



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FLÁVIA TELIS DE VILELA ARAÚJO

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

Fortaleza

2014

FLÁVIA TELIS DE VILELA ARAÚJO

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

Fortaleza

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

A689m Araújo, Flávia Telis de Vilela.

Metodologia de avaliação multicritério da vulnerabilidade à desertificação no Semiárido / Flávia Telis de Vilela Araújo. – 2014.

200 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2014.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

1. Saneamento. 2. Impacto ambiental - Avaliação. 3. Avaliação de riscos ambientais.
4. Atividades econômicas. 5. Gestão ambiental. I. Título.

FLÁVIA TELIS DE VILELA ARAÚJO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo
Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA
Tropical)

Aos meus pequenos, Filipo e Tomás, que mesmo sem compreender, vivenciaram todas as agruras do “doutorado da mamãe”.

Ao meu marido, José Américo.

A minha mãe, Verônica, e irmãos, Guilherme, André e Virgínia.

Ao meu amado Pai, que viverá para sempre no meu coração!

AGRADECIMENTOS

À Divina Providência, personificada em Jesus, seus Anjos e Santos.

À minha Orientadora e querida Amiga, Profa. Ana Bárbara, que transformou a orientação, com a sua bondade, humildade, inteligência e sabedoria, em momentos de alegria, eu juro!

Ao Prof. Assis Filho, um grande sábio, que sempre me encorajou, mesmo quando eu não acreditava.

À Profa. Vanessa Campos, que me apresentou a teoria multicritério, e que sempre esteve disposta a me receber, esclarecer minhas dúvidas e enriquecer meu trabalho.

Ao Dr. Rubens Sonsol, pela contribuição, acolhida e sugestões ao trabalho.

Ao Prof. Clécio, que sempre esteve disposto a contribuir, obrigada!

Ao Professor Suetônio, pela contribuição e sugestões.

À Dra. Cléa, pela participação e contribuições.

Ao professor Raimundo, pela sabedoria e conselhos.

Ao professor Marco Aurélio, que contribuiu decisivamente para o acesso ao programa.

Aos demais professores, em especial aos professores Nilson, Marisete e Silvrano.

Aos queridos professores Iran, Alfran e Anderson.

A Capes pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental.

À Terezinha, Sandra Helena, Shirley, Neusa, Joviene, Monalisa e Erivelton, pelo apoio e amizade.

À FUNCEME, em especial a Margareth.

A todos os amigos, pela alegre convivência e compartilhamento de angústias, e em especial a Heloisa, Karina, Samíria, Socorro, Jackeline, Hosineide, Sandra Keyla, Vitor, Cleiton e Samuelson.

Aos meus pais, João, que partiu tão recentemente, e Verônica, exemplos de bondade, fé em Deus e honestidade, vocês são a minha base!

Aos meus irmãos, Guilherme, André e Virgínia, significado extremo do amor fraterno.

A toda minha família, especialmente às tias, Rozinete e Rosângela, as primas Eugênia, Letícia e Sheila, e meus sogros, Estefânia e Américo.

Aos meus avôs e avós, em especial ao avô Vicente (*in memoriam*), que um dia, na minha infância, disse que eu ia ser doutora, nunca vou esquecer.

À Rosiane, que tanto me ajudou ao longo desta empreitada, junto aos meus filhos: Obrigada!

Ao amigo de longa data, Prof. Maurício Barreto, que fez visualizar a possibilidade do doutorado e contribuiu com o trabalho.

Ao Prof. Manoel Bosco, do CAEN/UFC, que com sua amizade e objetividade ajudou a seguir um novo caminho.

As minhas amigas para sempre, Núbia e Abigail.

Aos amigos da FIC, em especial a Zilah e Mônica.

Ao Espaço Núcleo Sol, especialmente aos mestres Solange e Cristiano, que contribuíram, a partir das práticas de Yoga, para que o meu objetivo fosse atingido.

Afinal, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho: Sintam-se incluídos.

Aos meus amados José Américo, Filipo e Tomás, que apoiaram, esperaram e confiaram em mim ao longo desses anos.

“Sem consciência divina a mente não se controla nem se fixa a inteligência, sem o quê, não existe a paz. E onde não existe paz, pode haver felicidade?”. (Bhagavad Gita)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo construir uma metodologia de apoio multicritério à decisão (AMD) para estimar a vulnerabilidade à desertificação no Semiárido brasileiro, em função das pressões antrópicas relacionadas à exploração econômica da Região. A desertificação, compreendida como um fenômeno resultante da degradação ambiental crítica em regiões de clima árido, semiárido e subúmido seco, contribui para o aumento da vulnerabilidade local, em uma situação que foi definida como Equilíbrio de Baixo Nível. Foram selecionadas as atividades econômicas de maior representatividade: agricultura de sequeiro e irrigada, pecuária, exploração de recursos florestais, mineração, agroindústria e exploração de recursos hídricos, e estimados os impactos ambientais relacionados ao aumento da vulnerabilidade à desertificação. Os critérios selecionados para a avaliação dos impactos constituíram-se de bióticos, abióticos e antrópicos, inseridos em uma matriz de decisão. Na avaliação de impactos foram consultados especialistas (*decision makers*), que atribuíram valores conforme suas preferências, a fim de utilizar-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) e modelar as funções para estimativa do risco, em planilhas do Excel. Foram considerados cenários de baixa e alta vulnerabilidade natural à desertificação, e a presença, ou não, de medidas mitigadoras ao desenvolvimento das atividades econômicas. A metodologia mostrou-se de simples aplicação, podendo ser utilizada em outras avaliações ambientais. Os resultados da avaliação validaram a metodologia proposta. Para minimizar a vulnerabilidade à desertificação foram estudadas medidas de adaptação, combate e mitigação, objetivando o aumento da resiliência dos sistemas ambientais, a fim de reduzir a vulnerabilidade ao fenômeno da desertificação.

Palavras-chave: Desertificação, Vulnerabilidade, Multicritério.

ABSTRACT

This work aims at constructing a methodology for multicriteria decision support (MDS) to estimate vulnerability to desertification in the Brazilian semiarid region, depending on anthropogenic pressures related to economic exploitation of the region. Desertification, understood as a phenomenon resulting from the critical environmental degradation in areas of arid, semi-arid and dry sub-humid climate, contributes to increasing local vulnerability in a situation defined as low-level equilibrium. The most representative economic activities were selected: rainfed and irrigated agriculture, livestock, harvest of forest products, mining, agribusiness and exploitation of water resources, and the environmental impacts related to increased vulnerability to desertification were estimated. Selected criteria for the assessment of impacts consisted of biotic, abiotic and anthropogenic, inserted into a decision matrix. In the impact assessment experts were consulted (decision makers), who attributed values based on their preferences in order to use up the multi-attribute utility theory (MAUT) and model functions for risk estimation in Excel spreadsheets. Scenarios of low and high natural vulnerability to desertification were considered, and the presence or not of measures for mitigating the development of economic activities. The methodology was simple to apply and can be replicated in other environmental assessments. The evaluation results validated the proposed methodology. To minimize the vulnerability to desertification, measures for adaptation, mitigation and combat were studied aiming at increasing the resilience of environmental systems in order to reduce vulnerability to the phenomenon of desertification.

Keywords: Desertification, Vulnerability, Multicriteria

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das áreas secas (<i>Drylands</i>) nos continentes e população estimada.....	28
Figura 2 – Modelo de vulnerabilidade local associado ao risco e à mitigação.	39
Figura 3 – Metodologia de construção de um indicador de vulnerabilidade.....	42
Figura 4 – Vazões específicas nas unidades hidrográficas de referência no Brasil. .	46
Figura 5 – Unidades geoambientais presentes na Região Nordeste do Brasil, segundo zoneamento da EMBRAPA.	49
Figura 6 – População residente no Brasil e nas Regiões, nos anos de 1980 e 2010.	50
Figura 7 – Distribuição das populações urbana e rural na região Nordeste do Brasil, entre 1950 e 2010.	51
Figura 8 – Municípios brasileiros com problema de seca e estiagem.	52
Figura 9 – Municípios brasileiros com insuficiência de água nos mananciais.	52
Figura 10 – Municípios brasileiros com insuficiência de água nos mananciais para abastecimento, no ano de 2008.	52
Figura 11 – Motivos relacionados aos racionamentos de água nos municípios brasileiros.....	53
Figura 12 – Tipo de abastecimento de água, das famílias rurais de baixa renda no Semiárido Nordestino.....	53
Figura 13 – Índice de Gini no Brasil, e por Regiões, nos anos de 1991, 2000 e 2010.	55
Figura 14 – Taxa de analfabetismo das pessoas acima de 10 anos nas Regiões brasileiras, nos anos de 2000 e 2010.....	55
Figura 15 – Taxas de fecundidade, no Brasil e por Regiões, nos anos 2000 e 2010.	56
Figura 16 – Taxas de mortalidade infantil (‰), no Brasil e por Regiões, nos anos 2000 e 2010.	56
Figura 17 – Taxa de ocupação, na semana de referência, das pessoas acima de 10 anos, por Regiões Brasileiras.....	57
Figura 18 – Rendimento real médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade, com rendimento, por Grandes Regiões - 2000/2010.....	57
Figura 19 – Participação, por Região, na composição do PIB brasileiro em 2010.	58

Figura 20 – PIB <i>per capita</i> do Brasil, e por Regiões, no ano de 2010.....	58
Figura 21 – Produtividade (Kg/hectare colhido) da cultura de feijão, no Brasil e Nordeste, no período de 1990 a 2011	64
Figura 22 - Produtividade (Kg/hectare colhido) da cultura de milho, no Brasil e Nordeste, no período de 1990 a 2011.....	64
Figura 23 – Variação (%) do total de terras em uso nos empreendimentos agropecuários entre 1996 e 2006, no Brasil e por Região.	66
Figura 24 - Variação (%) do total de terras em uso nos empreendimentos agropecuários entre 1996 e 2006, por Estado da Região Nordeste do Brasil.....	66
Figura 25 – Modelo de equilíbrio de baixo nível para o Semiárido.....	67
Figura 26 – Municípios selecionados para o estudo comparativo quanto à vulnerabilidade à desertificação no Ceará.	73
Figura 27 – Área destinada aos plantios de feijão e milho, no Estado do Ceará, entre 1990 e 2010.	74
Figura 28 – Produção, em toneladas, de feijão e milho, e precipitação (mmx1000) no Ceará entre 1990 e 2011.	75
Figura 29 – Produtividade, em quilogramas por hectare colhido, de feijão e milho, e precipitação (mmx1000) no Ceará entre 1990 e 2011.	76
Figura 30 – Quantidade produzida (Toneladas) de feijão em municípios Baixa vuln. e em municípios Alta vuln.à desertificação.	77
Figura 31 – Quantidade produzida (Toneladas) de milho em municípios Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln.à desertificação.....	77
Figura 32 – Produtividade (Kg/área colhida) para o feijão nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln.à desertificação.	77
Figura 33 – Produtividade (Kg/área colhida) para o milho nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.	77
Figura 34 – Perda (área colhida/plantada) para o feijão nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.	78
Figura 35 – Perda (área colhida/plantada) para o milho nos municípios Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln.à desertificação.....	78
Figura 36 – Variação do PIB real nos municípios com baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.) e nos municípios com alta vulnerabilidade à desertificação (Alta vuln.), entre 2000 e 2010.	79

Figura 37 – Comportamento do Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação.....	79
Figura 38 – Comportamento do Índice Municipal de Alerta (IMA) para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação.....	79
Figura 39 – Índice Municipal de Alerta (IMA) médio para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação entre 2004 e 2010.	80
Figura 40 – Problemáticas de referência em AMD.....	86
Figura 41 – Processo de construção de modelo multicritério de apoio à decisão.	87
Figura 42 – Diagrama causa-efeito do processo de desertificação.....	103
Figura 43 – Metodologia AMD para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.	104
Figura 44 – Ações humanas modificadoras do meio ambiente induzidas pelas principais atividades econômicas no Semiárido.....	108
Figura 45 – Escala contínua de preferências na avaliação ambiental.....	115
Figura 46 – Matriz de impactos para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.	116
Figura 47 – Planilha de avaliação de impactos elaborada em planilha do Excel. ...	120
Figura 48 – Atribuição de valor ao impacto da pecuária (atividade econômica) sobre as ações relacionadas ao aumento de vulnerabilidade à desertificação.....	121
Figura 49 - Atribuição do peso impacto da pecuária (atividade econômica) sobre os meios.....	122
Figura 50 – Criação das funções-utilidade para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.	123
Figura 51 – Cálculo da função f_1 em planilha Excel.	124
Figura 52 – Cálculo da função f_2 normalizada em planilha Excel.....	124
Figura 53 – Matriz de impactos preenchida pelo Especialista 1.....	125
Figura 54 - Matriz de impactos preenchida por Especialista 2.	126
Figura 55 - Matriz de impactos preenchida por Especialista 3.	126
Figura 56 – Medianas do IVD para as atividades econômicas em áreas de alta vulnerabilidade à desertificação (AVD) e de baixa vulnerabilidade à desertificação (BVD), com a presença de medidas mitigadoras (CMM) e sem medidas mitigadoras (SMM).	131
Figura 57 – Atuação de estratégias exógenas sobre o equilíbrio de baixo nível.	135
Figura 58 – Adutora para transferência entre açudes no Ceará.....	138
Figura 59 – Construção de cisternas rurais no âmbito do P1MC.	138

Figura 60 – Participação regional na composição do rebanho bovino nacional no ano de 1974.	170
Figura 61 – Participação regional na composição do rebanho bovino nacional no ano de 2011.	170
Figura 62 – Rebanho bovino (número de cabeças), por região brasileira e no Semiárido, entre os anos de 1974 e 2011.....	171
Figura 63 – Participação (%) da bovinocultura do Semiárido em relação ao Nordeste.	171
Figura 64 – Rebanho de caprinos (número de cabeças) no Nordeste e no Brasil. .	172
Figura 65 – Rebanho de ovinos (número de cabeças) no Nordeste, no Sul e no Brasil.	172
Figura 66 – Pecuária extensiva no Semiárido.....	174
Figura 67 – Quantidades produzidas na Região Nordeste, das culturas de milho, feijão e mandioca, entre 1990 e 2011.	176
Figura 68 – Área (milhões de hectares) do Brasil e da Região Nordeste destinadas ao plantio das culturas de milho, feijão e mandioca, entre 1990 e 2011.	176
Figura 69 – Preparação de área para implantação de cultura agrícola.....	180
Figura 70 – Erosão em antiga área agrícola do Semiárido.	181
Figura 71 – Exploração de Gnaisse em área rural do Semiárido.	186
Figura 72 – Impactos relacionados à de Transposição do Rio São Francisco identificados no Estudo de Impactos Ambientais (EIA/RIMA).	190

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição (%) das pessoas de 10 anos ou mais, ocupadas na semana de referência, por grandes Regiões do Brasil, segundo as seções de trabalho principal em 2010.	53
Tabela 2 – Participação (%) na produção de feijão e milho, no Estado do Ceará, no ano de 2011, nos 13 Municípios de baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.) e nos 13 Municípios de alta vulnerabilidade à desertificação (Alta vuln.).....	76
Tabela 3 – Indicador de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD) para as principais atividades econômicas do Semiárido.	128
Tabela 4 – Redução (%) do IVD quando da introdução de medidas de mitigação (CMM) em áreas de alta vulnerabilidade à desertificação (AVD) e em áreas de baixa vulnerabilidade à desertificação.	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do clima segundo índice de aridez (IA) e Susceptibilidade à Desertificação.....	31
Quadro 2 – Municípios cearenses selecionados para o estudo comparativo.....	73
Quadro 3 – Problemáticas de referência em AMD.	85
Quadro 4 – Características, tipos e descrição dos impactos ambientais.	97
Quadro 5 – Descrição dos critérios relacionados aos impactos das ações antrópicas nos meio abiótico, biótico e antrópico.	111
Quadro 6 – Escala de atributos para quantificar o impacto das atividades econômicas como indutoras das ações antrópicas relacionadas à desertificação..	115
Quadro 7 – Ordenação das ações segundo os julgamentos dos especialistas.	127
Quadro 8 – Núcleos de desertificação reconhecidos no Nordeste e causas da desertificação.	192
Quadro 9 – Exemplos de medidas mitigadoras a serem observadas na introdução de atividades econômicas no Semiárido Brasileiro.	193

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
ABC	Agricultura de Baixo Carbono
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
Alta vuln.	Alta vulnerabilidade à desertificação
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
AP1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
Baixa vuln.	Baixa vulnerabilidade à desertificação
CBD	Convenção sobre Diversidade Biológica
CMM	Com Medidas Mitigadoras
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPATSA	Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido
DPSIR	Força motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FNE	Fundo Constitucional de Desenvolvimento do Nordeste
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
IA	Índice de Aridez
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM	Índice de Desenvolvimento Municipal
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
IMA	Índice Municipal de Alerta
IPECE	Instituto de Pesquisas Econômicas do Estado do Ceará
IPH	Índice de Pobreza Hídrica
IVA	Índice de Vulnerabilidade Ambiental das Bacias Hidrográficas
IVD	Índice de Vulnerabilidade à Desertificação
LADA	<i>Land Degradation Assessment in Drylands</i>

MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCDM	Métodos de Tomada de Decisão Multicritério
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PAE CEARÁ	Programa Estadual de Combate à Desertificação
PAM	Plano de Águas Municipal
PAN BRASIL	Programa de Ação de Combate à Desertificação
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Potencial Natural de Erosão
PRODHAM	Programa Hidroambiental do Ceará
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
PRONAF	Programa Nacional de Agricultura Familiar
SIG	Sistemas de Informações Gerenciais
SMARTS	<i>Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings</i>
SMM	Sem Medidas Mitigadoras
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TOPSIS	<i>Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UNCCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
UNFCCC	Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Objetivo geral	25
1.2	Objetivos específicos.....	25
1.3	Originalidade da pesquisa	25
1.4	Estrutura do trabalho	26
2	VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO: BASE CONCEITUAL	27
2.1	O fenômeno da desertificação.....	27
2.1.1	Aspectos climáticos da desertificação	30
2.1.2	Indicadores de desertificação	32
2.2	Vulnerabilidade, risco, resiliência e capacidade adaptativa dos ecossistemas a desertificação	36
2.2.1	Definições de risco, vulnerabilidade, resiliência e capacidade adaptativa	37
2.2.2	Indicadores de vulnerabilidade	41
3	VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO: PROPOSIÇÃO DE UM EQUILÍBRIO DE BAIXO NÍVEL	44
3.1	O equilíbrio de baixo nível	44
3.2	Vulnerabilidade natural	45
3.3	Vulnerabilidade econômica e social.....	49
3.4	Contribuição das atividades econômicas para o aumento da vulnerabilidade à desertificação no Semiárido	60
3.5	O modelo de equilíbrio de baixo nível.....	67
3.5.1	Aplicação do modelo	69
4	APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: BASE CONCEITUAL	81
4.1	A tomada de decisão na área ambiental	81
4.2	Análise multicritério e multiobjetivo.....	83

4.3	Apoio Multicritério a Decisão	83
4.3.1	Processo de decisão	87
4.3.2	Metodologias multicritério	88
4.4	Avaliação de impactos ambientais.....	92
4.5	Avaliação multicritério de impactos ambientais	95
4.6	Apoio multicritério em avaliações de vulnerabilidade à desertificação	98
5	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO	101
5.1	Método da pesquisa	102
5.1.1	Estruturação do problema	104
5.1.2	Realização das entrevistas	117
5.1.3	Escolha do método multicritério.....	118
5.1.4	Preenchimento da matriz de impactos: 1ª modelagem de preferências	119
5.1.5	Avaliação de vulnerabilidade à desertificação em relação à atividade econômica: 2ª modelagem de preferências	120
5.1.6	Construção das funções-utilidade para modelagem das preferências	122
5.2	Resultados da aplicação da metodologia	125
5.2.1	Resultados da 1ª modelagem de preferências	125
5.2.2	Resultados da 2ª modelagem de preferências	127
6	ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO	133
6.1	Estratégias para redução da vulnerabilidade.....	133
6.1.1	Estratégias de combate, mitigação e de adaptação	135
6.1.2	Investimentos, subsídios, seguros e transferências	138
6.1.3	Utilização de técnicas de manejo sustentável	140
7	CONCLUSÕES	144
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

APÊNDICE A – ATIVIDADES ECONÔMICAS NO SEMIÁRIDO E IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES.....	169
APÊNDICE B – EXEMPLOS DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO PARA AS PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS DO SEMIÁRIDO	193
APÊNDICE C – ASPECTOS HISTÓRICOS DA OCUPAÇÃO DO SEMIÁRIDO E REFLEXOS NA VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO	195
APÊNDICE D – AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO BRASIL.....	200

1 INTRODUÇÃO

A evolução histórica do Semiárido brasileiro, cuja extensão abrange mais de 80% da Região Nordeste, é marcada pela luta do homem para adaptar-se às condições naturais adversas. A batalha mais constante tem sido de convivência com as secas, cujos relatos, históricos e atuais, mostram a contribuição para os atrasos econômico e social, migrações, fome e degradação ambiental (ABREU, 1907; ALVES, 1982; CAMPOS, 2009; CAMPOS, STUDART, 2001; CARVALHO, 1985; CAVALCANTI, GUILLEN, 2005; COSTA, 2003; FURTADO, 1998; GIRÃO, 1986; NEVES, 2000; POMPEU SOBRINHO, 1982; PRADO JUNIOR, 1998; SOUZA, 1979).

As secas tendem a aumentar a vulnerabilidade dos ecossistemas à degradação, assim como a degradação contribui para agravar os efeitos das secas, produzindo-se um ciclo dinâmico, no qual pobreza e degradação convivem em uma relação direta, caracterizando um equilíbrio de baixo nível (ARAÚJO; NUNES; SOUZA FILHO, 2014). As causas e efeitos da degradação ambiental convergem para o declínio das condições de vida da população e da manutenção do frágil equilíbrio humano, econômico e ambiental, que vem a representar a desertificação.

O Semiárido apresenta aspectos ambientais propícios ao fenômeno da desertificação: precipitação média baixa e irregular, evapotranspiração elevada, solos cristalinos e ecossistemas fragilizados pelas atividades econômicas desenvolvidas ao longo dos séculos, caracterizadas pelo uso de práticas agropecuárias inadequadas, como queimadas, desmatamentos e sobrepastoreio, que acabam atenuando as fragilidades naturais e agravando o processo de degradação dos solos (BRASIL, 2004). Além disso, trata-se, dentre as regiões semiáridas do mundo, a de maior densidade demográfica, o que acentua a pressão humana sobre o meio ambiente.

Apesar das condições ambientais e climáticas adversas, as atividades agropecuárias têm papel relevante na economia do Semiárido, e são as principais responsáveis pelo aumento da vulnerabilidade à desertificação. Tal situação tende a agravar os indicadores econômicos e sociais, em função da exaustão dos solos, provocada pelas técnicas de manejo empregadas, assim como os efeitos das secas, a ser potencializados pelas mudanças climáticas projetadas para cenários futuros.

