water management and water quality in Picos/PI and Tauá/CE*. In: Geiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J.C. (Eds.) *Global change and regional impacts – Water availability and vulnerability of ecosystem and society in the semiarid Northeast of Brazil*. Berlin: Springer, 2003.

WILSON, R.T. Perceptions, practices, principles and policies in provision of livestock water in Africa. *Agricultural Water Management* 90 (2007).

WISSER, D.; FROLKING, S.; DOUGLAS, E.M.; FEKETE, B.M.; SCHUMANN, A.H.; VÖRÖSMARTY, C.J. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – A global-scale analysis. *Journal of Hydrology* 384 (2010) 264–275.

YAIR, A.; RAZ-YASSIF, N. Hydrological processes in a small arid catchment: scale effects of rainfall and slope length. *Geomorphology* 61 (2004) 155–169

YATHEENDRADAS, S.; WAGENER, T.; GUPTA, H.; UNKRICH, C.; GOODRICH, D.; SCHAFFNER, M.; STEWART, A. Understanding uncertainty in distributed flash flood forecasting for semiarid regions. *Water Resources Research*, v.44, W05S19, doi: 10.1029/2007WR005940 de 2008.

XAVIER, R.P. *Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. 114f.

## ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO APLICADO À POPULAÇÃO RURAL DIFUSA

### QUESTIONÁRIO SÓCIO-ECONÔMICO – POPULACAO DIFUSA QUE USA O ACUDE

Identificação do Açude: \_\_\_\_\_

Entrevistador: \_\_\_\_\_

Entrevistado: \_\_\_\_\_

Local, data e hora: \_\_\_\_\_

1. Caso seja uma pessoa da população difusa que mora perto do açude.

Usa a água de algum açude próximo?

sim  não Qual? \_\_\_\_\_

Para quê? \_\_\_\_\_

Há quanto tempo reside no campo? \_\_\_\_\_ anos

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo: Masc.  Fem.

Pratica outra atividade além de trabalhar no campo?:  sim  não

Qual? \_\_\_\_\_

Para você este açude é?

pouco importante  importante  muito importante

Nível de escolaridade:

Grau:  Primeiro  Segundo  Terceiro

Série:  Completo  Incompleto: \_\_\_\_\_

Numero de pessoas na família: \_\_\_\_\_

Adultos (>18): \_\_\_\_\_ Jovens: \_\_\_\_\_ Crianças(<13): \_\_\_\_\_

Quantos pessoas de sua família trabalham no campo? \_\_\_\_\_

Isso não deverá ser perguntado – entrevistador irá concluir esta pergunta, anote na observação atrás da folha -Tem pretensões de continuar no campo?

sim  não

A água disponível na região é suficiente para manter as atividades que desenvolve?

sim  não Por quê? \_\_\_\_\_

Quais tipos de fontes de água tem disponível?

Fontes	Capacidades	Nomes	Tipo da Água	Uso principal

Fontes: cisterna, poço, cacimba, rio/riacho, lagos/lagoas, reservatórios, adutora, pequeno açude, ou outros

Capacidades: volumétrica (em m<sup>3</sup>/s ou l/s) ou de vazão (em m<sup>3</sup> ou hm<sup>3</sup>)

Nomes: utilizado para rios, reservatórios, concessionárias d'água etc.

Tipo de água: bruta ou tratada (dessalinização, cloração, fervura, outros) / doce ou salobra

Uso principal: dessedentação humana ou animal, irrigação, piscicultura, etc.

Anote observações aqui: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

o dono da fazenda  trabalhadores  arrendado  população difusa. Identificar o açude? \_\_\_\_\_

Culturas/ pastagens	Área Produtividade (ruim, regular,boa)	Preço de venda (ruim, regular,boa)	Custo produção (baixo, alto)	Cuidados (baixo,alto)	Água (sequeiro, irrigada ou hidroponia)	Colheita (manual, mecanizada precisão)	Tratos culturais (estaquia ensacamento nenhum silagem
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Tipos de animais criados:

Animais	Uso	Quantidade	Forma	Fases da criação
Gado/Caprino/ Ovino/Aves/Suíno Eqüino/ Peixes/...	Animais Corte/leite/poedeira/...	Cabeças	Criação intensiva/extensiva/ semi-extensiva	(cria, engorda, ....)
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

Cultiva abelhas? \_\_\_\_\_