A desertificação, citada como um dos grandes problemas mundiais da atualidade, pode ser compreendida como um fenômeno natural, resultante da degradação crítica, com possibilidade de ocorrência em regiões áridas e semiáridas, com causas relacionadas às condições climáticas e ao uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 2004), tornando o espaço físico impróprio para a manutenção da vida.

Além das causas naturais, qual seria o impacto do modelo econômico da Região, baseado principalmente nas atividades agropecuárias, no aumento da vulnerabilidade ambiental à desertificação? Qual a vulnerabilidade à desertificação em relação às demais atividades econômicas desenvolvidas no Semiárido? O que poderia ser feito para reduzir tal vulnerabilidade?

Tais questões ilustram a necessidade de se estudar os impactos ambientais resultantes da ação humana, em decorrência das atividades econômicas praticadas na Região. Do mesmo modo, esclarecem de que modo tais ações podem contribuir para o aumento da vulnerabilidade à desertificação, seja a partir de métodos tradicionais de avaliação ou da utilização de novos enfoques e metodologias.

Compreende-se que as atividades econômicas, e suas ações resultantes, causam impactos no meio ambiente, nas dimensões física, biológica e antrópica, contribuindo para a degradação ambiental. Aspectos naturais e mudanças climáticas, representadas como forças exógenas, tendem a contribuir para o aumento da vulnerabilidade ambiental, que poderá desencadear o estágio irreversível de desertificação, dependendo da resiliência do sistema ambiental estudado.

Considera-se o termo risco ligado à noção de ameaça, no sentido que um evento indesejável, e com efeitos adversos possa ocorrer, podendo ser estimado (AMARAL E SILVA, 2004).

A análise do risco ecológico consiste em avaliar as alterações ecológicas ocasionadas pelas diversas atividades antropogênicas em um determinado ecossistema, como por exemplo, da emissão de efluentes, entre outras, por meio da integração das informações físicas, químicas e biológicas (SANCHEZ, 2012).

Dessa forma, o aumento da vulnerabilidade à desertificação representaria um risco ecológico, e que poderia ser mensurado, já que tal análise possibilita a quantificação da probabilidade de um efeito adverso de um agente ou ação.

Neste trabalho propõe-se a utilização o apoio multicritério à decisão (AMD) para formatar uma metodologia de avaliação de vulnerabilidade à desertificação no Semiárido.

O AMD se constitui em métodos capazes de identificar diversos critérios (objetivos) a serem avaliados, mensurá-los, integrar avaliações individuais e gerar ações de melhoria ou aperfeiçoamento (BORTOLUZZI; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L., 2011).

A introdução do risco e da incerteza nos modelos multicritério trouxe uma nova gama de informações que permitiram o aperfeiçoamento do processo decisório. Os modelos e técnicas utilizadas, que anteriormente simplificavam as situações reais, considerando-as determinísticas, passaram a incorporar incertezas, tornando-se probabilísticas e associadas a um fator de risco.

Segundo Pimentel e Pires (1992), a análise de risco nas avaliações de impactos ambientais, além de incorporar aspectos quantitativos, analisam a percepção que os agentes decisores têm do risco, e o controle futuro, de modo que ele seja mantido dentro de certos limites, o que certamente engloba aspectos políticos na avaliação e tomada de decisão.

Estudar o processo de desertificação sob o enfoque multicritério pode contribuir com diretrizes para redução de vulnerabilidade, assim como para o desenvolvimento de novas metodologias a ser utilizadas em demais estudos e avaliações ambientais.

Procurou-se integrar conhecimentos e enfoques de diversas áreas, inclusive as ciências econômicas e sociais, objetivando um trabalho de tese da área da engenharia ambiental, e comprovando a transversalidade das questões e do saber holístico relacionado ao tema.

A redução de vulnerabilidade conta também com estratégias que tendem a potencializar seus efeitos quando combinadas, e que incluem desde ações de engenharia, desenvolvimento de tecnologias, educação ambiental, dentre outras, a exemplo do que foi testado no Programa Hidroambiental do Ceará (PRODHAM) (CEARÁ, 2010).

1.1 Objetivo geral

Propor metodologia para avaliação de vulnerabilidade à desertificação sob a perspectiva do Apoio Multicritério à Decisão (AMD).

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a aplicação do modelo de equilíbrio de baixo nível para o processo de desertificação no Semiárido brasileiro, especialmente no Estado do Ceará;
- Desenvolver metodologia multicritério para construção de Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD) do Semiárido Brasileiro, e analisar resultados;
- Estudar medidas de combate, convivência, mitigação e adaptação voltadas à redução dos cenários de vulnerabilidade à desertificação no Semiárido Brasileiro.

1.3 Originalidade da pesquisa

A originalidade deste trabalho de pesquisa está baseada na integração do apoio multicritério à decisão às metodologias de avaliação de impactos ambientais, aplicado ao estudo de desertificação, que representa um grave problema ambiental, podendo ser considerado um desastre natural¹, relacionado ao aumento da vulnerabilidade, em suas múltiplas dimensões, nas regiões susceptíveis ao fenômeno, incluindo o Semiárido brasileiro.

A metodologia proposta, ao resgatar, valorar e integrar o conhecimento de especialistas no tema, visa contribuir para a tomada de decisão na área de objeto do estudo, e poderá ser replicada em outras questões relacionadas a avaliações de múltiplos critérios, incluindo projetos, políticas e programas.

¹ Tratamento ao tema dado por Bender (1991).

1.4 Estrutura do trabalho

A apresentação deste trabalho está organizada em capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introduz o tema, apresentando a pesquisa, suas contribuições, objetivos, originalidade e estrutura.

Capítulo 2 – Consiste na fundamentação teórica dos temas desertificação e vulnerabilidade, incluindo definições, e suas medidas, a partir da revisão de indicadores e índices;

Capítulo 3 – Apresenta o modelo de equilíbrio de baixo nível, aplicado ao Estado do Ceará.

Capítulo 4 – Apresenta a fundamentação teórica do apoio multicritério à decisão, e aplicação na avaliação ambiental, inclusive relacionada ao tema desertificação;

Capítulo 5 – Descreve a construção da metodologia multicritério de avaliação da vulnerabilidade à desertificação, assim como os resultados da aplicação na Região Semiárida.

Capítulo 6 – Aborda medidas para redução da vulnerabilidade à desertificação, a serem utilizadas para romper o equilíbrio de baixo nível descrito no Capítulo 3.

Capítulo 7 – Apresenta as conclusões e considerações finais do trabalho de pesquisa.

Capítulo 8 – Apresenta o aporte bibliográfico utilizado na fundamentação teórica necessária à construção da tese.

Nos apêndices A, B, C e D encontram-se reunidos textos para apoiar a fundamentação do trabalho.

2 VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO: BASE CONCEITUAL

Neste capítulo apresenta-se uma revisão de literatura sobre o fenômeno da desertificação, suas causas – relacionadas a fatores naturais e antrópicos, sua avaliação – a partir da utilização de indicadores e índices, e suas consequências. Tal abordagem é realizada ainda sob o enfoque dos conceitos de vulnerabilidade, risco e capacidade de adaptação.

2.1 O fenômeno da desertificação

Nas regiões de clima seco (*drylands*), estimadas em 40% da superfície da Terra (FIGURA 1) observam-se condições ambientais, incluindo os aspectos climáticos, assim como os processos de exploração dos recursos naturais, que atenuam os processos de degradação ambiental, tornando tais regiões vulneráveis ao fenômeno da desertificação (DARKOH, 1996; DARKOH, 1998; KASSAS, 1995; REYNOLDS *et al.* 2007; REYNOLDS, STAFFORD SMITH, 2002; VERÓN, PARUELO, OESTERHELD, 2006).

Segundo Conti (2008), os termos deserto e desertificação são distintos. O deserto remete a uma área com características e limites espaciais definidos, com condições de aridez extremas, sistema natural adaptado, e baixa taxa de ocupação humana. Já a desertificação pode ser entendida como um conjunto de fenômenos, incluindo os climáticos e antropogênicos, que induzem a degradação extrema, podendo atingir a condição desértica em determinadas áreas. Logo, o deserto é o ápice do processo de degradação.

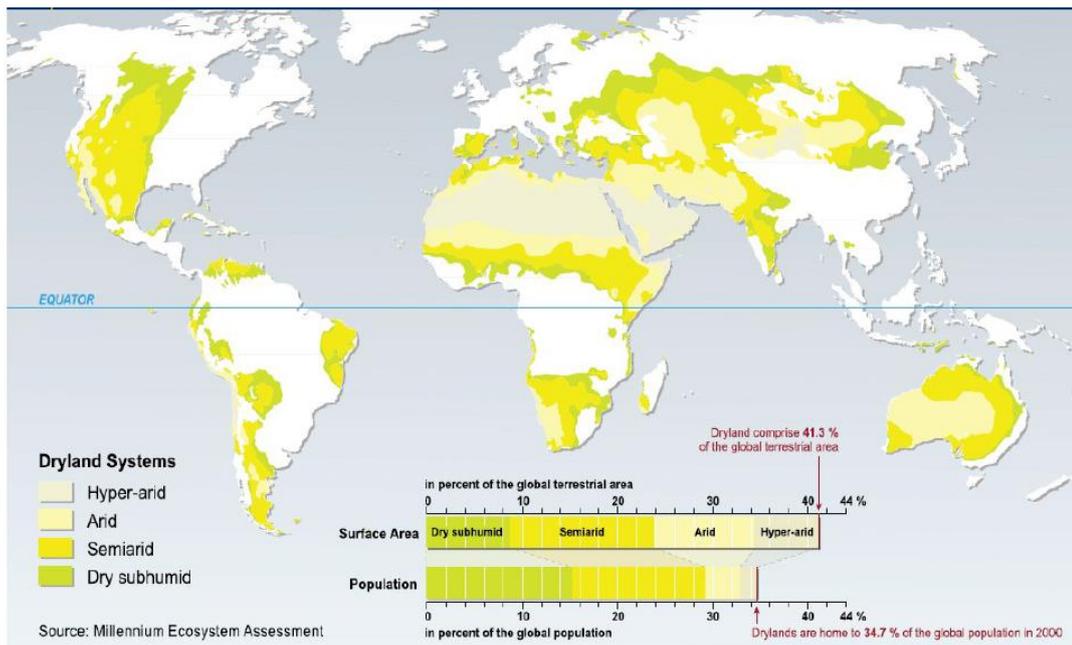
No Brasil, as áreas susceptíveis ao fenômeno da desertificação, concentradas principalmente na Região Semiárida, abrangem 1.338.076 km², que correspondem a 15,72% do território brasileiro e abrigam uma população de cerca de 32 milhões de habitantes (BRASIL, 2004, p. 23).

Em função de suas vulnerabilidades naturais, as regiões secas são reconhecidas, também, pela sua elevada vulnerabilidade às ações humanas. São áreas que, sob o impacto da ação antrópica, podem apresentar desequilíbrios nos compartimentos de seus ecossistemas (GOMES; PEREIRA, 2011).

A desertificação, segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD):

“É a degradação de terras nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas do planeta, resultante da ação do homem sobre o ambiente e de fenômenos naturais, como variabilidade climática, que afeta principalmente a população mais pobre.” (BRASIL, 2004, p. 7).

Figura 1 – Distribuição das áreas secas (*Drylands*) nos continentes e população estimada.



A degradação das terras é compreendida pela UNCCD, como a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica, em função da ação humana, sendo causada por uma interação complexa de fatores físicos, biológicos, políticos, sociais, culturais e econômicos (BRASIL, 2004).

O Brasil é signatário da UNCCD (BRASIL, 1998) e aprovou, em 2004, o seu Programa de Ação de Combate à Desertificação, o PAN BRASIL (BRASIL, 2004).

Na primeira UNCCD, ocorrida em 1977, as causas da desertificação foram associadas à degradação ambiental em decorrência de atuação de fatores externos, conduzindo a deterioração biológica dos ecossistemas em consequência de pressões criadas por fatores climáticos e pelas atividades do homem, agindo em conjunto ou separadamente (GLANTZ; ORLOVSKY, 1983).

Conforme Matallo Junior (2001), o processo de desertificação é resultado da imposição dos processos de produção em larga escala, com técnicas importadas de regiões de clima temperado, que requerem uma grande quantidade de recursos naturais, tal como a água, bastante escassos nas regiões secas, que contribuem para acelerar a degradação ambiental.

Em 1924, o naturalista Henry Hubert publicou dois artigos alertando sobre a ameaça de ressecamento² da África, e considerava o fenômeno ligado principalmente às causas naturais, minimizando a ação humana (GAGNOL, 2012).

O termo “*désertification*” foi utilizado pela primeira vez por Louis Lavauden em um artigo publicado em 1927, no qual considerava o fenômeno observado na África, causado pelo homem, em época recente, e que podia ser combatido e erradicado (GAGNOL, 2012; MATALLO JUNIOR, 2013).

O novo termo foi popularizado por A. Aubre'ville em 1949 para descrever a dizimação das florestas no continente africano por práticas agrícolas trazidas pelos colonizadores europeus, que incluíam o desmatamento e queimadas (DELWAULLE, 1973; REYNOLDS, SMITH, 2002; VERDUM, 2009).

Nos anos 70, com os efeitos de uma seca intensa na Região do Sahel Africano, cresceu o interesse da comunidade científica em estudar o fenômeno da desertificação (NICHOLSON; TUCKER; BA, 1998), que culminou com a ocorrência da primeira Conferência das Nações Unidas sobre o tema, em Nairóbi, em 1977.

As regiões com potencial de desertificação têm nas secas um evento comum, sendo tal fenômeno climatológico caracterizado pela ausência, escassez, frequência reduzida, quantidade limitada e má distribuição das precipitações pluviométricas durante as estações chuvosas (BRASIL, 2004).

A desertificação e as secas constituem fenômenos naturais associados, cujos efeitos são potencializados pela ação do homem. A UNCCD trata dos fenômenos seca e desertificação de maneira conjunta, referindo-se às estratégias de combate à desertificação e de mitigação dos efeitos das secas (BRASIL, 2004).

Segundo o PAN BRASIL, pode-se resumir a desertificação como fenômeno de degradação ocorrendo em locais de grande vulnerabilidade a ação humana, com distribuição fundiária deficiente, sujeitos a expansão urbana desordenada, ao manejo inadequado dos recursos florestais, e ao uso de práticas

² Do francês “*Dessèchement*”.

agrícolas e pecuárias inapropriadas e aos efeitos socioeconômicos da variabilidade climática (BRASIL, 2004).

Geist e Lambin (2004), que realizaram uma pesquisa meta-analítica sobre as causas da desertificação, mostraram que o fenômeno é impulsionado por um conjunto limitado de variáveis recorrentes nos 132 estudos de casos analisados. As variáveis mais representativas são as de ordem climática, econômica, política, e o crescimento populacional, que impulsionam a expansão de terras agrícolas, sobrepastoreio e expansão da infraestrutura.

2.1.1 Aspectos climáticos da desertificação

Uma das classificações utilizadas para se definir a tipologia climática das regiões da Terra é a baseada no Índice de Aridez (IA), que representa a razão entre precipitação e evapotranspiração potencial (perdas de água para a atmosfera), sendo metodologia sistematizada por Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948), com posterior ajuste de Penman em 1953 (CAITANO; LOPES; TEIXEIRA, 2011).

Tal classificação é utilizada pela UNCCD para definir as faixas climáticas onde ocorre o fenômeno da desertificação, limitado a regiões com índice de aridez entre 0,05 e 0,65. Em demais regiões climáticas, processos de degradação ambiental, a exemplo da arenização que ocorre no Rio Grande do Sul (SOUZA, SUERTEGARAY, 2006; SUERTEGARAY *et al.*, 2001) não é considerado desertificação. No Quadro 1 são apresentadas a tipologia climática baseada no índice de aridez e a susceptibilidade à desertificação.

A influência do clima sobre os processos de desertificação é bastante complexa, sendo a variabilidade climática um dos fatores que contribuem para acelerar os processos de desertificação; quanto maior o grau de aridez de uma determinada região, maior é sua suscetibilidade aos processos de desertificação (HULME; KELLY, 1993).

Observa-se que nas regiões secas, as ações humanas tendem a amplificar a vulnerabilidade à desertificação causada pelas alterações climáticas (TÜRKEKES, 1999).

Observou-se, por exemplo, que os núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro apresentam maior flutuação climática em relação às demais áreas, apesar da grande susceptibilidade de toda a região a eventos climáticos que repercutem diretamente no aumento do risco à desertificação (BRITO; BRAGA, 2002). Já Oyama e Nobre (2004), verificaram alterações do ciclo hidrológico, na precipitação, evapotranspiração e diminuição do escoamento, assim como a diminuição da radiação da superfície.

Quadro 1 – Classificação do clima segundo índice de aridez (IA) e Susceptibilidade à Desertificação.

Índice de aridez	Classificação do clima	Susceptibilidade à desertificação
IA < 0,05	Hiper árido	-
0,05 < IA < 0,20	Árido	Muito alta
0,20 < IA < 0,50	Semiárido	Alta
0,50 < IA < 0,65	Subúmido seco	Moderada
0,65 < IA < 1,00	Subúmido úmido	-
IA > 1,00	Úmido	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2004) e de Resolução CONAMA nº 238/1997 (CONAMA, 1997).

Brito, Souza e Aragão (2002) verificaram que no Nordeste brasileiro, há um aumento da vulnerabilidade à desertificação nos anos de *El Niño* em comparação com os anos de *La Niña*, em função direta da variação do índice de aridez.

Segundo Dregne (1986), um equívoco comum é responsabilizar as secas pela desertificação; as secas podem contribuir para aceleração da degradação, a partir do uso de práticas abusivas no período da estiagem. No entanto, havendo uma boa gestão do solo durante a seca, o mesmo irá se recuperar bem no período chuvoso. Os impactos das secas seriam, portanto, amplificados nos solos degradados por exploração abusiva (DREGNE, 1986).

A variabilidade climática, não só da ocorrência das secas, mas também da ocorrência de chuvas intensas e concentradas, e a enchentes, também influenciam no aumento da vulnerabilidade à desertificação (MARENGO *et al.*, 2011).

Sagan, Toon e Pollack (1979) observavam que as ações antropogênicas, incluindo o desflorestamento, salinização, dentre outras, que levam à desertificação, contribuíam significativamente para as mudanças de níveis de albedo e do clima.

Em cenários futuros de mudanças climáticas, estima-se o aumento da vulnerabilidade à desertificação nas regiões áridas e semiáridas, associado a

diminuição de precipitação, aumento de temperatura, aumento da evapotranspiração, variações dos índices de albedo, redução da produção e produtividade agrícola, dentre outros fatores (BREGAS, 1998; CONTI, 2005a; CONTI, 2005b; CAMPOS, SILVA, M. T., SILVA, V. P. R., 2010; CIRAD, 2009; HULME, 1996; IPCC, 2007; LE HOUÉROU, 1996; MARENGO, 2008; MARENGO, 2009; NIASSE, AFOUDA, AMANI, 2004; OYAMA, NOBRE, 2004; RIBOT, MAGALHÃES, PANAGIDES, 2005; SILVA *et al.*, 2013; SIVAKUMAR, 2007).

2.1.2 Indicadores de desertificação

Como forma de medir os reflexos das ações naturais e antropogênicas sobre os processos de desertificação, recorre-se, geralmente, à utilização de indicadores e índices. Um indicador é uma medida quantitativa ou qualitativa derivada de fatos observados que simplificam a realidade de uma situação complexa, enquanto o índice é o valor agregado final de um procedimento de cálculo onde se utiliza, inclusive, indicadores como variáveis para composição (SICHE *et al.*, 2007).

No que se refere a aspectos biofísicos relacionados ao risco de desertificação, são utilizados como indicadores, ou critérios, medidas do albedo, temperatura da superfície, emissividade, fluxo de calor no solo, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Potencial Natural de Erosão (PNE), dentre outros, apoiados por sistemas de informações gerenciais (SIG) (LOPES *et al.*, 2009; NICHOLSON; TUCKER; BA, 1998).

Bai *et al.* (2008) estudaram o fenômeno da degradação das terras, em nível mundial, a partir de medidas de NDVI; os resultados indicaram que 24 % da superfície terrestre encontrava-se em degradação, principalmente na África, América do Sul, Sudeste da Ásia e sul da China, centro-norte da Austrália e trechos de taiga siberiana e norte-americana. Pioneiramente, mudanças dos níveis de albedo, em diferentes épocas do ano, foram utilizadas para avaliar os fenômenos de seca e desertificação em diferentes regiões semiáridas (CHARNEY *et al.*, 1977).

Vários trabalhos sobre indicadores de desertificação foram publicados ao longo dos anos. Matallo Júnior (2001) realizou um levantamento e discussão sobre

os mesmos. Tal estudo mostra que não há uma definição clara do conceito de desertificação, em função da sua transversalidade; assim como apresenta a evolução de diversos sistemas de indicadores e metodologias propostas para escolha e validação de indicadores de desertificação desde a Conferência de Nairóbi.

Uma proposta nacional de indicadores de desertificação, formulada em 1994, incluía os dezenove itens, incluindo erosão, salinização e perda de fertilidade, cobertura vegetal, qualidade e disponibilidade da água, produtividade agrícola e pecuária, densidade demográfica, migrações, dentre outros (MATALLO JÚNIOR, 2001). Observa-se que o conjunto de indicadores relacionados à desertificação inclui indicadores físicos, biológicos e antrópicos.

Rubio e Bochet (1998) propuseram um sistema de indicadores de desertificação adaptados à realidade europeia. Foram definidos na metodologia de seleção dos critérios, os fatores, os processos e os parâmetros a serem medidos. Foram selecionados critérios ambientais, climáticos e socioeconômicos, incluindo parâmetros de erosão hídrica e eólica, fatores climáticos, topográficos, de níveis de cobertura vegetal e fatores socioeconômicos.

No âmbito de um projeto de cooperação entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento, Instituto Interamericano de Desenvolvimento e Governo do Japão (IICA-BID ATN JF 7905-RG), realizou-se uma compilação dos indicadores de desertificação utilizados por países sul-americanos, que trabalham com sistemas de indicadores diversificados, sendo mais uma tentativa para padronização³.

No PAN BRASIL são listados quarenta e oito indicadores de desertificação, acordados em consenso, e que incluem critérios ambientais, climáticos, institucionais e socioeconômicos, e a forma de medida para alguns deles, sua abrangência (local ou nacional) e importância (BRASIL, 2004).

No Brasil, o Professor João Vasconcelos Sobrinho, pioneiro nos estudos sobre desertificação, publicou em 1978, seguindo as orientações da Conferência de Nairobi, um manual com metodologia de indicadores de desertificação (VASCONCELOS SOBRINHO, 1978).

Aquino e Oliveira (2012) utilizaram um conjunto de indicadores climáticos, morfopedológicos e bióticos, combinados ao uso de um Sistema de Informações

³ Os resultados podem ser consultados em Abraham e Beekman (2006).

Geográficas (GIS), para analisar processos de degradação/desertificação no Núcleo de Desertificação de São Raimundo Nonato, no Piauí. A dinâmica da cobertura vegetal também foi estudada com o uso de sensoriamento remoto (AQUINO; OLIVEIRA; ALMEIDA, 2012); e em relação ao balanço hídrico (AQUINO; OLIVEIRA, 2013).

Foi realizada uma análise da aplicação dos principais indicadores socioeconômicos e ambientais no Modelo DPSIR (Força motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta), utilizando-se dados de diversas fontes, em áreas de risco à desertificação em áreas do Semiárido. Os resultados mostraram que as principais forças motrizes indicadoras da degradação ambiental estão relacionadas às atividades produtivas, principalmente, com a ocorrência do desmatamento com finalidade de implantação de atividades agropecuárias, assim como da mineração (FERNANDES; BARBOSA, 2011).

Lopes *et al.* (2009) desenvolveram um modelo de avaliação de risco à desertificação, utilizando-se indicadores biofísicos de uma área de Pernambuco, integrados a partir do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). Os parâmetros utilizados foram o albedo, emissividade, temperatura da superfície, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), fluxo de calor no solo e potencial natural de erosão – erodibilidade do solo, erosividade da chuva e fator topográfico.

Um mapeamento da desertificação foi efetuado, aplicando o sensoriamento remoto e o geoprocessamento às informações qualitativas da vegetação, obtidas a partir de bioindicadores (diversidade, densidade e estratos), na região do Cariri Paraibano (SOUZA, 2008).

Bezerra *et al.* (2011) identificaram áreas propícias ao processo de desertificação no Rio Grande do Norte, utilizando-se os principais indicadores de desertificação do MMA e IBAMA, apoiados pelos sistemas SPRING e ArcView. Já no semiárido de Minas Gerais foram mapeadas as áreas suscetíveis à desertificação, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto, a partir do NDVI dos anos de 2003 a 2012 (ALMEIDA; NERY; LIMA, 2013).

Para avaliar mudanças temporais relacionadas à degradação de uma área de caatinga, Lopes *et al.* (2010) integraram os parâmetros NDVI, albedo e temperatura de superfície entre os anos de 1985 e 2001 durante a estação seca,

que evidenciaram um aumento dos níveis de degradação ambiental na área estudada.

No que se refere aos índices de desertificação, Viana e Rodrigues (1999) desenvolveram um índice interdisciplinar de propensão à desertificação, a partir uma matriz de variáveis naturais, agrícolas, econômicas, demográficas e sociais, sendo aplicado o modelo estatístico multivariado da análise fatorial. As variáveis de entrada incluíram 46 indicadores relacionados ao fenômeno de desertificação, tais como: rendimento de cultivos, estrutura agrária, áreas destinadas à agricultura e pecuária, densidade demográfica, nível de educação, taxas de evapotranspiração, disponibilidade de água, área antropizada, dentre outros.

Dentre os objetivos do projeto LADA⁴, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), encontra-se a sistematização e divulgação de indicadores de desertificação (LADA, 2011).

Feoli *et al.* (2003) desenvolveram um índice de risco de desertificação (DRI) com base na integração de dados climáticos e do NDVI, obtendo-se uma boa correlação entre o DRI, o índice de aridez e os parâmetros físicos e biológicos.

Xiao *et al.* (2006) desenvolveram uma metodologia de construção de índice de desertificação associado à composição granulométrica do solo degradado, a partir do uso de sensoriamento remoto.

Danfeng, Dawson e Baoguo (2006) desenvolveram um índice de risco a desertificação da atividade agrícola em uma área da China, utilizando-se de vinte indicadores socioeconômicos, incluindo demográficos, de produção e produtividade, além de uso da terra.

Também com o uso de sensoriamento remoto, Santini *et al.*(2010) desenvolveram um índice para avaliar o risco qualitativo de desertificação, a partir da combinação de seis indicadores: sobrepastoreio, produtividade da vegetação, fertilidade do solo, erosão hídrica, erosão eólica e intrusão salina.

Verifica-se que há vasta literatura sobre o tema, em nível mundial e nacional, utilizando os mais diversos indicadores e índices, sejam utilizando parâmetros físicos isolados ou a partir de uma agregação interdisciplinar com indicadores bióticos e antrópicos.

⁴ *Land Degradation Assessment in Drylands*. Publicações disponíveis em <http://www.unep.org/dgef/LandDegradation/LandDegradationAssessmentinDrylandsLADA/tabid/5613/Default.aspx>. Acesso em: 01 ago. 2014.

No entanto, na construção e avaliação de indicadores de desertificação, a incerteza é um dos principais problemas, já que pode envolver o julgamento de especialistas⁵, quando envolver aspectos qualitativos, assim como, em alguns casos, a definição de critérios de ponderação. Além disso, tais sistemas de indicadores podem necessitar de mudanças e adaptações para atender diferentes condições ambientais, assim como diferentes escalas de abrangência (SEPEHR; ZUCCA, 2012).

2.2 Vulnerabilidade, risco, resiliência e capacidade adaptativa dos ecossistemas a desertificação

Os termos vulnerabilidade, risco, resiliência e capacidade adaptativa são cada vez mais usuais em uma ampla gama de ciências, incluindo estudos de mudanças climáticas e de desertificação, como pode ser visto, por exemplo, em Adger (2010); Brooks, Adger e Kelly (2005); Kelly e Adger (2000); Klein, Nicholls, Mimura (1999); Lindoso *et al.* (2010); Smit e Wandel (2006); e Smith (2013).

O tema desertificação está associado às mudanças climáticas, pois estimativas mostram que, em cenários prospectivos de mudanças relacionadas ao clima, haverá o aumento da vulnerabilidade ambiental à desertificação (IAVAZZO *et al.*, 2013). Apesar disso, os temas são tratados separadamente em duas convenções da ONU, a UNCCD e a de Mudança Climática (UNFCCC).

Segundo Marengo *et al.* (2011), extremos climáticos intensos associados à degradação do solo podem acelerar o processo de desertificação no Semiárido, assim como a possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações à desertificação. De acordo com Canhos *et al.* (2008), dos 15 cenários elaborados para o futuro do Bioma Caatinga, 10 apontavam para a degradação/ desertificação até o ano de 2100.

Dessa forma, estudos vêm sendo desenvolvidos sobre a aplicação de tais conceitos nos enfoques de mudanças climáticas e/ou desertificação. Pesquisas multidisciplinares vêm sendo desenvolvidas no Continente Africano visando

⁵ O uso de avaliações e julgamentos por parte de especialistas será fundamentado nos próximos capítulos.

compreender aspectos de vulnerabilidade e os impactos em diversos enfoques, inclusive relacionadas à segurança alimentar (PARRY *et al.* 1999; ROUDIER *et al.*, 2011; SULTAN *et al.*, 2005).

Como exemplos de pesquisas no tema, Fraser *et al.* (2011) discutem como estratégias de desenvolvimento e outras mudanças socioeconômicas poderão ajudar sistemas agrícolas de subsistência a tornar-se mais resistentes e robustos frente à incerteza climática.

Já Gondim (2009) avaliou os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para utilização na irrigação na Bacia do Jaguaribe, no Ceará, reconhecida por sua alta vulnerabilidade à desertificação. As mudanças climáticas projetadas para o futuro próximo, indicam o aumento de 30% da demanda do recurso. No entanto, a melhoria dos sistemas de irrigação mostrou-se uma importante medida adaptativa frente aos cenários de vulnerabilidade projetados (GONDIM *et al.*, 2011).

Cysne (2012) observou, a partir do estudo do Sistema Jaguaribe-Metropolitanas, no Ceará, que em cenários de mudanças climáticas, aumenta-se a vulnerabilidade do sistema hídrico, diminuindo-se a resiliência; sendo então proposto um modelo de governança adaptativa dos recursos hídricos.

Nesse contexto, observa-se que as ações humanas tendem a contribuir para a geração de impactos no meio natural, e influenciam no aumento da vulnerabilidade às mudanças climáticas e a desertificação.

Faz-se necessário, portanto, compreender e estimar, se possível, o impacto dos dois fenômenos, atuando em conjunto, assim como ações que tornem os sistemas ambientais e socioeconômicos menos vulneráveis, a partir da promoção de medidas de mitigação, do aumento da resiliência, e da capacidade adaptativa.

2.2.1 Definições de risco, vulnerabilidade, resiliência e capacidade adaptativa

O risco representa a probabilidade ou possibilidade de ocorrência de eventos, fatos ou resultados indesejáveis, e são consequências das incertezas que cercam a condição humana; podem ser impostos pela natureza ou pelo próprio homem, e repercutem quer no agravamento dos riscos naturais ou na criação de riscos artificiais (SMITH, 2013; VIEIRA, 2005).

A análise de riscos possibilita que uma determinada metodologia identifique (qualificação) e avalie (quantificação), a probabilidade de um efeito adverso de um agente ou ação, sendo utilizada em diversas áreas, a exemplo de finanças, econômica, estratégica e ambiental (VIEIRA, 2005) e da análise do risco ecológico (SANCHEZ, 2012).

Pode-se compreender a vulnerabilidade como o grau de susceptibilidade ou de fragilidade de um sistema aos efeitos negativos ao qual é exposto (METZGER *et al.* 2006; SCHOTER *et al.* 2004), isto é, sua resposta ao risco.

A vulnerabilidade pode ser definida como uma condição, pré-existente, no sistema, cujas características e propriedades aumentam o risco de susceptibilidade a um impacto negativo (FUCHS; KUHLCHE; MEYER, 2011).

A vulnerabilidade pode ser compreendida como uma medida relativa do grau em que diferentes grupos socioeconômicos, situados nas mais diversas regiões geográficas são susceptíveis às consequências adversas de uma situação, incluindo a desertificação (DOWNING; LÜDEKE, 2002).

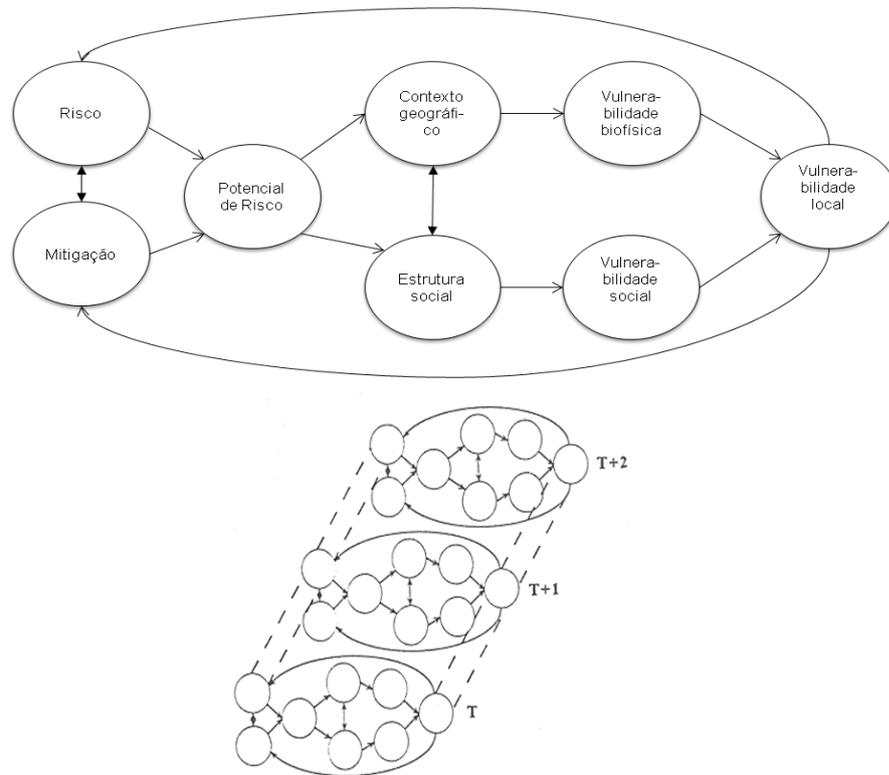
Em geral, o conceito de vulnerabilidade vai além do conceito de risco, já que inclui uma capacidade de adaptação. Assim, vulnerabilidade refere-se, principalmente, a um conceito dinâmico, em um determinado período de tempo (SCHOLZ; BLUMER; BRAND, 2012).

No modelo apresentado por Cutter (1996) (FIGURA 2), a vulnerabilidade local, que varia conforme a camada social, é resultante da interação de vários elementos aos quais o sistema é exposto, e que poderá variar em função do risco, das medidas de mitigação e da retroalimentação do sistema.

Segundo Fuchs, Kuhlicke e Meyer (2011), vulnerabilidade tornou-se um termo usual nos últimos anos, em função da ocorrência de desastres naturais e pesquisas sobre mudanças climáticas. Entretanto, em função do aumento da sua popularidade e aplicações em diferentes contextos disciplinares, definições diferentes têm surgido, tornando vulnerabilidade um termo bastante impreciso.

Segundo Gallopin (2006) é importante definir quais perturbações são o foco do estudo da vulnerabilidade, uma vez que um sistema pode ser vulnerável a um tipo de perturbação, enquanto a outras não apresentar susceptibilidade. O conceito de vulnerabilidade pode se referir a determinadas questões, problemas ou impactos ambientais, tais como vulnerabilidade à mudança climática, à erosão, dentre outros agentes.

Figura 2 – Modelo de vulnerabilidade local associado ao risco e à mitigação.



Fonte: Adaptado de Cutter (1996).

As definições de vulnerabilidade geralmente atrelam tal conceito a um ou mais dos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta do sistema (ADGER; VICENT, 2005; ADGER, 2006). Em relação a tais conceitos, modelos conceituais de vulnerabilidade social às mudanças climáticas, particularmente em comunidades rurais podem ser propostos (ADGER, 1999).

Vulnerabilidade, fragilidade ambiental ou de áreas frágeis estão relacionadas à suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. Daí a definição de ecossistemas frágeis ou áreas frágeis como sendo aqueles locais que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência ou de pouca capacidade de recuperação (GOMES; PEREIRA, 2011).

A resiliência pode ser vista como a capacidade de um sistema em resistir a uma grande perturbação, dentro de parâmetros aceitáveis, e a se recuperar, dentro de um tempo também aceitável (HOLLING, 1973; AVEN, 2011).

Resiliência é a propensão de um sistema em retornar a sua estrutura organizacional e a produtividade após a perturbação; por exemplo, um sistema agrícola será resiliente se for capaz de retomar a produtividade da produção de alimentos após seca severa (NICHOLLS; ALTIERI, 2011).

Ecosistemas resilientes podem lidar com alterações climáticas e manter as funções iniciais. No entanto, se a alteração é amplificada, mudanças abruptas poderão ocorrer, como no caso da desertificação (GARCIA; FERNÁNDEZ; DELIBES, 2013).

Diego-Gonçalves, Ribeiro e Mendes-Víctor (2012) consideram que vulnerabilidade e resiliência, tanto coletivas como individuais, são dimensões chave, tanto físicas, sociais e psicológicas da exposição ao impacto; enquanto a vulnerabilidade descreve o grau em que uma comunidade e os indivíduos são suscetíveis a uma perturbação, a resiliência mostra como os mesmos são capazes de se recuperar dos efeitos.

Segundo Salvati *et al.* (2013) a quantificação de vulnerabilidade e resiliência ambiental às mudanças climáticas é essencial para as regiões expostas à intensa pressão humana. Os Autores identificaram, a partir de experimento real, que baixos níveis de vulnerabilidade à desertificação foram associados à presença de florestas e áreas quase naturais, enquanto a urbanização e a intensificação da agricultura levaram a um aumento significativo da vulnerabilidade do solo.

Já a capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido, fazer uso de recursos ou oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer.

Nesse contexto, um sistema é mais vulnerável, quanto maior a sensibilidade do meio às pressões, e menor sua capacidade adaptativa. Desenvolver capacidade adaptativa e efetivar mecanismos de adaptação implica aumentar a resiliência dos indivíduos vulneráveis, e tornar-lhes aptos a retornar ao seu status normal após a perturbação.

O termo capacidade adaptativa também é utilizado para denotar a resiliência de um ecossistema, ou sua capacidade de manter a estabilidade ecológica em relação a uma pressão sofrida (ADGER, 2006).

De acordo com Nelson, Adger e Brown (2007), a adaptação é um processo proativo ou reativo da sociedade quando exposta a fatores de estresse. A adaptação envolve mudança, sendo uma prática corrente dos indivíduos,

comunidades e sociedades se adaptarem para poder obter vantagem de novas oportunidades.

No entanto, a adaptação é muitas vezes imposta sobre as sociedades e as localidades devido a uma mudança externa indesejável. Esforços para responder a essas mudanças implicam frequentemente em reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de adaptação para aumentar a resiliência das pessoas e lugares.

Ao se provocar uma perturbação, a resposta do meio pode ser bastante diferente em função das características locais naturais e humanas, ou seja, cada local tem uma condição intrínseca que, em interação com o tipo e magnitude do evento induzido, resulta numa grandeza de efeitos adversos.

As relações entre características de um meio, eventos induzidos e efeitos adversos indicam a sua vulnerabilidade ambiental. Devem ser consideradas duas outras questões: a persistência, que é a medida do quanto um sistema, quando perturbado, se afasta do seu equilíbrio ou estabilidade sem mudar essencialmente seu estado, e a resiliência, que indica a capacidade de um sistema retornar a seu estado de equilíbrio, após sofrer um distúrbio. Em um território de baixa persistência e baixa resiliência provavelmente a vulnerabilidade é alta e, neste caso, quase sempre os danos irreparáveis (SANTOS; CALDEYRO, 2007).

2.2.2 Indicadores de vulnerabilidade

Os indicadores de vulnerabilidade visam estimar possível dano futuro; sendo apropriados para identificar as pessoas, regiões ou setores mais vulneráveis, em escalas locais às mudanças climáticas (HINKEL, 2011).

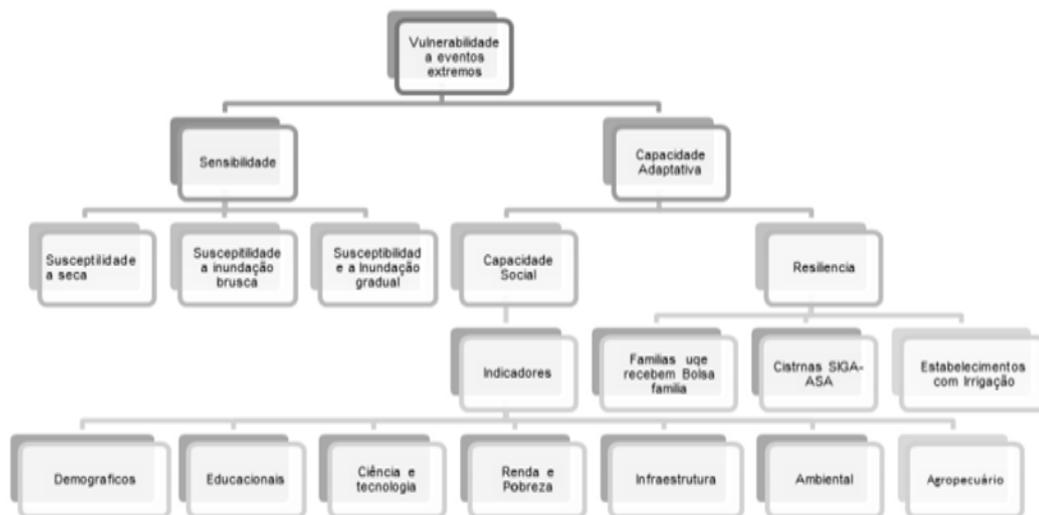
Há uma crescente demanda, por parte das instituições governamentais, de informações sobre a vulnerabilidade à mudança climática em escala local (PRESTON; YUEN; WESTAWAY, 2011).

Entretanto, a questão de medir a vulnerabilidade às alterações climáticas e capacidade de adaptação por meio de indicadores divide os setores político e acadêmico. Enquanto o setor político exige cada vez mais a criação de indicadores, o setor acadêmico discute a eficiência das políticas que poderiam ser

implementadas por meio de tais indicadores, assim como sua própria definição e metodologia de construção (HINKEL, 2011).

Silva, Lucio e Spyrides (2012) desenvolveram uma metodologia para construção de indicadores de vulnerabilidade a eventos climáticos para o Rio Grande do Norte, a partir de metodologia adaptada (KIENBERGER; LANG; ZEIL, 2009), levando em consideração os aspectos de sensibilidade, resiliência e de capacidade adaptativa (FIGURA 3).

Figura 3 – Metodologia de construção de um indicador de vulnerabilidade.



Fonte: Adaptado de Silva, Lucio e Spyrides (2012).

Feitosa *et al.* (2010) realizaram um estudo comparativo de vulnerabilidade à seca e desertificação em municípios da Paraíba e de Portugal, por meio de indicadores. Os resultados dos dois países indicaram uma alta vulnerabilidade global, resultado das fragilidades social, econômica, tecnológica e de adaptação.

Santos (2008a, 2008b) desenvolveu um indicador de vulnerabilidade para municípios do Semiárido, e projetou o impacto das mudanças climáticas sobre o mesmo.

Dentre os índices de quantificação da vulnerabilidade locais voltadas ao setor público, o Instituto de Pesquisas Econômicas (IPECE), do Estado do Ceará, publica, desde 2004, o Índice Municipal de Alerta (IMA), a ser utilizado como instrumento de política preventiva de enfrentamento às adversidades climáticas. As variáveis utilizadas no cálculo no índice incluem as taxas de produtividade agrícola,

perda de safra, indicadores sociais e ambientais, como índice de aridez, precipitação e taxas de escoamento (CEARÁ, 2013).

Outro índice desenvolvido no Ceará, que pode ser utilizado sob a óptica de vulnerabilidade, refere-se ao Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM), criado em 1997. Tal índice é composto por um conjunto de quatro grupos de indicadores: indicadores fisiográficos, fundiários e agrícolas, demográficos e econômicos; infraestrutura de apoio; e sociais (CEARÁ, 2010).

No estudo de vulnerabilidade à desertificação, Leite, Soares e Martins (1993), da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), desenvolveram o mapeamento de áreas susceptíveis aos processos de desertificação no Estado, segundo os critérios da ONU. Foram evidenciadas três grandes áreas degradadas e de alta vulnerabilidade: Inhamus, Médio Jaguaribe e Irauçuba.

O IPECE desenvolveu uma metodologia para cálculo do índice de vulnerabilidade a desertificação, utilizando indicadores naturais e antrópicos (CEARÁ, 2009).

Um método de avaliação da vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas do Semiárido às pressões de atividades agroindustriais foi desenvolvido a partir da construção do índice de vulnerabilidade (IVA), composto por um conjunto de 17 indicadores, organizados em três critérios: exposição do sistema a pressões, sensibilidade e capacidade adaptativa (FIGUEIRÊDO, 2008; FIGUEIRÊDO *et al.* 2010).

Jun *et al.* (2011) desenvolveram um índice para quantificar a vulnerabilidade dos recursos hídricos em cenários de mudanças climáticas. Foram utilizados os indicadores relacionados aos danos causados pelas inundações, secas, deterioração da qualidade da água e das mudanças climáticas, modelados pelo TOPSIS, um método multicritério para auxiliar a tomada de decisão⁶.

Confalonieri *et al.* (2013), objetivando subsidiar a tomada de decisão das políticas públicas, realizaram um estudo de vulnerabilidade regional para o Nordeste do Brasil, em função das mudanças climáticas. Foi construído um índice de vulnerabilidade a partir dos indicadores de projeções de população; cenários de migração induzida pelo clima; tendências de doenças e projeções para os custos dos cuidados de saúde; taxas de desertificação; e projeções econômicas.

⁶ O assunto será retomado no Capítulo 4.

3 VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO: PROPOSIÇÃO DE UM EQUILÍBRIO DE BAIXO NÍVEL

Neste capítulo contextualiza-se o processo de desertificação para o Semiárido brasileiro, a partir da discussão de suas vulnerabilidades, e apresenta-se o modelo de equilíbrio de baixo nível, ao qual estaria sujeito a Região, e que seria, segundo a hipótese desta tese, o responsável pelo aumento de sua vulnerabilidade à desertificação.

3.1 O equilíbrio de baixo nível

Nelson (1956), estudando a economia de áreas subdesenvolvidas, verificou que as mesmas sobrevivem numa condição definida como equilíbrio de baixo nível, onde não seria possível aumentar os níveis de renda, em função de aspectos culturais, econômicos e tecnológicos, ficando a mesma restrita à condição de subsistência da população, presa a uma “armadilha”.

No modelo de equilíbrio proposto pelo Autor, foram estudadas a renda, a formação de capital e as taxas de crescimento populacional. O modelo indicou que a partir da elevação de renda agregada, ocorreria o estímulo ao aumento populacional, e, portanto, não haveria o incremento sustentável de renda *per capita*, não sendo possível criar-se excedente para ser utilizado em investimentos. Estabelece-se o equilíbrio de baixo nível.

Spiller e Savedoff (1999), analisando a regulação do setor de abastecimento de água em alguns países da América Latina, observaram que os governos tendem a fixar os preços abaixo do nível financeiro sustentável, resultando na queda na qualidade dos serviços e um baixo índice de cobertura, gerando um círculo vicioso, que é caracterizado por um “equilíbrio de baixo nível”. Tal modelo de equilíbrio também foi estudado para o setor de saneamento no Brasil (FARIA; NOGUEIRA; MUELLER, 2005).

No presente enfoque, a proposição de equilíbrio de baixo nível está vinculada ao comprometimento da qualidade ambiental da Região, em função dos aspectos naturais e climáticos, tecnológicos, econômicos, sociais e da baixa

produtividade, que tendem a potencializar os processos de degradação ambiental, aumentando sua vulnerabilidade à desertificação.

A condição de equilíbrio de baixo nível para o Semiárido brasileiro será fundamentada a seguir, a partir da contextualização de suas vulnerabilidades locais.

3.2 Vulnerabilidade natural

As condições ambientais do Semiárido são caracterizadas pela baixa precipitação – média inferior a 800 mm, distribuição irregular de chuvas, solo predominantemente cristalino, alta taxa de evapotranspiração e elevada probabilidade de ocorrência de secas (BRASIL, 2004).

Os atributos que dão similitude às regiões semi-áridas são sempre de origem climática, hídrica e fitogeográfica: baixos níveis de umidade, escassez de chuvas anuais, irregularidade no ritmo das precipitações ao longo dos anos; prolongados períodos de carência hídrica; solos problemáticos, tanto do ponto de vista físico quanto do geoquímico (solos parcialmente salinos, solos carbonáticos) e ausência de rios perenes, sobretudo no que se refere às drenagens autóctones (AB'SÁBER, 1999; p. 7).

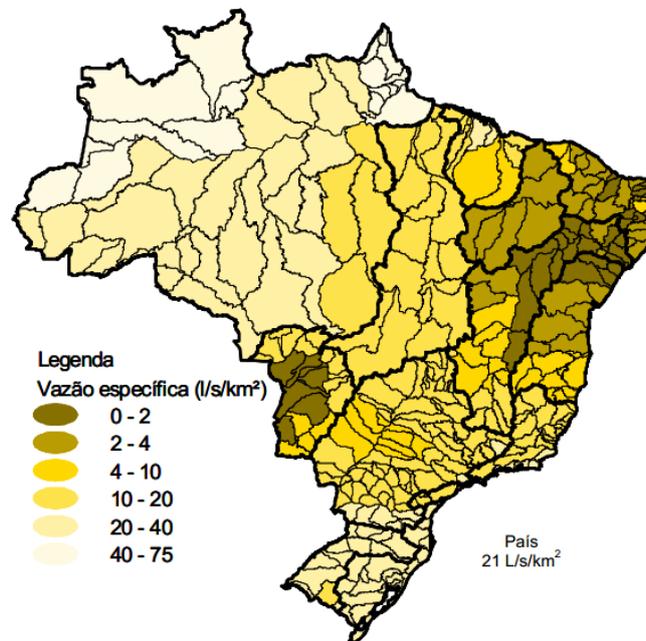
Vieira (2003) resumiu as características hidrológicas da região semiárida nos seguintes aspectos:

- a) Precipitação média anual inferior a 650 mm;
- b) Escoamento superficial de 4 litros/s/Km², enquanto o brasileiro é da ordem de 21 litros/s/Km²; o coeficiente de escoamento também é muito baixo, variando entre 0,06 e 0,26, com média de 0,12;
- c) Evapotranspiração potencial bastante elevada, entre 1400 e 2000 mm; podendo ultrapassar os 2000 mm em muitos lugares;
- d) Déficit de evaporação potencial pode atingir valores superiores a 1000 mm em algumas bacias;
- e) Grande número de rios intermitentes, com exceção do Parnaíba e São Francisco;

- f) Vazões naturais dos rios com elevado coeficiente de variação – próximo a 1,4;
- g) Predominância do cristalino em 70% da área, com aquíferos fissurais de potencial restrito – vazões médias no entorno de 4 m³/hora.

A Figura 4 mostra as vazões específicas para as unidades hidrográficas brasileiras. Observa-se que em grandes áreas da Região Nordeste, as bacias apresentam vazões abaixo de 2 litros/s/Km², estando quase toda região limitada pela vazão máxima de 10 litros/s/Km², enquanto a média nacional é de 21 litros/s/Km².

Figura 4 – Vazões específicas nas unidades hidrográficas de referência no Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2005).

Em relação às características pedológicas, prevalece no Nordeste, e em particular no Semiárido, o tipo de solo arenoso, de baixa fertilidade natural, pois são reduzidas suas disponibilidades de nutrientes básicos, como Nitrogênio, Fósforo e Potássio; no entanto, são encontradas áreas com solos melhores, propícios à agricultura (ALVARGONZALEZ, 1984).

De acordo com os estudos realizados na região semiárida, os solos predominantes são os Latossolos, Argissolos, Planossolos, Luvisolos e Neossolos.

Em menores proporções têm-se os Nitossolos, Chernossolos, Cambissolos, Vertissolos e Plintossolos (ARAÚJO FILHO, 1995).

O tipo de solo, aliado a variação de precipitação e aos aspectos climáticos, tende a influenciar no desenvolvimento de uma vegetação mais rala na região, denominada de caatinga, que, quando também sujeita às pressões antrópicas, tendem a expor os solos à degradação (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

A vegetação predominante na Região é a Caatinga, que representa um dos biomas brasileiros, composto de grande biodiversidade e que, significa, segundo o idioma tupi, a vegetação aberta, clara ou branca, cuja aparência típica, acinzentada, se verifica no período seco, que varia normalmente de 6 a 8 meses no ano (LEAL *et al.*, 2005).

Fitogeograficamente, a caatinga ocupa cerca de 11% do território nacional, abrangendo os Estados nordestinos da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, onde ocupa 70% da área, além de extensões no norte de Minas Gerais (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Segundo Duque (1973), a Caatinga é um conjunto de árvores e arbustos densos, baixos, retorcidos, com folhas pequenas e caducas, raízes desenvolvidas, grossas e penetrantes, que estocam suas reservas alimentícias em seu sistema radicular. Tais características garantem sua sobrevivência no clima seco, com ocorrência frequente de secas.

A densidade, frequência e dominância das espécies presentes no Bioma são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade. Já tinham sido catalogadas 596 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

A Caatinga, apesar de ser um bioma com forte restrição ao crescimento das espécies, com deficiência hídrica, apresenta uma diversidade florística alta. Em geral, tem menos de 50 espécies de arbustivas e arbóreas, assim como de espécies herbáceas por hectare; entretanto, nos locais mais úmidos, o número de espécies arbustivas e arbóreas pode chegar a 100 por hectare (GIULLIET *et al.*, 2004)

Araújo Filho e Crispim (2002) destacam a identificação de 12 tipos de caatingas, com dois modelos gerais sendo bem representados: a caatinga arbustiva-árborea, dominante nos sertões, e a caatinga arbórea, característica das vertentes e

pés-de-serras e dos aluviões. A produção de fitomassa da folhagem e ramos herbáceos da parte aérea da vegetação da caatinga perfaz cerca de 4,0 toneladas por hectare/ano, porém, com variações significativas em função da estação do ano, do ano, da localização e do tipo de caatinga.

Destacam-se algumas formações vegetais, em que a presença de plantas lenhosas é reduzida, e naturalmente ocorre a predominância de plantas herbáceas com disponibilidade de matéria seca girando em torno de 1.000 kg a 4.000 kg por hectare (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

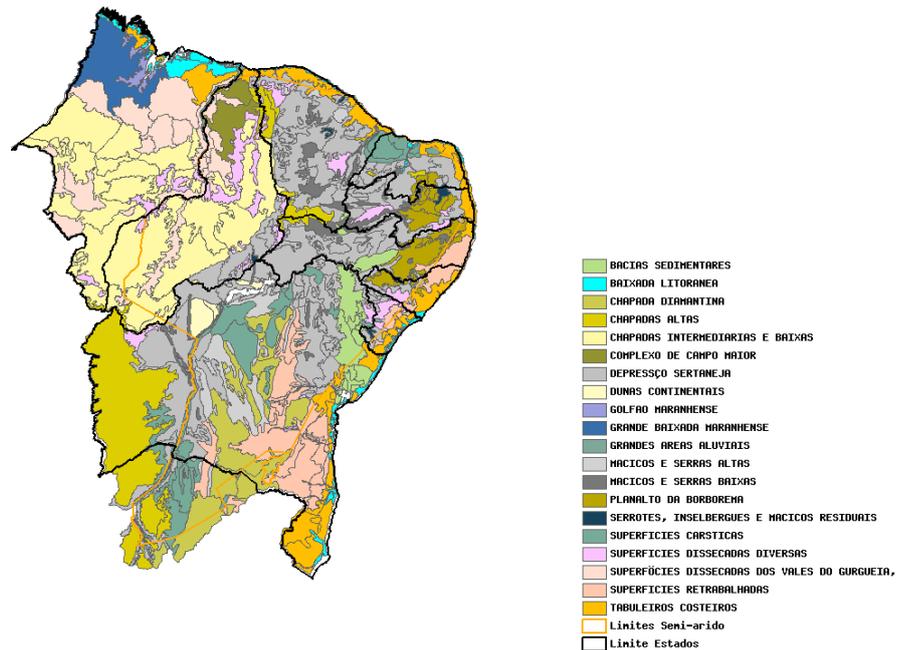
Conforme Ab´Saber (1990), na Região, a somatória dos vales fluviais e suas estreitas planícies não é superior a 2% da área total. E os rios intermitentes, que, na paisagem primária, possuíam estreitas florestas ciliares perenifólias ou subperenifólias, que se encontram eliminadas ou em estágio avançado de degradação.

A Figura 5 apresenta o zoneamento ambiental para a Região Nordeste. Observa-se o mosaico paisagístico que compõe a Região, com destaque para a Depressão Sertaneja, que corresponde a uma grande área do Semiárido, com predominância nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia.

Na Depressão Sertaneja, ocorrem grandes extensões de solos rasos pedregosos e comumente associados com afloramentos rochosos; solos com deficiência de drenagem e sais; solos erodidos ou com alto risco de erosão; áreas com relevo movimentado; áreas em processo de desertificação, entre outros (VELLOSO *et al.*, 2002)

Em função dos aspectos naturais, o Semiárido brasileiro, que corresponde a mais de 80% da Região Nordeste (FIGURA 5), apresenta um elevado déficit hídrico e uma elevada fragilidade natural, que torna o homem vulnerável, em múltiplos aspectos de vulnerabilidade, e compromete o equilíbrio ambiental na Região, tornando-a susceptível ao processo de desertificação.

Figura 5 – Unidades geoambientais presentes na Região Nordeste do Brasil, segundo zoneamento da EMBRAPA.



Fonte: INPE (2012)⁷.

3.3 Vulnerabilidade econômica e social

Apesar das características naturais adversas, o Semiárido abriga cerca de 22,6 milhões de habitantes em sua área 969.589,4 km², o que resulta em uma densidade demográfica média de 23 hab/km² (IBGE, 2010). Dentre as regiões semiáridas do Planeta, o Semiárido brasileiro é a mais densamente povoada, o que aumenta a pressão sobre os ecossistemas, e representa um dos principais fatores de vulnerabilidade diante dos efeitos das secas e de degradação ambiental.

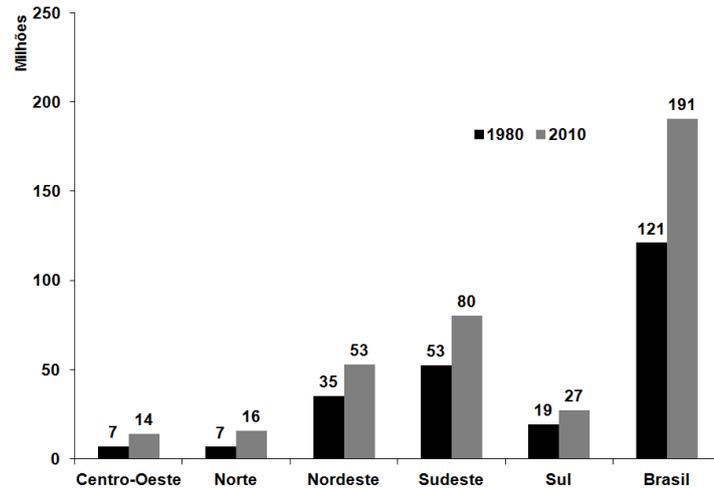
Os grupos humanos dos sertões secos aprenderam a conviver com o ambiente semi-árido, seus rios periódicos, seus solos de difícil manejo e sua estrutura agrária certamente muito arcaica e inflexível. Mas os homens dos sertões não podem resistir normalmente perante os anos de grande seca em que falta água para o gado e as plantações, ocorrendo desemprego rural, insegurança familiar e dramáticas migrações internas direcionadas para os grandes centros urbanos (AB´SABER, 1990; p. 149).

Aspectos históricos ligados à ocupação e ao povoamento da região também acentuaram sua vulnerabilidade, levando a busca constante de medidas adaptativas por parte da população (APÊNDICE C).

⁷Aplicativo disponível em: <http://www.nctn.crn2.inpe.br/terraviewweb/terraWeb/bin/terraWeb.html>.

Segundo o IBGE (2010), a população nordestina aumentou, entre 1980 e 2010, de 35,4 milhões para 53 milhões de habitantes (FIGURA 6), que representou um crescimento médio de quase 50%; e concentra-se principalmente na zona urbana (73,1%), enquanto que no início da década de 1950, era predominantemente rural (73,6%) (FIGURA 7).

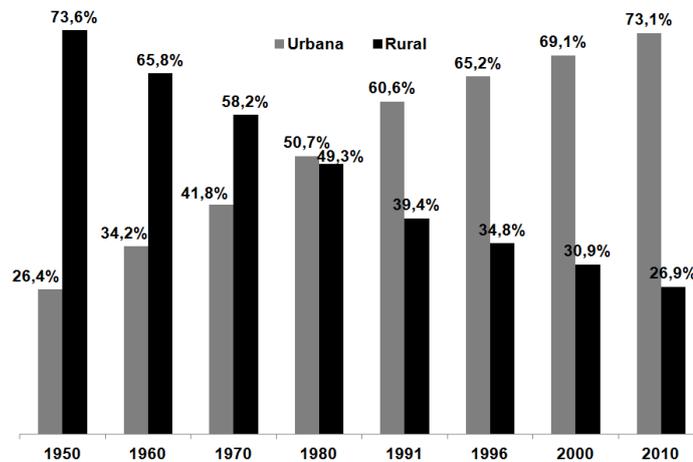
Figura 6 – População residente no Brasil e nas Regiões, nos anos de 1980 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

O aumento populacional, assim como a migração da população para o meio urbano, dinamizada pelas secas, não apenas para as cidades do Centro-Sul, mas também para as litorâneas e da “hinterlândia” semiárida (CARVALHO, 1985) da Região Nordeste, provocaram impactos significativos sobre a economia regional e nos níveis de degradação ambiental. Também influenciou no problema da escassez hídrica, no qual a demanda é bastante superior à oferta, inclusive na faixa litorânea da Região, onde se concentra a grande maioria das Capitais.

Figura 7 – Distribuição das populações urbana e rural na região Nordeste do Brasil, entre 1950 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

A escassez hídrica, que é enfrentada constantemente pela população urbana e rural, acaba comprometendo o abastecimento e o desenvolvimento de atividades econômicas, inclusive as agropecuárias, que empregam uma parcela significativa de insumos produtivos na Região e representam uma importante base na geração de renda (TABELA 1), embora diminuída pelas atuais transferências de renda – aposentadorias, pensões, aumento dos empregos nas prefeituras e as Bolsas, que passam a ter um papel de destaque na geração da renda regional.

A escassez hídrica, assim como o racionamento enfrentado periodicamente pelos municípios da Região Nordeste do Brasil, podem ser visualizados nas Figuras 8 e 9.

Segundo o Atlas de Saneamento 2011 (IBGE, 2011), aproximadamente 23% dos municípios brasileiros declararam conviver com o racionamento de água; em 41% de tais municípios, o racionamento é constante, independente da época do ano, com predominância dos municípios localizados na Região Nordeste (FIGURA 10).

Figura 8 – Municípios brasileiros com problema de seca e estiagem.



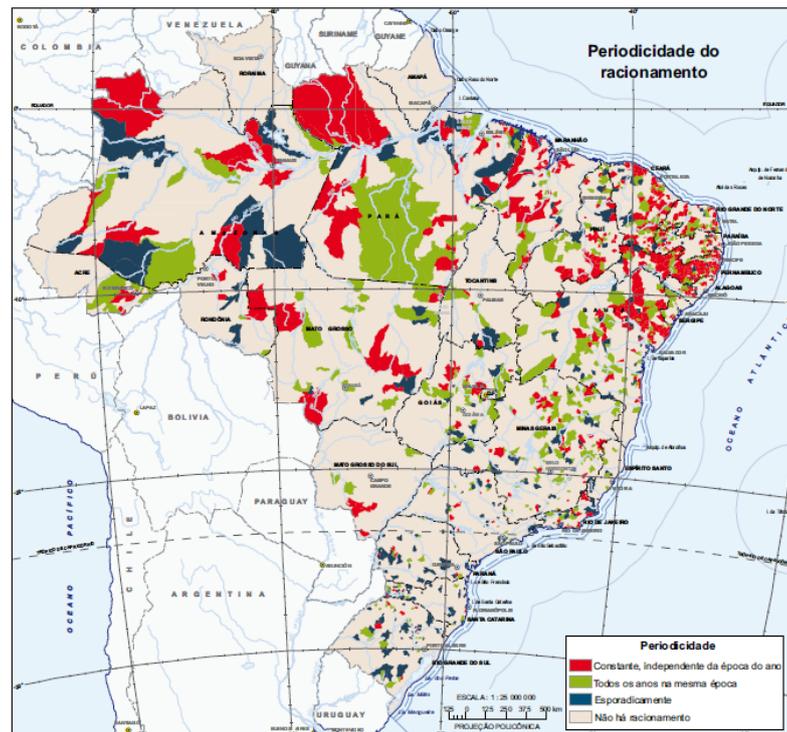
Fonte: IBGE (2011).

Figura 9 – Municípios brasileiros com insuficiência de água nos mananciais.



Fonte: IBGE (2011).

Figura 10 – Municípios brasileiros com insuficiência de água nos mananciais para abastecimento, no ano de 2008.

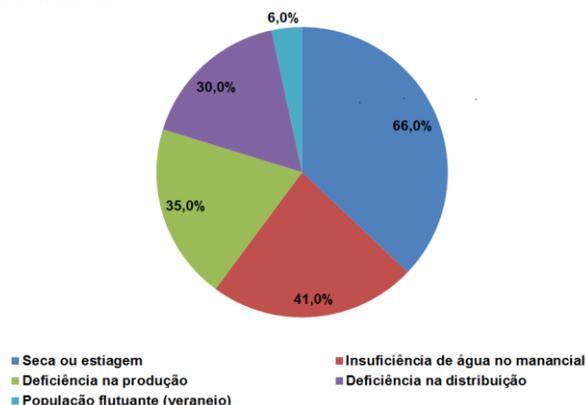


Fonte: IBGE (2011).

A seca ou estiagem compreende o principal motivo dos racionamentos de água no Brasil (FIGURA 11). Os quatro maiores motivos estão presentes em grande parte dos municípios do Nordeste.

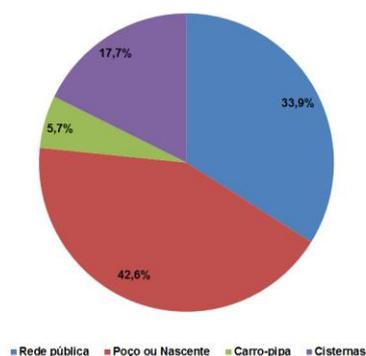
A Figura 12 mostra os principais tipos de abastecimento de água das famílias de baixa renda localizadas na zona rural do Semiárido nordestino.

Figura 11 – Motivos relacionados aos racionamentos de água nos municípios brasileiros.



Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Figura 12 – Tipo de abastecimento de água, das famílias rurais de baixa renda no Semiárido Nordeste.



Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

A Tabela 1 mostra ainda a distribuição percentual das pessoas, em sua principal atividade, no ano de 2010. A principal ocupação da mão de obra na Região Nordeste é no setor agrossilvopastoril e de aquicultura (24,2%), seguido pela Região Norte. Tais dados reforçam a dependência econômica de atividades de grande vulnerabilidade aos aspectos climáticos e antrópicos, influenciando diretamente na vulnerabilidade econômica e social, das quais a população é exposta.

Tabela 1 – Distribuição (%) das pessoas de 10 anos ou mais, ocupadas na semana de referência, por grandes Regiões do Brasil, segundo as seções de trabalho principal em 2010.

Seções de atividade principal	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	14,2	23,0	24,2	7,4	15,1	11,6
Indústrias de transformação	11,8	7,1	8,2	13,3	16,4	9,4
Construção	7,3	7,1	7,2	7,4	7,0	7,8
Comércio; reparação de veículos automotores e bicicletas	17,0	17,1	16,6	17,0	16,8	17,9
Administração pública, defesa e seguridade social	5,4	7,1	5,7	4,8	4,5	7,9
Educação	5,6	5,9	6,3	5,5	5,1	5,6
Serviços domésticos	6,9	6,4	6,7	7,5	5,6	7,7
Outros	25,6	20,0	20,4	30,0	24,2	25,1

Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

De acordo com a evolução do Índice de Gini, observa-se que a desigualdade vem caindo no Brasil (FIGURA 13). O Nordeste, que no início dos anos 90, apresentava o maior Índice e, portanto, a maior desigualdade no

comparativo regional, apresentou queda de aproximadamente 10% nas últimas duas décadas, o que pode ser atribuído à melhoria do desempenho econômico da Região, assim como do aumento da abrangência dos programas de transferências de renda.

Um dos indicadores que pode ser associado aos níveis de pobreza de uma região, refere-se ao Índice de Pobreza Hídrica (IPH) (ABRAHAM; FUSARI; SALOMÓN, 2006), pois a disponibilidade de água está intrinsecamente relacionada ao crescimento econômico, principalmente em regiões com reconhecida escassez, como no caso do Semiárido. Luna (2007) desenvolveu o IPH para o Semiárido, a partir dos indicadores de uma bacia hidrográfica do Estado do Ceará.

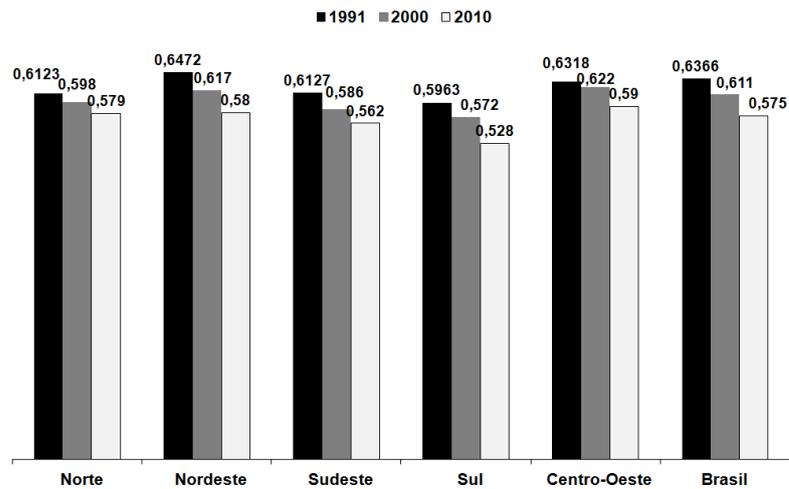
Lemos (2001) observou uma forte correlação entre os níveis de pobreza e de degradação ambiental nos municípios do Semiárido. O índice de Pobreza de cada município foi calculado a partir das variáveis relacionadas ao percentual da população municipal sem acesso à água encanada, sem serviço de saneamento e de coleta de lixo; e do percentual da população analfabeta. Dentre os Estados, o Ceará apresentou a maior área percentual afetada pelo fenômeno da desertificação; estima-se que 17% da área nordestina encontra-se em processo de desertificação, e 11% de sua população é afetada, direta ou indiretamente.

No comparativo regional, no ano 2000, o Nordeste apresentava as maiores taxas de analfabetismo dentre as pessoas de 10 anos ou mais de idade (FIGURA 14). Na última década, as taxas caíram em todas as Regiões Brasileiras. No entanto, a Região Nordeste ainda continua com os piores índices em 2010.

Em 1940, a taxa de fecundidade no Brasil era de 6,16 filhos por mulher (IBGE, 2012). No entanto, tal taxa vem caindo ao longo das últimas décadas em todas as regiões brasileiras (FIGURA 15). No Brasil, em 2000, a taxa de fecundidade era de 2,38 filhos por mulher, e passou a ser, em 2010, de 1,90. A maior queda ocorreu na Região Nordeste (23,4%); e a Região Norte continua com a maior taxa de fecundidade, de 2,47 filhos por mulher. Observa-se ainda que, com exceção da Região Norte, as demais estão abaixo do nível de reposição (2,1 filhos).

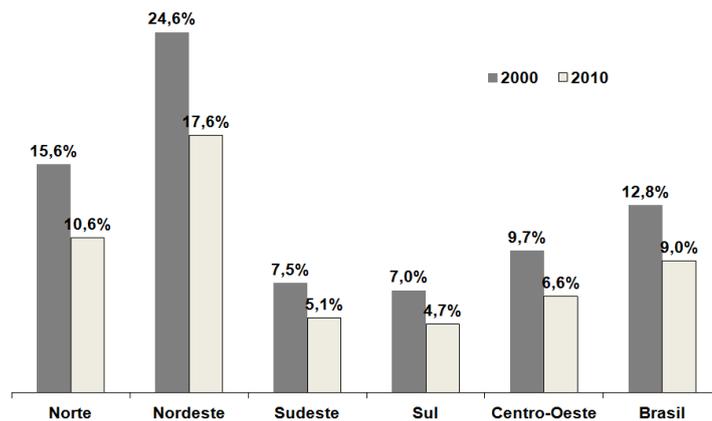
Já a taxa de mortalidade infantil caiu em todas as regiões brasileiras (FIGURA 16), destacando-se a Região Nordeste, que, em 2000, era de 44,7 mortes para cada mil nascimentos, e caiu para 18,5 ‰ em 2010, o que representa uma queda de 58,6 %.

Figura 13 – Índice de Gini no Brasil, e por Regiões, nos anos de 1991, 2000 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

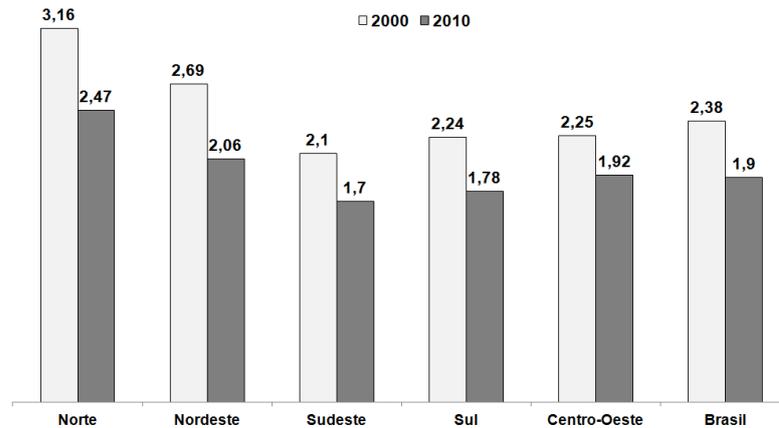
Figura 14 – Taxa de analfabetismo das pessoas acima de 10 anos nas Regiões brasileiras, nos anos de 2000 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

A taxa de ocupação (FIGURA 17) aumentou em todas as Regiões, sendo o crescimento médio brasileiro de 11,3%; no entanto, o Nordeste obteve o menor desempenho no comparativo entre os anos pesquisados (8,3%).

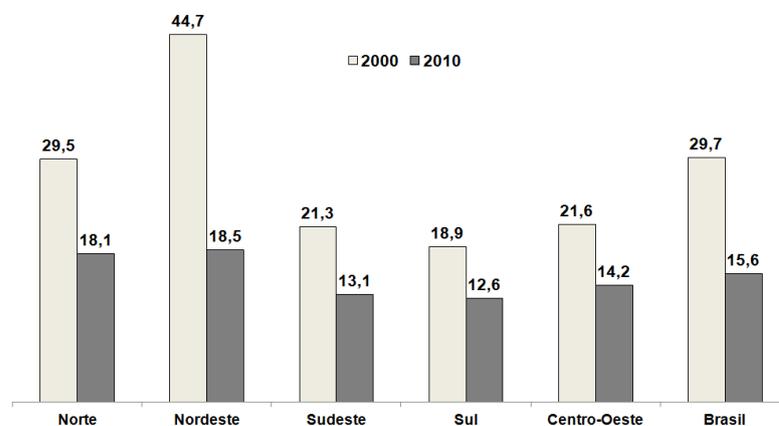
Figura 15 – Taxas de fecundidade, no Brasil e por Regiões, nos anos 2000 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

O aumento da renda média mensal no Nordeste foi o maior entre as demais Regiões (15,9%), entretanto, continua apresentando os piores indicadores entre as demais (FIGURA 18).

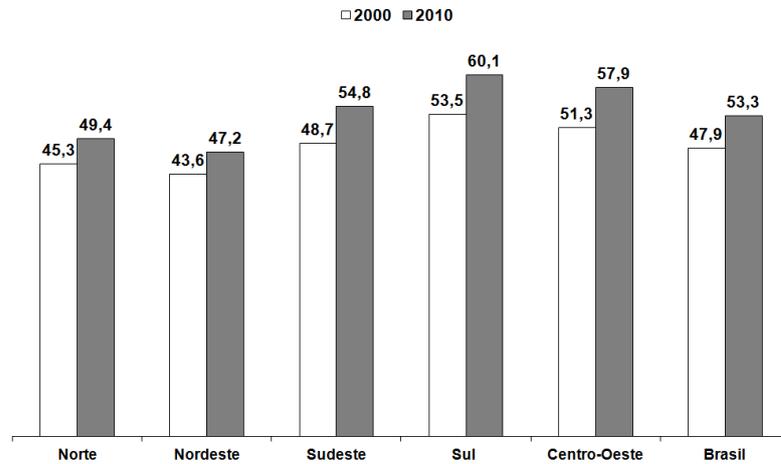
Figura 16 – Taxas de mortalidade infantil (%₀), no Brasil e por Regiões, nos anos 2000 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

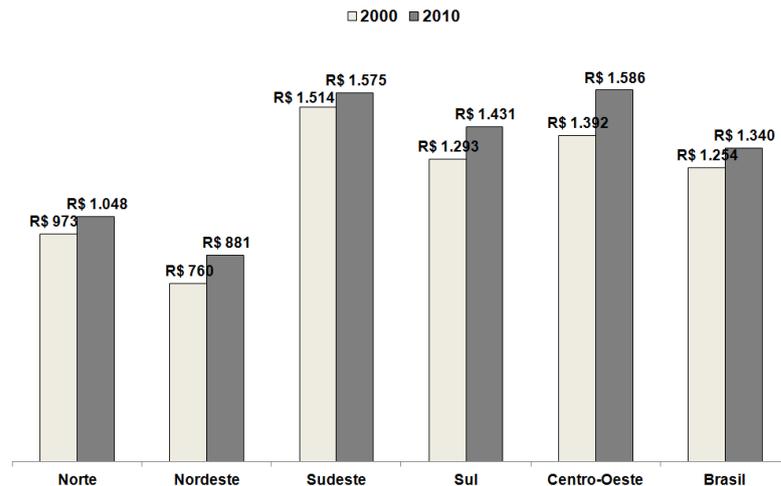
A Região Nordeste contribui com 13,5 % da composição do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2010 (FIGURA 19). Já os municípios do Semiárido nordestino representam apenas 3,9% do PIB brasileiro, e 29,0% do PIB da Região Nordeste (IBGE, 2012).

Figura 17 – Taxa de ocupação, na semana de referência, das pessoas acima de 10 anos, por Regiões Brasileiras.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

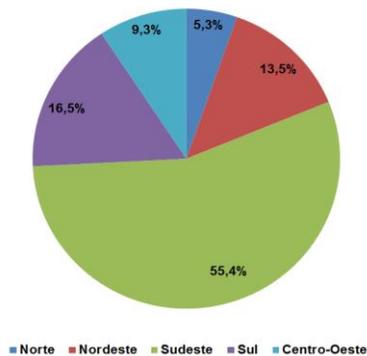
Figura 18 – Rendimento real médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade, com rendimento, por Grandes Regiões - 2000/2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

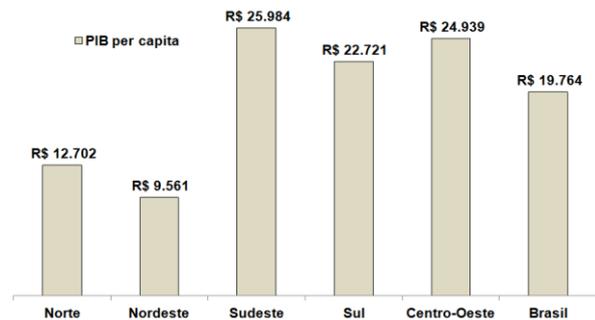
Enquanto o PIB *per capita* brasileiro em 2010 foi de R\$ 19.763,93, o do Nordeste foi de R\$ 9.561,00, e, portanto, o menor, no comparativo regional (FIGURA 20). Por sua vez, o PIB *per capita* dos 1.133 municípios que compõem o Semiárido nordestino, foi de R\$ 5.262,00 (IBGE 2012), que demonstra a grande diferença dos indicadores do Semiárido em relação ao restante do Brasil e mesmo em relação à Região Nordeste.

Figura 19 – Participação, por Região, na composição do PIB brasileiro em 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 20 – PIB *per capita* do Brasil, e por Regiões, no ano de 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Apesar da melhoria dos indicadores socioeconômicos, o Nordeste, e em particular o Semiárido, não conseguiu deixar de ser uma região com baixos indicadores, mesmo com o aumento do número de municípios, e, conseqüentemente, do funcionalismo municipal, do aumento das concessões das aposentadorias rurais e dos investimentos, além das transferências de renda emergenciais na ocorrência das grandes secas (ARAÚJO; LIMA, 2010; GOMES, 2001).

Somente para o ano de 2012, o total disponibilizado para financiamento de empreendedores urbanos e rurais atingidos pela estiagem, a partir do Programa Emergencial para a Seca do Fundo Constitucional de Desenvolvimento do Nordeste (FNE SECA) foi a R\$ 1,5 bilhão (BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 2013).

O FNE, previsto na Constituição Federal de 1988, objetivando transferir 1,8% de recursos da arrecadação federal para financiamento de atividades produtivas na região de abrangência da SUDENE, priorizando o Semiárido (BRASIL, 1988; BRASIL 1989), se refere a uma política pública voltada não apenas para a transferência de renda ou medida emergencial.

Segundo o IBGE (2012), o setor agrícola corresponde cerca de 11% do valor do PIB adicionado do Nordeste Semiárido, tornando-o muito vulnerável às questões climáticas, agravando-se nos períodos das grandes secas. Já o setor de serviços representa mais de 60% do valor do PIB adicionado, incluindo-se os empregos gerados pela administração pública, principalmente nas prefeituras municipais.

Dentre os programas de transferência de renda estão o Bolsa Família, que beneficia, mais de 1,4 milhões de famílias⁸. O valor máximo do benefício é de R\$ 306,00 por família⁹. Tal acréscimo da renda tende a garantir um mínimo para subsistência, retirando famílias da condição de extrema pobreza.

É marcante ainda a transferência de renda a partir da concessão de aposentadorias, representando mais de 8% do valor brasileiro em 2007. Ressalta-se que, no Brasil, 19% das aposentadorias são rurais, sendo que o Semiárido representa 64% do total dessas aposentadorias, concedidas principalmente a trabalhadores informais, que não contribuíram com a Previdência Social (ARAÚJO; LIMA, 2010).

As transferências de renda para o Semiárido acentuaram-se a partir da década de 1980, com a criação de municípios. Observa-se, entretanto, que os municípios não são capazes de aumentar suas receitas fiscais ao longo dos anos, dependendo ainda das transferências intergovernamentais (ARAÚJO; LIMA, 2010).

O aumento das transferências para a região foi seguido de um forte aumento no emprego público, sugerindo que as prefeituras usaram o aumento das transferências para a criação de novos empregos, muitas vezes utilizados para fins eleitorais. Isto é, grande parte das transferências passou a ser utilizada para pagamento dos salários das prefeituras.

Portanto, observa-se que no Semiárido brasileiro, as transferências de renda geram um incremento momentâneo na renda *per capita*, e reduzem a vulnerabilidade da população, inclusive às secas.

Entretanto, mesmo com as transferências de renda, não se verifica o aumento efetivo dos investimentos na Região, inclusive aos relacionados à recuperação da qualidade ambiental de ecossistemas degradados em função da exploração econômica, cujas pressões antrópicas se acentuam em períodos de estiagem.

Tais investimentos em capacidade produtiva, infraestrutura e recuperação ambiental poderiam refletir-se na melhoria dos indicadores econômicos e sociais, tornando a região menos vulnerável, inclusive à desertificação.

⁸ Tabela disponível em http://bolsafamilia.datasus.gov.br/w3c/consol_regiao_cobertura_bfa.asp?gru=5&vigencia=26&vigatual=S&uf=TD®ional=00®iaoasaude=00&cob=1&brsm=5. Acesso em 28/01/2014.

⁹ Tabela disponível em <http://www.mds.gov.br/falemds/perguntas-frequentes/bolsa-familia/beneficios/beneficiario/beneficio-valor>. Acesso em: 28 jan. 2014.

3.4 Contribuição das atividades econômicas para o aumento da vulnerabilidade à desertificação no Semiárido

De modo geral, as principais atividades econômicas desenvolvidas em terras secas, em escala mundial, referem-se à pecuária, que ocupava no início da década de 1990, segundo estimativas, 88% das áreas produtivas, das quais 75% estavam em processo de degradação; agricultura de sequeiro com 9% das áreas ocupadas, onde 50% enfrentavam processos de degradação; e irrigação, que ocupava 3% das áreas, das quais 25% estavam também em processo de desertificação (DREGNE; CHOU, 1992).

Entretanto, segundo Huss (1993), não se pode culpar a pecuária como a principal atividade econômica responsável pela desertificação, pois representa uma importante geradora de renda, alimentos e empregos, e que sendo realizada de forma sustentável, há grande possibilidade de recuperação das pastagens.

As atividades econômicas provocam impactos, diretos ou indiretos, no meio ambiente. Dependendo dos atributos – magnitude, abrangência, duração, dentre outros, e das características dos ecossistemas afetados, tais atividades tendem a provocar a degradação ambiental (WESTMAN, 1985). A degradação ambiental pode atingir o estágio de desertificação, dependendo da tipologia climática da região afetada.

Observa-se a complexidade das relações existentes entre atividades econômicas e a degradação ambiental provocada pelas mesmas. Uma atividade pode induzir a processos diretos e indiretos de degradação; como exemplo, na atividade agrícola, o desmatamento é uma ação antrópica sobre o meio, podendo aumentar a vulnerabilidade à erosão e diminuição da biodiversidade, que contribuem para o processo de desertificação (ARAÚJO E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, 2008).

Já a construção civil, outra atividade econômica, ao utilizar-se de insumos da indústria cerâmica, outra atividade econômica, que por sua vez, induz também a ações antrópicas sobre o meio, incluindo o desmatamento para retirada de lenha utilizada pela indústria, irá também, como a agricultura, potencializar efeitos erosivos no solo e de diminuição da biodiversidade, sendo, portanto, uma interação indireta.

Logo, torna-se complexo mapear tais interações das ações antrópicas induzidas pelas atividades econômicas e suas contribuições individuais nos processos de desertificação.

Os principais impactos relacionados às atividades econômicas, que contribuem para a desertificação, estão relacionados à degradação da cobertura vegetal, às erosões hídrica e eólica, o alagamento e a salinização. Outros processos indutores da desertificação incluem a compactação do solo e o acúmulo de substâncias tóxicas, como metais pesados e pesticidas persistentes (DREGNE; CHOU, 1992).

Relaciona-se como a principal causa da desertificação na região semiárida, o desmatamento para a venda de lenha às olarias e panificadoras, e para formação de pastagens (SOUSA; FERNANDES; BARBOSA, 2008).

Seguindo as tendências econômicas das terras secas, no Semiárido brasileiro destacam-se as atividades agropecuárias: a agricultura de sequeiro, assim como a pecuária das espécies bovina, ovino e caprino (HUSS, 1993).

Nas décadas passadas, notadamente com a política de implantação de pólos (ALVARGONZALÉZ, 1984), observou-se a implantação de sistemas irrigados em algumas áreas, tais como os distritos de irrigação em Petrolina (PE) e Apodi (RN/CE), assim como a exploração vegetal da Caatinga para fornecimento de insumos madeireiros para uso residencial ou industrial (DRUMONT, 2000).

Há ainda na Região a exploração mineral para fornecimento de insumos à construção civil e demais indústrias existentes não só no Nordeste, a exemplo do Polo Gesso de Araripina, em Pernambuco, responsável por, aproximadamente, 95% do gesso produzido no Brasil (ARAÚJO, 2004; CUNHA *et al.* 2008).

Observa-se que os impactos ambientais das atividades humanas, relacionados à exploração dos recursos naturais da região semiárida para a produção de alimentos, assim como para o fornecimento de insumos às atividades econômicas podem potencializar os mecanismos de degradação ambiental, convergindo para um possível quadro de desertificação futura, influenciada pelas mudanças climáticas, que tendem a aumentar a vulnerabilidade dos ecossistemas¹⁰.

Conforme Matallo Júnior. (2001), processos de exploração de recursos naturais e das tecnologias dos povos primitivos pelos colonizadores tiveram

¹⁰Impactos ambientais relacionados às principais atividades econômicas no Semiárido são discutidos no Apêndice A.

significativos impactos ambientais e reflexos econômicos; o uso direto dos recursos naturais, bem como a transferência de patrimônio genético para a Europa e sua posterior readaptação aos climas semiáridos das colônias trouxeram profundas modificações nas economias das terras secas, a começar pela inadequação com o saber indígena tradicional, e culminou com sérios problemas de adaptação climática, o que acentuou a degradação ambiental.

No Semiárido, a produtividade de uma área destinada à agropecuária tende a variar ao longo dos anos, principalmente em função da variabilidade climática, sendo difícil identificar as modificações permanentes de produtividade decorrentes de mudanças temporais naturais, das quedas provocadas pela degradação das condições ambientais causadas por fatores antrópicos.

É importante definir a produtividade por unidade de área cultivada como a medida da eficiência de uso e sua manutenção no tempo como a medida da sustentabilidade (ARAÚJO E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B; SAMPAIO, 2008).

A produtividade pode ser definida como a razão entre o resultado de saída do sistema de produção (*output*), sejam produtos ou serviços, em relação aos recursos que foram utilizados pelo sistema nos seus processos produtivos (*input*), (EQUAÇÃO 1) (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2003).

$$Produtividade = \frac{output}{input} \quad (1)$$

Os recursos de entrada podem ser vistos isoladamente, nesse caso, analisando-se a produtividade parcial em relação a um ou mais recursos, como por exemplo, capital e mão de obra; ou em termos de produtividade total do sistema, na qual todas as entradas são analisadas conjuntamente para a geração dos resultados da saída.

A produtividade é um importante indicador para o sistema de produção, pois determina com qual eficiência houve a alocação e transformação dos recursos de entrada em produtos e/ou serviços.

Dentre os fatores determinantes da produtividade estão evidenciados (MARTINS; LAUGENI, 2009):

- a) Relação capital trabalho, referente ao nível de investimento nos recursos de produção, assim como o grau de obsolescência das máquinas e equipamentos utilizados no sistema;
- b) Escassez de insumos, incluindo os recursos naturais;
- c) Graus de inovação e tecnologia, relacionados também a capacidade de adaptação e melhorias do sistema;
- d) Restrições legais que são impostas, incluindo as ambientais;
- e) Fatores humanos e gerenciais, relacionados às competências e habilidades técnicas e gerenciais, assim como aspectos culturais, educacionais e motivacionais das pessoas envolvidas nos processos de produção.

Realizando-se uma abordagem sobre os índices de produtividade para as atividades econômicas desenvolvidas no Semiárido brasileiro, notadamente as agropecuárias, verifica-se que as estratégias para o aumento da produtividade apresentam pouca eficiência em função do baixo nível tecnológico empregado nos sistemas produtivos, que não conseguem evoluir e incorporar novos elementos, tornando-se obsoletos e ineficientes.

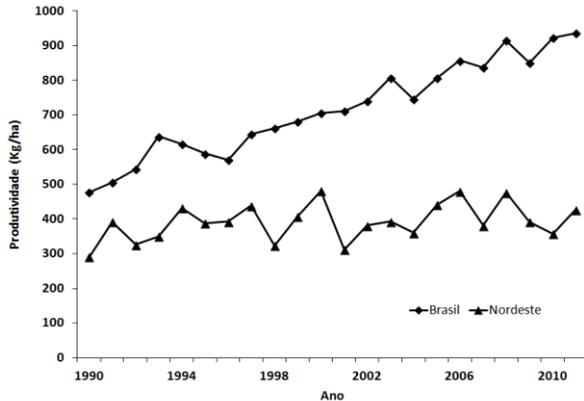
Adicionam-se os baixos indicadores econômicos, educacionais e sociais da população, assim como da restrita disponibilidade de recursos naturais, que contribuem efetivamente para a estagnação dos sistemas produtivos, e do decréscimo dos níveis de produtividades dos mesmos.

O fator climático influencia diretamente a maioria das atividades humanas, em especial a agropecuária, definindo o nível de sua produtividade, dependente, dentre outros fatores, pela quantidade de água disponível.

Comparando-se a evolução da produtividade – quilogramas por hectare colhido, das lavouras de feijão e milho, no Brasil e na Região Nordeste, ao longo das duas últimas décadas (FIGURA 21, 22), observa-se o crescimento no Brasil, enquanto a mesma permaneceu estável no Nordeste.

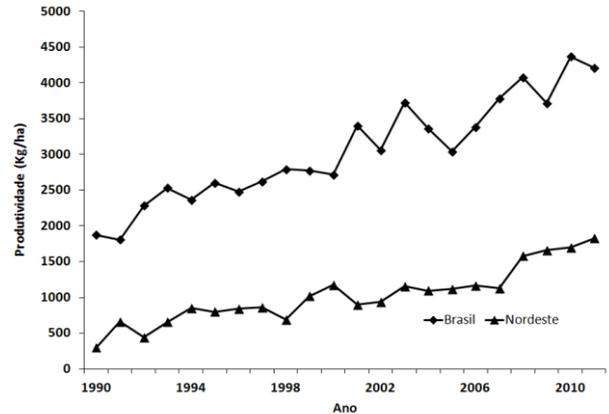
No caso do feijão, cultivado principalmente em regime de sequeiro, é possível observar uma queda na produtividade convergindo com a ocorrência de secas, a exemplo dos anos de 1993, 1998 e 2011. No caso do milho, atribui-se a elevação da produtividade no Nordeste ao aumento do cultivo irrigado, o que diminuiu a vulnerabilidade ao clima.

Figura 21 – Produtividade (Kg/hectare colhido) da cultura de feijão, no Brasil e Nordeste, no período de 1990 a 2011



Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

Figura 22 - Produtividade (Kg/hectare colhido) da cultura de milho, no Brasil e Nordeste, no período de 1990 a 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

As variações, positivas ou negativas, de produtividade são frequentes dentro da variabilidade natural das áreas de clima seco, não sendo definidas as escalas de tempo para as reduções, de forma que se possa afirmar que tais reduções são decorrentes das secas, ou do fenômeno da degradação dos solos (ARAÚJO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B; SAMPAIO, 2008).

Para se promover melhoria da produtividade em um determinado sistema, podem-se adotar as seguintes estratégias (MARTINS; LAUGENI, 2009):

- a) Produzir mais *output* usando o mesmo nível de *inputs*;
- b) Produzir a mesma quantidade de *output* usando menor nível de *inputs*;
- c) Produzir mais *output* usando menor nível de *inputs*.

A saída encontrada para compensar a perda da produtividade no Semiárido estaria na maximização da exploração dos recursos naturais (*input*), como forma de aumentar o resultado de saída do sistema (*output*), incluindo a expansão das terras e abandono dos solos já esgotados, sem destinação de recursos para melhoria das condições ambientais das terras em processos de degradação, como forma de recuperá-las e torná-las novamente aptas à exploração agrícola.

Além do esgotamento dos solos, observa-se intensa vulnerabilidade climática, com a ocorrência frequente de secas, contribuindo para o abandono de tais atividades e migração da população para outros setores econômicos; além de fatores culturais.

Segundo dados do IBGE (2012), o total das terras em uso nos estabelecimentos agropecuários no Brasil, em 1996, era de 70,6%; em 2006, o total em uso caiu para 67,5%, representando uma queda de 4,3%. Destaca-se a Região Nordeste, cuja utilização de 70,9% em 1996 caiu para 61,0%, após dez anos, representando um decréscimo de 13,9%. As variações dos percentuais de utilização das áreas das propriedades agropecuárias no Brasil, e por Região (FIGURA 23).

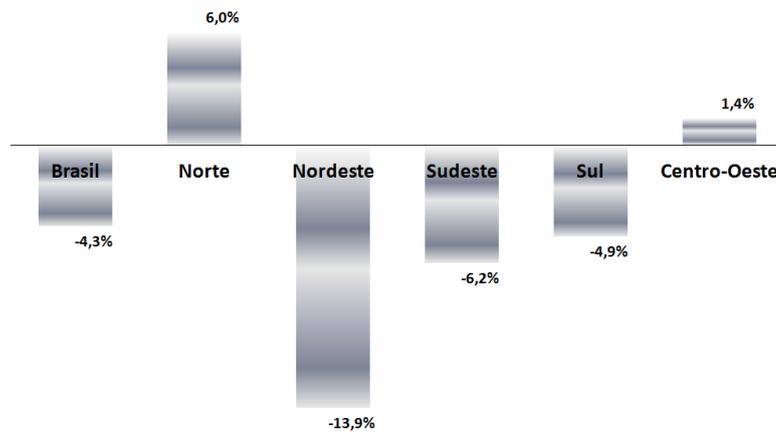
No comparativo entre os Estados da Região Nordeste (FIGURA 24), observa-se uma queda expressiva do percentual de utilização das terras das propriedades agropecuárias na maioria dos Estados.

Portanto, observa-se que, no objetivo de aumentar-se a produtividade das atividades econômicas no Semiárido, notadamente as agrícolas, recorre-se à maximização de exploração dos recursos naturais (*input*), e não à melhoria da eficiência do emprego dos demais insumos, inclusive tecnológicos.

Desse modo, a super exploração e a questão climática podem contribuir para o esgotamento dos recursos e conseqüente abandono dos mesmos (FIGURA 23, 24), em função da degradação ambiental, resultando no aumento da vulnerabilidade à desertificação em função do modelo de exploração econômica utilizado.

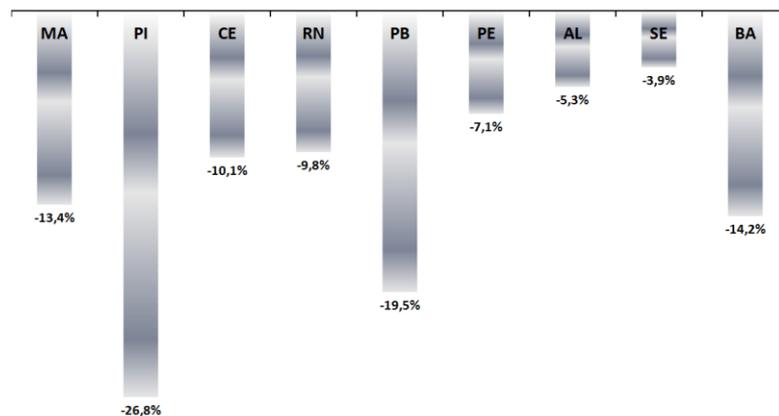
Outra causa pode estar relacionada à migração da população para demais atividades econômicas, notadamente para o setor de serviços, inclusive nas prefeituras municipais, assim como à concessão de aposentadorias e demais transferências de renda.

Figura 23 – Variação (%) do total de terras em uso nos empreendimentos agropecuários entre 1996 e 2006, no Brasil e por Região.



Fonte: Adaptado do IBGE (2012).

Figura 24 - Variação (%) do total de terras em uso nos empreendimentos agropecuários entre 1996 e 2006, por Estado da Região Nordeste do Brasil.



Fonte: Adaptado do IBGE (2012).

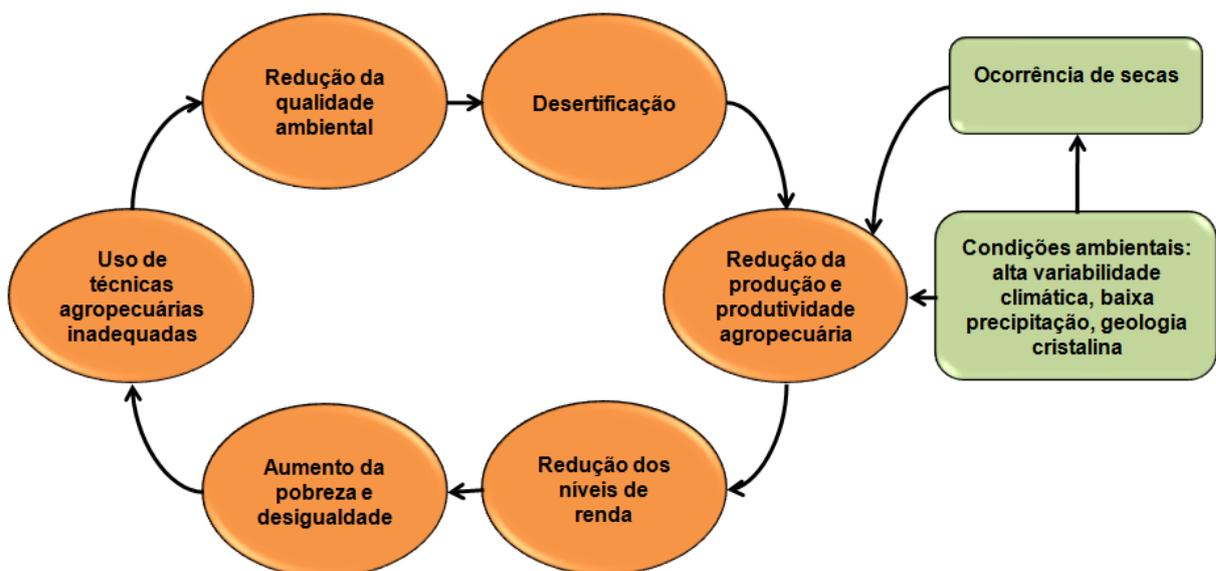
O crescimento das áreas de pastagens nos pequenos estabelecimentos ocorre, conforme já observava Carvalho (1985), em função dos donos buscarem na pecuária, uma forma de viabilizarem o aumento de seus reduzidos excedentes e, se possível, de o elevarem, desde que as condições climáticas sejam favoráveis. O grande aumento das áreas de pastagens representou uma substituição da agricultura pela pecuária, em função do esgotamento da fertilidade natural do solo (PRADO JUNIOR, 1988).

3.5 O modelo de equilíbrio de baixo nível

Observa-se, ao longo dos últimos anos no Semiárido brasileiro, uma elevação dos níveis de renda e a queda das taxas de fertilidade (FIGURA 15); logo, o equilíbrio de baixo nível proposto por Nelson (1956) não se aplicaria à realidade atual.

Avaliando-se a desertificação como um processo influenciado pelas condições ambientais e pelas pressões antrópicas exercidas no meio, é possível sistematizar as relações existentes, e chegar-se ao desenvolvimento de um fluxograma (FIGURA 25), que busca ilustrar o processo e suas relações com níveis de pobreza e de qualidade ambiental, estabelecendo-se uma condição para configurar um equilíbrio de baixo nível.

Figura 25 – Modelo de equilíbrio de baixo nível para o Semiárido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A desertificação seria um processo cíclico, fechado, um círculo vicioso (SOUZA FILHO, 2011) onde as condições ambientais naturais adversas, que propiciam a ocorrência das secas, impactam consideravelmente para a redução da produção e da produtividade agropecuária. Segundo o Ministério da Agricultura (2012), a estimativa de perda de safra no Nordeste entre 2011 e 2012, foi de 9%, enquanto que no Estado de Pernambuco a perda foi de 78,3%, e no Ceará foi de

85,9%, comprovando a maior vulnerabilidade às secas nos Estados onde o cultivo é, predominantemente, de sequeiro.

Com a queda dos níveis de produção e produtividade agropecuária, que representa a atividade de maior relevância na Região (TABELA 1), há a diminuição da geração de renda, tanto da população envolvida diretamente na atividade, como das demais pessoas da região, integrantes de outras cadeias de produção.

Os produtores, que sempre utilizaram técnicas agrícolas consideradas impróprias ao manejo dos ecossistemas frágeis, como o uso de queimadas e supressão vegetal sem planos de manejo, passam a intensificar a pressão sobre os mesmos, no objetivo de sobreviver diante da realidade.

Dessa forma, tendem a explorar o meio de forma ainda intensa, como compensação à perda de produção e produtividade, através de medidas adaptativas, incluindo caça predatória; introdução de espécies animais rústicas ao meio; coleta de lenha para venda; exploração de espécies vegetais da caatinga; barramento dos cursos d'água, dentre outras soluções de combate à vulnerabilidade econômica.

O extrativismo vegetal e mineral, assim como o superpastoreio das pastagens nativas ou cultivadas e o uso agrícola por culturas, que expõem os solos aos agentes da erosão configuram como as principais causas de origem antrópica relacionadas à desertificação (ACCIOLY, 2000).

O resultado da exploração pode ser percebido a partir da redução da qualidade ambiental, pela diminuição da fertilidade do solo, a níveis cada vez mais baixos e da redução da cobertura vegetal, tornando a área degradada e passível à desertificação.

A desertificação, por sua vez, tende a contribuir para a diminuição da produção e da produtividade, formando um fenômeno cíclico, onde um efeito torna-se causa do próximo efeito, e assim, sucessivamente, configurando-se um equilíbrio, no caso de baixo nível.

Com o processo de desertificação há a redução da capacidade produtiva dos solos, estagnando-se a atividade econômica, que se baseia principalmente na agropecuária. A queda da produtividade irá repercutir nos níveis de pobreza do Semiárido, que historicamente apresentam um baixo desempenho. Segundo Lemos (2001), a relação entre pobreza e degradação ambiental se mostra mais acentuada e evidente em ecossistemas mais fragilizados, e tendo como consequência do

processo de degradação, o empobrecimento de segmentos significativos da população.

Para tentar reduzir os níveis de pobreza e desigualdade, recorre-se às políticas de transferência de renda, notadamente, o bolsa família, aposentadorias rurais e transferências aos municípios.

Desse modo, amparados pela esfera governamental, muitas vezes de caráter eleitoreiro, a população ficaria em um estado de inércia, sem atividade produtiva, criando-se um estado de dependência, que influencia também na queda dos níveis de produção e produtividade econômica, contribuindo para a “economia sem produção” (GOMES, 2001), para definir uma transferência de renda, na qual são pagos benefícios sem exigência de qualquer contrapartida contemporânea de prestação de serviços produtivos.

Apesar de que, não se pode deixar de perceber o impacto da distribuição de renda de programas sociais, como bolsa família, nas pequenas cidades do Semiárido, inclusive no comércio local (TIBÚRCIO; MIRANDA, 2012), contribuindo para reduzir a vulnerabilidade aos eventos de secas.

Pode ser observado que, para o Semiárido, normalmente não se realizam investimentos para melhoria e/ou conservação da qualidade ambiental. Os níveis de pobreza continuam altos, repercutindo diretamente em aspectos sociais e ambientais, onde as variáveis tendem a não se ajustar na condição ótima, mas na condição de subsistência, que tende a se agravar ao longo dos anos, com o aumento das áreas em processo de desertificação e aumento da vulnerabilidade da população.

3.5.1 Aplicação do modelo

Objetivando abranger a análise das relações entre fatores climáticos, ambientais e socioeconômicos no Semiárido brasileiro, e de que forma os mesmos interferem na vulnerabilidade à desertificação, convergindo para o modelo de equilíbrio de baixo nível apresentado anteriormente, são estudados indicadores do Estado do Ceará.

3.5.1.1 Área de estudo

A escolha do Ceará dá-se em função do Estado possuir 85,0% da área estadual inserida no Semiárido (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005) e de diversos estudos e indicadores disponíveis para a consulta, através do IPECE e da FUNCEME.

O Produto Interno Bruto (PIB) estadual representa cerca de 2,07% do PIB nacional. A população, segundo o Censo de 2010 (IBGE, 2012) é de 8.448.055 de habitantes, o que totaliza cerca de 4,4% da população brasileira, com 75,1 % do total residindo em áreas urbanas.

O Ceará apresenta clima Semiárido com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Essa complexidade torna a região vulnerável às condições de tempo e clima, que são associadas a significativos impactos sociais e econômicos em diversos setores, conforme descritos em, por exemplo, Souza Filho e Moura (2006). Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas, a identificação das alterações do clima e a análise dos impactos produzidos na agricultura e recursos hídricos.

Apesar de apresentar grande susceptibilidade aos fenômenos climáticos, o Estado teve sua dinâmica econômica baseada nas atividades agropecuárias tradicionais, destacando-se a criação de gado, a cultura do algodão e de lavouras agrícolas de subsistência, como o milho e feijão em regime de sequeiro, todas dependentes das condições climáticas favoráveis, e, portanto, muito comprometidas pelas secas, que se refletem até hoje nos indicadores econômicos e sociais.

Lemos e Botelho (2009) estudaram o efeito da precipitação sobre a produção agrícola cearense a partir do estudo das culturas de arroz, feijão, mandioca e milho no período de 1947 a 2008. Os resultados confirmaram a instabilidade das precipitações e sua forte influência da produção de alimentos, em função dos baixos padrões tecnológicos utilizados na agricultura do Estado.

Campos (1982) propôs um critério de seca agrícola para o Estado do Ceará, através do cálculo do balanço hídrico do solo, onde foi possível estimar a quantidade de água retida no solo necessário ao desenvolvimento das lavouras temporárias de sequeiro. Tal indicado poderia contribuir para a redução da vulnerabilidade agrícola.

O IPECE realizou um estudo sobre a influência da precipitação na economia cearense, inclusive na produção de algumas culturas agrícolas. Observou-se que na produção de grãos, incluindo as culturas de subsistência, houve uma relação direta entre a precipitação e produção. Mas aparentemente tem havido uma suave melhoria nessa dependência ao longo dos anos, visto que as quedas da produção em anos de seca vêm sendo um pouco menores. Além disso, foi constatada uma influência da precipitação sobre o PIB do Estado (CEARÁ, 2009).

Alves *et al.* (1998) analisaram o impacto dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* sobre das culturas de milho e feijão no Ceará. Os resultados mostraram que nos anos de ocorrência do *El Niño*, tanto a produtividade como a produção de milho e feijão apresentaram índices entre 30% a 50% abaixo da média. Já os anos de *La Niña* são os mais favoráveis à agricultura de subsistência, com um aumento médio na produção agrícola, em torno de 15% a 20% acima da média.

Foi elaborado, no âmbito do Programa Brasileiro de Combate à Desertificação (PAN BRASIL, 2004), o Programa Estadual de Combate à Desertificação (PAE CEARÁ, 2010), a partir da cooperação dentre instituições locais, incluindo-se a Secretaria de Recursos Hídricos e a FUNCEME, assim como organismos de cooperação internacionais, como o IICA. O PAE congrega os estudos relacionados ao tema, tanto de caráter antrópico como climático, realizando um amplo diagnóstico, assim como traça a política estadual de combate ao fenômeno, incluindo estratégias, metas e atores envolvidos.

Foi realizado um zoneamento de susceptibilidade à desertificação entre os municípios cearenses (CEARÁ, 2012). Dentre os municípios de alta vulnerabilidade ao fenômeno, foram delimitados três núcleos de desertificação – Núcleos I, II e III, a fim de se conduzir estudos, pesquisas e direcionamento de políticas públicas de combate e mitigação dos efeitos da desertificação em tais áreas prioritárias, a exemplo dos núcleos de desertificação reconhecidos em nível federal.

Os processos de secas e de desertificação nos municípios cearenses incorrem em prejuízos que se refletem na economia local e em nível estadual, o que pode ser constatando com mais propriedade em setores econômicos que dependem prioritariamente das condições ambientais, destacando-se o setor agropecuário, de forte representatividade na maioria dos municípios, a exemplo das lavouras de milho e feijão, que estão presentes em todos os 184 municípios do Estado.

3.5.1.2 Metodologia

Objetivando avaliar o modelo de equilíbrio de baixo nível no Ceará, optou-se por realizar uma análise comparativa entre municípios inseridos nos três núcleos de desertificação, isto é de alta susceptibilidade, ou vulnerabilidade, e municípios com baixa vulnerabilidade a tal fenômeno (CEARÁ, 2012).

Foram selecionados os 13 municípios inseridos nos núcleos, isto é, os de alta vulnerabilidade, e 13 municípios de baixa vulnerabilidade à desertificação, que são identificados. Procurou-se selecionar municípios semelhantes, em termos de população e PIB, de modo a evitar distorções na análise.

Na presente metodologia, os 13 municípios de alta vulnerabilidade à desertificação são identificados pelo termo “Alta vuln.” e os outros 13 municípios, de baixa susceptibilidade a desertificação, são identificados como “Baixa vuln.” (QUADRO 2) e (FIGURA 26).

A fim de se realizar tal análise comparativa, foram levantados dados relativos à precipitação média junto à FUNCEME, e as séries históricas da produção de feijão e milho do IBGE, declaradas nos Censos Agrícolas Municipais, entre os anos de 1990 a 2011, constantes da base de dados agregados do IBGE¹¹.

A escolha das lavouras de feijão e milho é função da presença das mesmas em todos os municípios do Estado. Os dados utilizados da série do IBGE foram produção, área plantada e área colhida.

Foi calculada a produtividade das culturas utilizando-se a produção anual em relação à área colhida para os municípios dos municípios analisados.

A fim de estimar-se a perda de área de plantio, foi calculada a razão entre a área colhida e área plantada para a série histórica dos municípios analisados.

Foi calculada a variação do PIB em valores reais¹², obtidos junto ao IBGE (2012), para os anos de 1999 e 2009, comparando-se os dois grupos de municípios.

Foram utilizados ainda no estudo os Índices de Desenvolvimento Municipal (IDM) (Ceará, 2010) e o Índice Municipal de Alerta (IMA) (Ceará, 2013) dos 26 municípios selecionados.

¹¹ Dados disponíveis na Base de dados agregados do IBGE, no link: www.ibge.gov.br/sidra.

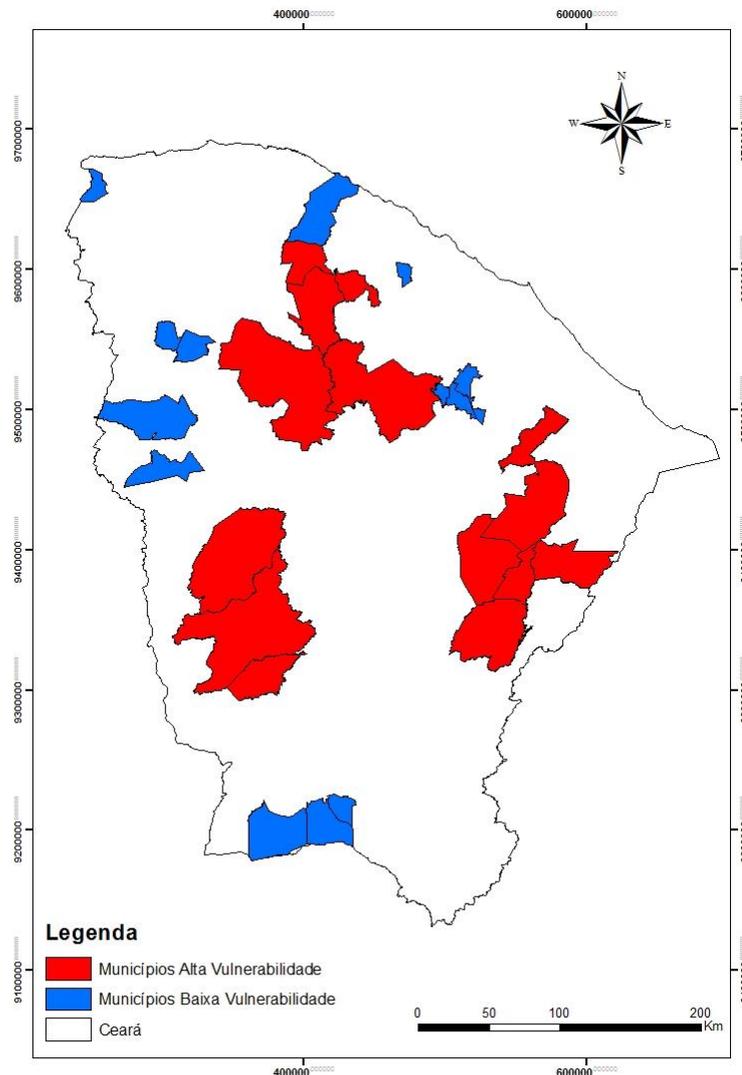
¹² A conversão de preços correntes para preços reais foi realizada utilizando-se o IGPM-DI acumulado no período.

Quadro 2 – Municípios cearenses selecionados para o estudo comparativo.

Municípios com baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.)	Municípios com alta vulnerabilidade a desertificação (Alta vuln.)
Amontada, Araripe, Aratuba, Baturité, Capistrano, Chaval, Graça, Ipaporanga, Ipueiras, Nova Olinda, Reriutaba, Santana do Cariri e São Luís do Curu.	Alto Santo, Arneiroz, Canindé, Independência, Irauçuba, Itapagé, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Miraima, Morada Nova, Santa Quitéria e Tauá.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 26 – Municípios selecionados para o estudo comparativo quanto à vulnerabilidade à desertificação no Ceará.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

3.5.1.3 Análise dos dados

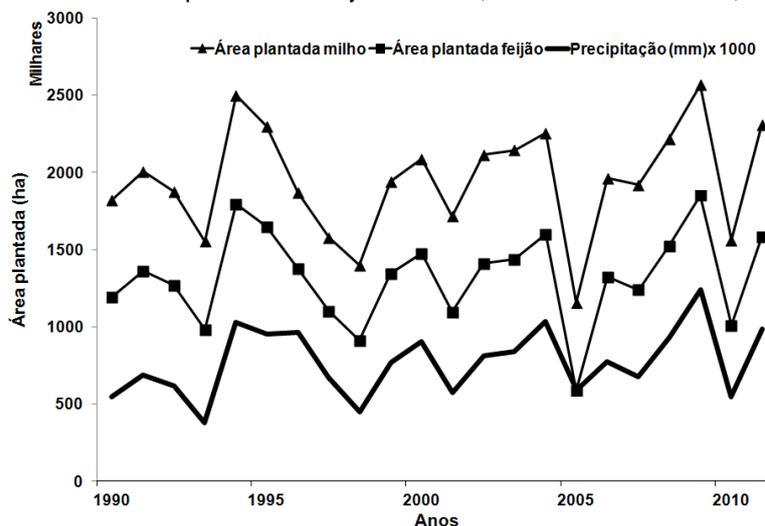
Segundo os Censos Agrícolas Municipais do IBGE (2013), da produção agrícola da Região Nordeste, de 818 mil toneladas de feijão e 915 mil toneladas de milho em 2011, o Ceará foi responsável por 32% e 18%, respectivamente.

A Figura 27 mostra a evolução das áreas destinadas ao plantio de feijão e milho no Estado do Ceará entre os anos de 1990 e 2011. Observa-se um comportamento similar entre as áreas destinadas ao plantio e as taxas médias de precipitação anual, evidenciando o regime de agricultura de sequeiro. No caso do feijão, a correlação positiva é de 0,25, e do milho, de 0,56.

Considerando-se a área total do Estado, de 148,8 mil Km², o total de área destinada ao plantio de feijão e milho, cerca de 1,3 milhões de hectares em 2011, representa cerca de 9% da superfície estadual, e permanece inalterada desde 1990, embora sujeita a variações sazonais (FIGURA 27).

A precipitação, medida pela FUNCEME entre os anos de 1990 e 2011 no Ceará, apresenta uma média anual de 761,3 mm de chuva, com pico máximo de 1242 mm em 2009, e mínimo de 376 mm em 1993 (FIGURA 27).

Figura 27 – Área destinada aos plantios de feijão e milho, no Estado do Ceará, entre 1990 e 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

As lavouras de milho e feijão encontram-se presentes em todos os 184 municípios do Estado, destacando-se em 2011, como os maiores produtores de feijão, os municípios de Canindé (2,25%), Crateús (2,60%), Pedra Branca (2,24%),

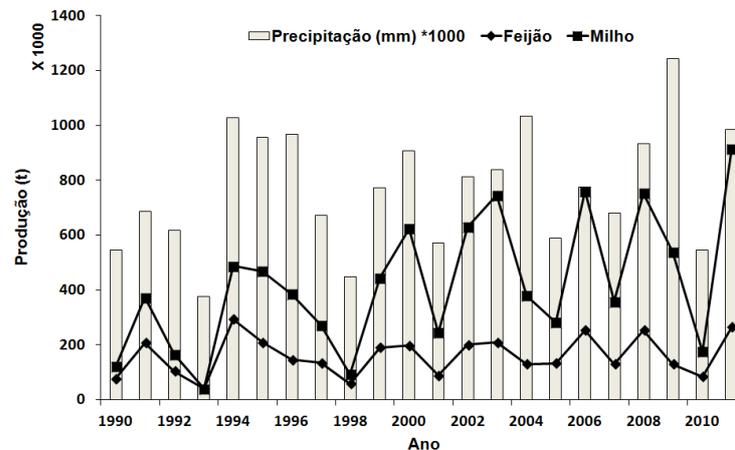
Santa Quitéria (2,47%) e Tauá (2,15%). Para o milho, destacam-se Boa Viagem (2,42%), Brejo Santo (3,49%), Crateús (3,89%), Independência (2,08%) e Mauriti (5,08%), Novo Oriente (3,70%) da produção estadual.

A Figura 28 mostra a evolução da produção de feijão e milho, no período de 1990 a 2011 para o Estado, assim como a precipitação média do período. Observa-se uma relação positiva entre produção e precipitação, em função da produção agrícola de feijão e milho no Estado ser realizada prioritariamente em regime de sequeiro. A precipitação e a produção de feijão apresentam correlação de 0,62; e a correlação da precipitação com o milho foi de 0,70, podendo-se atribuir o maior valor em relação ao milho, em função de ser uma cultura de ciclo mais longo e, portanto, mais dependente da quantidade de chuvas.

O feijão tem um ciclo que varia entre 90 e 120 dias, e sua necessidade hídrica varia entre 300 e 500 mm. Já o milho apresenta um ciclo cultural entre 200 e 300 dias e entre 500 e 800 mm de água (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

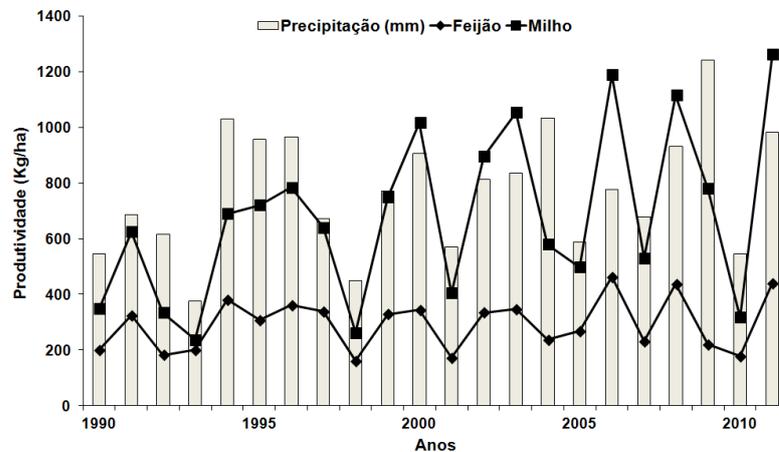
Observa-se que no Ceará (FIGURA 29), assim como no Nordeste (FIGURA 21, 22), a produtividade média não apresentou crescimento, mas um comportamento sazonal, relacionado diretamente à precipitação média, em função da utilização do regime de sequeiro. A correlação foi de 0,50 para o feijão, e 0,66 para o milho.

Figura 28 – Produção, em toneladas, de feijão e milho, e precipitação (mmx1000) no Ceará entre 1990 e 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

Figura 29 – Produtividade, em quilogramas por hectare colhido, de feijão e milho, e precipitação (mmx1000) no Ceará entre 1990 e 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

O comportamento das culturas no Ceará pode também ser atribuído ao baixo nível de técnicas agrícolas utilizados, assim como pelo aumento da degradação do solo, que tende a contribuir na redução da produção e da produtividade, naturalmente menor em relação à brasileira, em função dos limitantes naturais da região semiárida.

Dos 26 municípios levantados no estudo comparativo, divididos em dois grupos: alta vulnerabilidade (Alta vuln.) e baixa vulnerabilidade (baixa vuln.) à desertificação, os dados de produção agrícola mostram que, em 2011, os mesmos foram responsáveis por consideráveis percentuais de produção estadual de feijão e milho (TABELA 2). Observa-se que a participação dos municípios de alta vuln. é mais expressiva nos quantitativos estaduais.

Tabela 2 – Participação (%) na produção de feijão e milho, no Estado do Ceará, no ano de 2011, nos 13 Municípios de baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.) e nos 13 Municípios de alta vulnerabilidade à desertificação (Alta vuln.).

Cultura	Baixa vuln. (%)	Alta vuln. (%)	Total (%)
Feijão	4,6	15,9	20,5
Milho	7,4	10,5	17,9
Ceará	100,0	100,0	100,0

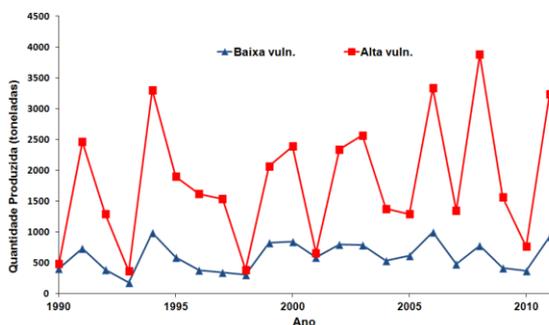
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Observa-se que a quantidade produzida nos municípios de alta vulnerabilidade é maior ao longo do período analisado (FIGURA 30, 31), assim como indicam uma maior queda nos anos de menor precipitação.

Os resultados de produtividade média do feijão e milho mostram uma maior variação de produtividade no grupo de alta vulnerabilidade (FIGURA 32, 33), possivelmente em função da maior vulnerabilidade climática em tais municípios.

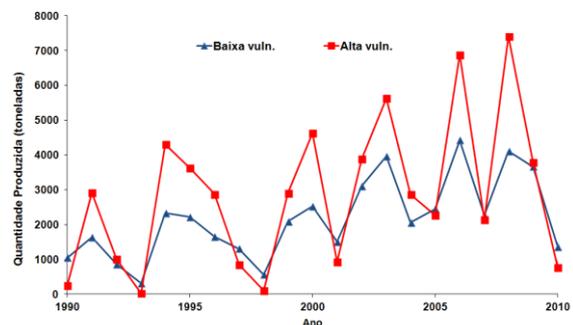
As variações de área colhida em relação à área plantada para feijão e milho ao longo dos anos estudados, evidenciaram as perdas (FIGURA 34, 35). Observa-se que para as duas culturas, há uma maior queda de área de colheita para os municípios de Alta vuln.. Os resultados ainda mostram que, a partir dos anos 2000, há uma tendência de redução da diferença entre área colhida e plantada nos dois grupos analisados, mesmo com a ocorrência de queda de precipitação similar aos anos anteriores.

Figura 30 – Quantidade produzida (Toneladas) de feijão em municípios Baixa vuln. e em municípios Alta vuln. à desertificação.



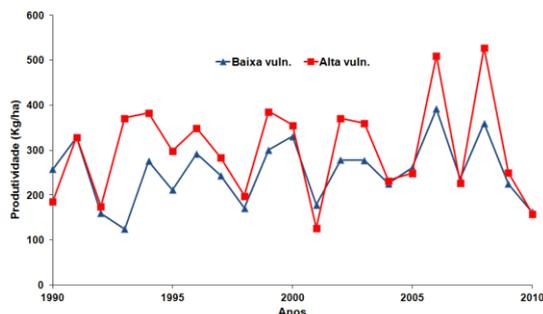
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 31 – Quantidade produzida (Toneladas) de milho em municípios Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.



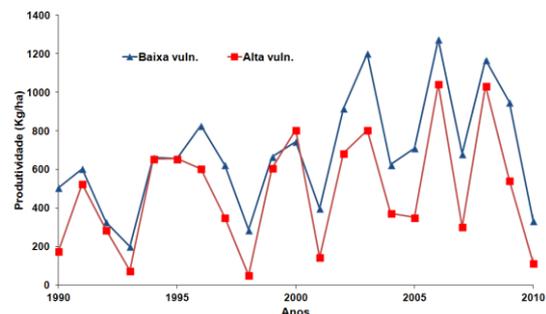
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 32 – Produtividade (Kg/área colhida) para o feijão nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.



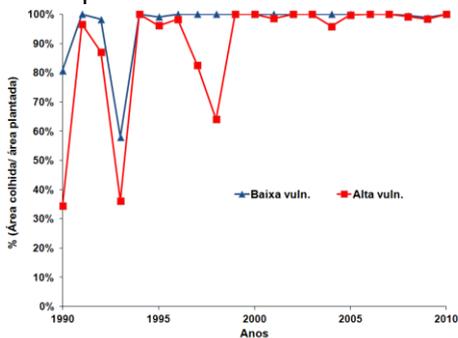
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 33 – Produtividade (Kg/área colhida) para o milho nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.



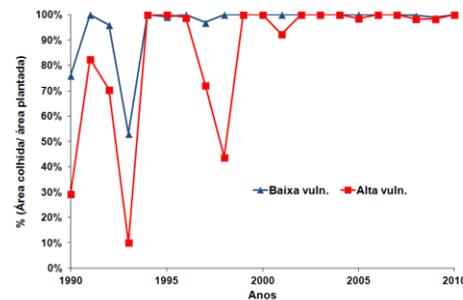
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 34 – Perda (área colhida/plantada) para o feijão nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 35 – Perda (área colhida/plantada) para o milho nos municípios com Baixa vuln. e em municípios com Alta vuln. à desertificação.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Em cenários de mudanças climáticas e de aumento da degradação dos solos, prevê-se que a vulnerabilidade agrícola tende a aumentar, provocando a maior diminuição da produção, com efeitos no aumento de preço, assim como na geração de renda, e, conseqüentemente, nos níveis de pobreza, como descrito na proposição de existência do equilíbrio de baixo nível.

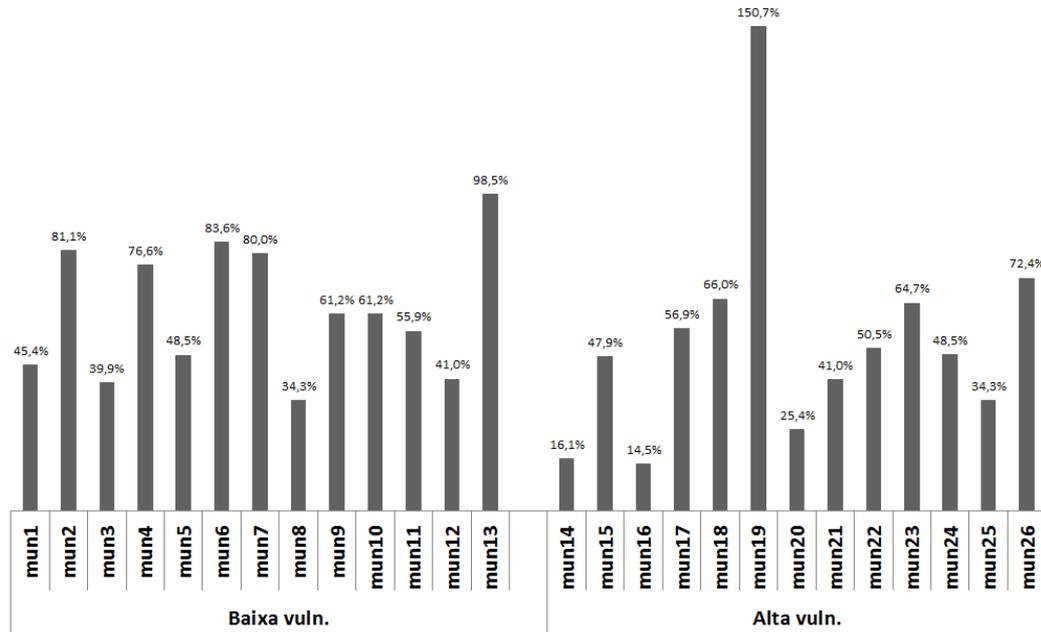
A situação tende a agravar os indicadores de pobreza, principalmente nos municípios com maior vulnerabilidade, que são, justamente, os maiores produtores, em função da exaustão dos solos, provocada pelas técnicas de manejo empregadas, assim como os efeitos das secas, potencializados a degradação e, conseqüentemente, da desertificação. A condição tende a fortalecer um equilíbrio de baixo nível no Semiárido.

Portanto, verifica-se que, devido às condições climáticas naturais, potencializadas pela ocorrência das secas, diminui-se a produção e a produtividade agrícola, principalmente nas áreas de maior vulnerabilidade à desertificação, conforme descrito no modelo de equilíbrio de baixo nível (FIGURA 25).

Os 26 municípios selecionados no estudo comparativo representam uma participação na média no PIB cearense de aproximadamente 4,6% em 2010 (IBGE, 2013); em 2000, a participação era de 4,9%.

Analisando a variação do PIB dos municípios estudados, nos anos de 2000 e 2012 (FIGURA 36), os resultados mostraram que os municípios com baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.) tiveram um crescimento médio do PIB de 62,1%; enquanto a média de variação do PIB nos municípios de Alta vulnerabilidade foi de 53,0%.

Figura 36 – Variação do PIB real nos municípios com baixa vulnerabilidade à desertificação (Baixa vuln.) e nos municípios com alta vulnerabilidade à desertificação (Alta vuln.), entre 2000 e 2010.

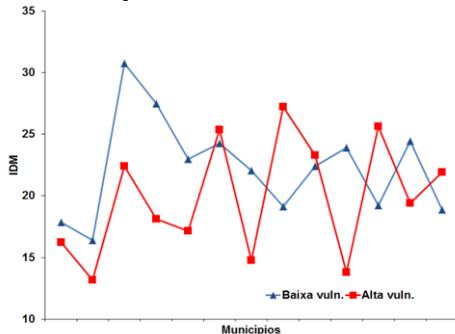


Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) é maior para os municípios de baixa vulnerabilidade à desertificação (FIGURA 37). Verifica-se comportamento similar para o Índice Municipal de Alerta (IMA) (FIGURA 38).

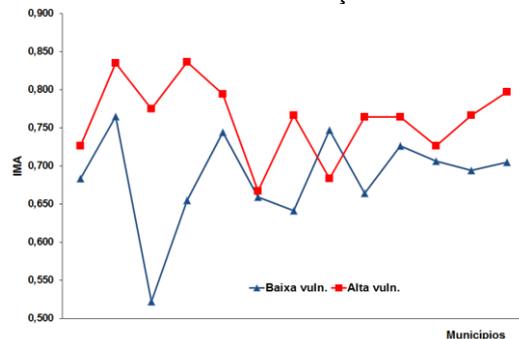
A Figura 39 mostra que os IMA médios, ao longo do período de 2004 a 2010, são maiores entre os municípios de alta vulnerabilidade à desertificação.

Figura 37 – Comportamento do Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação.



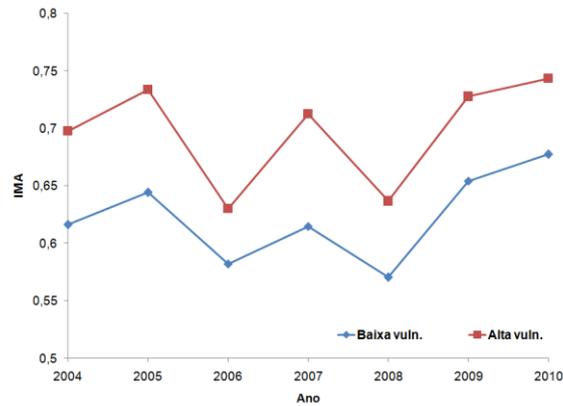
Fonte: Adaptado de CEARÁ (2010).

Figura 38 – Comportamento do Índice Municipal de Alerta (IMA) para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação.



Fonte: Adaptado de CEARÁ (2012).

Figura 39 – Índice Municipal de Alerta (IMA) médio para municípios de baixa e alta vulnerabilidade à desertificação entre 2004 e 2010.



Fonte: Adaptado de CEARÁ (2010).

Tais constatações tendem a reforçar a concepção de uma condição de equilíbrio de baixo nível para o Semiárido, a partir da observação de que as piores condições ambientais e climáticas convergem para a diminuição dos índices de desenvolvimento e aumento dos índices de vulnerabilidade, ampliando-se os quadros de degradação. Muito embora, pelas médias dos desvios calculados, todos os municípios do grupo estudado, independente da sua vulnerabilidade à desertificação (CEARÁ, 2010) estariam incluídos no cenário proposto no equilíbrio de baixo nível.

4 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: BASE CONCEITUAL

Neste capítulo realiza-se uma revisão da literatura sobre o Apoio Multicritério à Decisão (AMD) e de avaliação de impactos ambientais. Tal fundamentação teórica faz-se necessária, pois, a partir da mesma, estará baseada a construção da metodologia de avaliação multicritério a ser apresentada posteriormente, para utilizar na avaliação de vulnerabilidade à desertificação no Semiárido, que foi representada no modelo de equilíbrio de baixo nível.

4.1 A tomada de decisão na área ambiental

O tratamento de questões ambientais, incluindo a elaboração de estudos, projetos, políticas, dentre outros objetivos, envolve, frequentemente, a tomada de decisão.

Em tais questões, a tomada de decisão pode se configurar em um processo complexo e aparentemente sem solução, principalmente em função dos *trade-offs* entre os critérios econômicos, sociais, legais, políticos, ambientais e ecológicos, e dos diferentes pontos de vista dos envolvidos no processo (KIKER *et al.*, 2005; NIJKAMP, 1989).

Até os anos 60 do século XX, os impactos de políticas, programas e projetos eram, basicamente, analisados sob o enfoque técnico, e os métodos de análise e tomada de decisão eram baseados nos critérios de custo-benefício, que traduzem cada aspecto em um valor monetário, sendo, portanto, uma avaliação econômica e/ou financeira.

O aumento da conscientização ecológica, ocorrida principalmente a partir do final da década de 60, resultou em pressões sociais que culminaram com a adoção de critérios ambientais na formulação de políticas públicas, assim como da inserção de tais critérios nos condicionantes de avaliação de viabilidade de implantação de projetos econômicos, avançando além da avaliação do critério econômico.

Em conjunto com técnicas de análise de custo-benefício, passou-se a considerar outros aspectos da realidade, levando em consideração os de natureza

qualitativa, destacando-se aspectos ambientais e, posteriormente, sociais. Desse modo, o processo de tomada de decisão passou a envolver critérios múltiplos (CLÍMACO; VALLE, 2012).

A percepção de que uma única função é insuficiente para tratar todos os aspectos intrínsecos à tomada de decisão em problemas reais conduziu a Pesquisa Operacional (PO) em direção a uma nova abordagem: a otimização de múltiplos objetivos concorrentes ou conflitantes (PARREIRAS, 2006). Tal abordagem potencializou-se a partir da década de 70, com aplicações em diversas áreas do conhecimento.

A Pesquisa Operacional *Soft* (PO *Soft*), como uma evolução da PO tradicional, passou a encarar a decisão como um processo social, inserindo questões do comportamento humano e ferramentas quantitativas na estruturação e resolução de problemas de tomada de decisão (DIAS, 2000; GOMES, L., GOMES, C., ALMEIDA, 2006; MATZENAUER, 2003).

Os métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM), que compreendem um conjunto de metodologias para comparar, selecionar ou classificar múltiplas alternativas que envolvam atributos, muitas vezes incomensuráveis. Tais métodos têm como principal objetivo, auxiliar o homem a articular suas preferências, diante das incertezas, tornando sua decisão mais coerente com seus interesses (ZUFFO, 1998) e contribuem com a PO *Soft* na estruturação e otimização de problemas de tomada de decisão sob múltiplos critérios.

Os resultados a serem obtidos na análise multiobjetivo ou multicritério podem ter grande importância para a tomada de decisão, inclusive nas questões relacionadas à área ambiental, dependendo do conjunto das alternativas ou ações a serem consideradas, da qualidade dos dados, da estruturação dos critérios, além da importância relativa dos mesmos, do método de agregação utilizado e da participação dos atores envolvidos no processo (SOARES, 2004).

As questões ambientais devem ser levadas em consideração no processo de tomada de decisão, e, dessa forma, é necessário compreender as interações entre a pesquisa operacional e gestão ambiental para auxiliar o processo (BLOEMHOF-RUWAARD *et al.* 1995).

As diversas técnicas multicritério para auxiliar a tomada de decisão permitem avaliar critérios, sejam quantitativos ou qualitativos, e muitas vezes conflitantes, na busca da melhor decisão.

4.2 Análise multicritério e multiobjetivo

Os termos multiobjetivo ou multicritério são utilizados, muitas vezes como sinônimos (ALMEIDA, COSTA, 2002; SCHMIDT, 1995). Entretanto, alguns trabalhos comentam as diferenças entre os mesmos (MATZENAUER, 2003; ZUFFO, 1998).

A análise multiobjetivo pode ser entendida como uma extensão das técnicas de programação matemática, e tornam-se particularmente adequados a problemas em que são consideradas, simultaneamente, várias funções objetivo. Em tais métodos, há um conjunto infinito de alternativas contínuas que são geradas por programação matemática e não se conhece previamente as alternativas que serão avaliadas (MATZENAUER, 2003).

Quando o problema envolve um conjunto pequeno e discreto de objetivos é tratado como problema multicritério ou multiatributo. Isto é, consideram-se os critérios a serem obedecidos para o atendimento dos objetivos estabelecidos. Este problema é caracterizado por um conjunto pequeno de alternativas explicitamente definidas através das suas valorações, segundo os vários critérios (ZUFFO, 1998).

Doumpos e Zopounidis (2002) classificam os problemas de decisão em duas categorias distintas: os problemas discretos, nos quais é examinado um conjunto limitado de alternativas, segundo alguns atributos definidos; e problemas contínuos, nos quais o número de alternativas e soluções é infinito.

Será abordada, a seguir, a análise multicritério, em função do escopo do presente trabalho.

4.3 Apoio Multicritério a Decisão

Enquanto as técnicas de otimização tratam de problemas estáveis e bem definidos, a formulação dos problemas na análise multicritério está sujeita a alterações ao longo de seu processo de solução, visto que o próprio processo de decisão é considerado parte integrante do problema.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões sob a influência de uma multiplicidade de critérios; com dados, muitas

vezes, imprecisos e nebulosos, e em situações que envolvam grupos de interesses distintos (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006). Tal apoio pressupõe aceitar a subjetividade como um elemento sempre presente nos processos de decisão.

O AMD se diferencia das metodologias tradicionais de avaliação, pelo grau de incorporação da subjetividade e dos valores atribuídos pelos decisores nos modelos de avaliação (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006).

A metodologia de apoio multicritério à decisão caracteriza-se em construir modelos nos quais os múltiplos critérios relacionados à avaliação estão explícitos, e sujeitos à análise crítica dos decisores, ajudando-os a moldar suas preferências (DIAS, 2000).

Além disso, o AMD se distingue por apresentar um tratamento matemático menos complexo em relação aos métodos tradicionais, apesar de estarem fundamentados em rígidos axiomas, além de sua alta transparência.

Os problemas multicritério podem ser solucionados por técnicas que geram o conjunto de soluções dominantes, nas quais não se utiliza a opinião do decisor, e as técnicas que utilizam uma articulação antecipada de preferências (BRAGA; GOBETTI, 1997).

Ressalta-se que não existe uma única solução ótima em um problema multicritério, mas um conjunto de soluções dominantes ou não inferiores que satisfazem os diferentes objetivos envolvidos na análise, denominado de Ótimo de Pareto (BRAGA, GOBETTI, 1997; SHIMIZU, 2006).

O AMD não busca uma solução ótima para um determinado problema, mas uma solução de compromisso, em que deve prevalecer o consenso; a abordagem visa apoiar o processo decisório com a recomendação de ações que estejam de acordo com as preferências dos agentes de decisão (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006).

Em relação ao papel do decisor¹³, o mesmo poderá ser consultado, uma única vez, antes do início do processo de otimização, para emitir suas preferências, sendo sua opinião utilizada na busca pela solução pertencente à fronteira do Ótimo de Pareto, que define as melhores soluções (BRAGA; GOBETTI, 1997).

¹³ Ou Tomador de Decisão, traduzido de *Decision Maker* (ZUFFO, 1998).

Já em processos interativos, o decisor é consultado várias vezes durante a otimização, podendo, dessa forma, definir suas preferências, recorrendo-se a informação disponível quanto às possíveis soluções.

Em outros casos, o decisor é consultado apenas depois que uma aproximação satisfatória da fronteira de Pareto for encontrada. O decisor pode analisar todas as soluções ótimas disponíveis e emitir suas preferências.

A tomada de decisão com o auxílio da análise multicritério envolve a maximização da função matemática (EQUAÇÃO 2).

$$Max_{a_i} \{f_1(a_i), \dots, f_k(a_i) \mid a_i \in A, j = 1, 2, 3 \dots K\} \quad (2)$$

Onde A corresponde a um conjunto finito de n ações ou alternativas e $f_i=1, \dots, k$ são os critérios da tomada de decisão a serem maximizados, muito embora não exista uma solução ótima para tal problema.

Os critérios ou atributos podem assumir a forma cardinal, quando da possibilidade da criação de uma escala numérica, ou a forma ordinal, no caso de estabelecer-se somente a ordenação entre os critérios (BRAGA; GOBETTI, 1997).

A definição da problemática vai direcionar a escolha do método multicritério a ser utilizado para apoiar o processo decisório. São quatro tipos de problemáticas descritos por Roy (1996) (QUADRO 3).

Em relação aos envolvidos no apoio multicritério, os atores representam todos os que têm interesse na decisão a ser tomada, pois sofrerão influências diretas ou indiretas das decisões a serem tomadas.

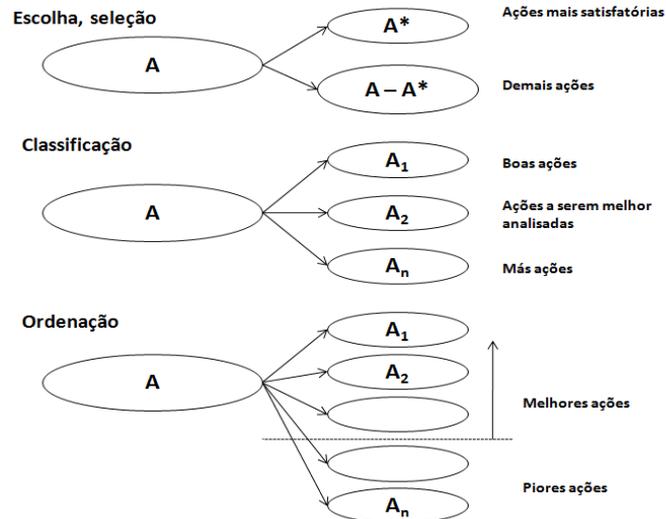
Quadro 3 – Problemáticas de referência em AMD.

Problemática	Objetivo
Seleção (P.α)	Escolha final de uma única ação, considerada a melhor entre as avaliadas.
Classificação (P.β)	Alocação das ações em categorias (classes) predefinidas,
Ordenação (P.γ)	Reagrupamento ou ordenação de todas as ações, ou as mais satisfatórias, conforme as preferências.
Descrição (P.δ)	Descrição, em linguagem formal apropriada, das ações e conseqüências. Apenas descreve a situação de decisão, não se realizando avaliações.

Fonte: Adaptado de GOMES, L., GOMES, C. e ALMEIDA (2006).

As problemáticas de seleção, classificação e ordenação são mostradas na Figura 40.

Figura 40 – Problemáticas de referência em AMD.



Fonte: Adaptado de SCHÄRLIG (1985).

O Decisor, que representa o especialista, e que irá avaliar as alternativas e emitir sua preferência, representa o ator mais importante do processo de apoio a decisão. O Decisor pode escolher as alternativas através de um processo não estruturado, simplesmente pela avaliação dos dados e/ou pareceres de especialistas. Entretanto, sendo o problema complexo, e a decisão não dependendo apenas desse Decisor, a estruturação do problema e a sistematização das respostas tornam-se fundamentais (ZUFFO, 1998).

O analista ou avaliador¹⁴ tem como função estruturar o problema, auxiliar o processo decisório e modelar as preferências e emitir as conclusões do processo. Pode-se observar ainda a presença do facilitador, que não sendo especialista em multicritério, pode auxiliar no esclarecimento, negociação e comunicação (CAMPOS, 2011).

¹⁴L'homme d'étude (Moisseau, 1992);

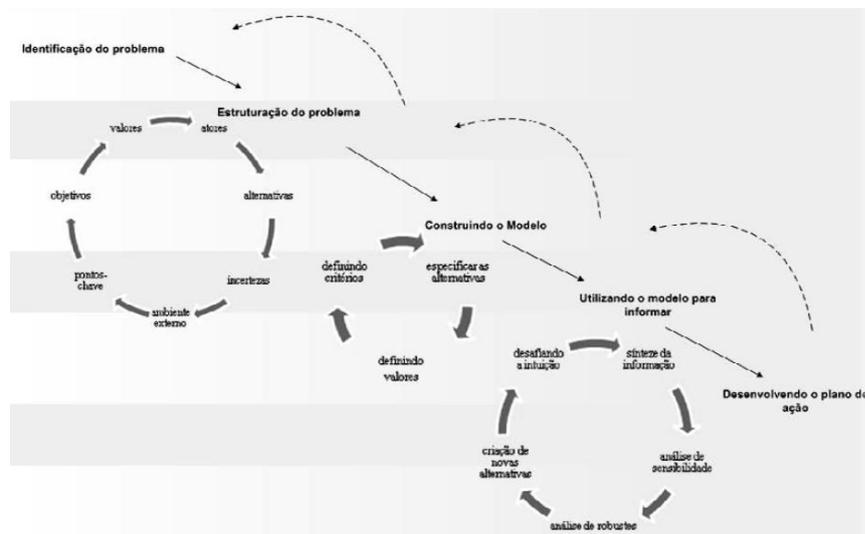
4.3.1 Processo de decisão

A construção de um modelo multicritério para auxiliar a decisão evolui ao longo de um processo com três fases principais: estruturação, avaliação e elaboração de recomendações (ENSSLIN *et al.*, 2010).

A fase inicial em um problema multicritério fundamenta-se na reflexão criteriosa sobre o mesmo. Seguem-se a escolha da família de critérios, definição das escalas, construção da matriz de decisão, agregação de cada ação em relação aos critérios, o julgamento e comparação das ações em pares, levando ao objetivo proposto (SCHÄRLIG, 1985).

A Figura 41 ilustra o processo de construção do modelo multicritério segundo Belton e Stewart (2002), composta das fases de estruturação do problema, construção do modelo e os resultados obtidos.

Figura 41 – Processo de construção de modelo multicritério de apoio à decisão.



Fonte: Adaptado de Campos, Castillo e Cazarini (2010).

Identificado o problema no contexto decisório, parte-se à etapa de estruturação do mesmo, sendo delimitados os principais itens do problema, assim como as incertezas associadas.

A estruturação do modelo é fundamental em um processo de apoio à decisão, e visa a construção de um modelo mais ou menos formalizado, capaz de ser aceito e compreendido pelos decisores. A fase de estruturação é ainda justificada, pois, para se compreender a complexidade de uma situação em que se

pretende avaliar, torna-se necessário analisar e caracterizar o contexto, identificando atores, elementos característicos do problema, alternativas, critérios de avaliação, concluindo com a escolha do método multicritério mais adequado a ser utilizado.

A estruturação do problema multicritério consiste em construir o modelo que represente o contexto decisório, que possa ser analisado e auxilie a tomada de decisão. Devem ser conhecidas a influência do ambiente externo, as incertezas e os valores distintos dos agentes de decisão (CAMPOS, 2011).

Os problemas com critérios múltiplos podem ser classificados basicamente em (DIAS, 2000; GOMES, L., GOMES, C., ALMEIDA, 2006):

- a) Estruturados: são problemas que podem ser solucionados a partir de processos lógicos muito bem definidos, podendo-se usar métodos de otimização da programação matemática.
- b) Semi-estruturados: são problemas que usam modelos matemáticos nas partes estruturadas. As partes não estruturadas são resolvidas pelo julgamento do decisor.
- c) Não estruturados: são problemas para os quais não existem processos lógicos para a sua resolução.

Na construção do modelo, são identificadas as alternativas, critérios e valores associados à tomada de decisão. Com os resultados da modelagem, são geradas as informações necessárias para auxiliar a tomada de decisão. Observa-se que as informações fluem nos fluxos direto e reverso do processo, auxiliando a melhoria do mesmo (FIGURA 41).

Resumidamente, o processo constitui-se das fases de estruturação, classificação das alternativas, escolha da metodologia a ser utilizada, identificação do sistema de preferência dos decisores, procedimento de agregação, conclusões e recomendações.

4.3.2 Metodologias multicritério

As metodologias de apoio à decisão multicritério compõem um conjunto extenso de métodos, e podem ser definidas como ferramentas matemáticas que

permitem a comparação de diferentes alternativas ou cenários, do ponto de vista de diferentes critérios, com o propósito de auxiliar a tomada de decisão. São, portanto, construídos a partir da formulação de hipóteses matemáticas e nas informações obtidas junto aos tomadores de decisão.

Existem duas principais correntes metodológicas na tomada de decisão por critérios múltiplos: as Escolas Americana e a Francesa (ou Européia).

A Escola Americana, seguindo o paradigma científico do racionalismo, baseia-se na teoria da utilidade marginal, na qual os problemas de decisão podem ser modelados matematicamente pela maximização da função capaz de representar a utilidade de cada alternativa para o decisor. O foco, assim como na pesquisa operacional tradicional, está em fornecer uma solução ótima, racional. No desenvolvimento do modelo, as informações sobre as preferências dos decisores são necessárias somente para a modelagem matemática (MATZENAUER, 2003).

Já a Escola Francesa, seguindo o paradigma do construtivismo, baseia-se na abordagem de subordinação, ou ordenamento, e caracteriza-se por apresentar dois estágios. No primeiro, são realizadas comparações entre as alternativas do problema. A partir dessas comparações são definidas relações de classificação entre os pares de alternativas. Em seguida, as relações são exploradas por meio de um conjunto de diretrizes, tendo como objetivo ordenar as alternativas, em ordem decrescente, classificá-las em categorias predefinidas ou obter a melhor alternativa.

A corrente francesa busca, com a utilização dos métodos multicriteriais, a Solução de Melhor Compromisso, não necessariamente a solução mais racional, como a corrente americana (ZUFFO, 1998).

A tomada de decisão na abordagem americana é definida como a Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios – *Multi Criteria Decision Making* (MCDM), enquanto na francesa utiliza-se a definição Apoio Multicritério à Decisão – *Multi Criteria Decision Aid* (MCDA) (MATZENAUER, 2003; PARREIRAS, 2006; ZUFFO 1998).

Seguindo a corrente francesa, o apoio multicritério a tomada de decisão tem como objetivo buscar o estabelecimento de uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas (ALMEIDA, COSTA, 2002; ROY, 1996). As metodologias consistem em conjunto de técnicas de análise, que se baseiam no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados.

Citam-se, dentre os métodos da Escola Americana, o MAUT (Multiattribute Utility Theory), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), Ponto Médio, Programação por Metas, SMARTS (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*), dentre outros (CAMPOS, 2011; MATZENAUER, 2003; PARREIRAS, 2006; QUEIROZ, 2009; ZUFFO 1998).

Já da corrente francesa citam-se os métodos ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), o ANP (*Analytic Network Process*), o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) e o TOPSIS (*Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution*) (ALMEIDA, COSTA, 2002; CAMPOS, 2011; KROHLING, SOUZA, 2011; MATZENAUER, 2003; PARREIRAS, 2006; QUEIROZ, 2009; ZUFFO 1998).

Outra abordagem relacionada aos métodos de tomada de decisão multicritério, que é baseada no fato de que incerteza, imprecisão e ambiguidade são aspectos intrínsecos à tomada de decisão, refere-se à Lógica Fuzzy ou Difusa (MATZENAUER, 2003).

A teoria dos conjuntos difusos (*Fuzzy*) é utilizada representar modelos de raciocínio impreciso, como na habilidade humana de tomar decisões racionais, em ambientes de incerteza e imprecisão.

Tal abordagem difusa é utilizada principalmente quando não se tem dados suficientes para a construção das funções densidade de probabilidade, sendo os valores de análise associados a níveis de pertinência, através da função de pertinência (VIEIRA, 2005).

Existem métodos de tomada de decisão multicritério que utilizam a lógica *Fuzzy* para modelar as preferências, a exemplo do ELECTRE TRI e PROMETHEE (CAMPOS 2011; PARREIRAS, 2006; SZAJUBOK, MOTA, ALMEIDA, 2006; ZUFFO, 1998).

A seguir, apresenta-se uma abordagem da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), objetivando sua aplicação posterior (CAPÍTULO 5).

4.3.2.1 Teoria da Utilidade Multiatributo

Nas comparações entre alternativas em um problema de decisão, há possibilidade de relações de preferência (P), indiferença (I) ou incomparabilidade (R) (VINCKE, 1985).

Em função dos princípios de modelagem de preferências, uma das abordagens do AMD, utiliza-se uma função síntese na agregação das alternativas conforme os desempenhos no conjunto de critérios.

A função que maximiza a preferência do decisor pode ser denominada, dependendo do contexto, de uma função econômica, de utilidade, função objetivo, dentre outras (VINCKE, 1985).

Tal abordagem é possível se houver a possibilidade de compensação entre os critérios analisados, e que todas as alternativas possam ser comparadas, além da relação de transitividade ser aplicada¹⁵.

Para cada critério é construída uma função das preferências. Pode ser atribuído um peso p a cada critério, que indica sua importância no cumprimento dos objetivos. As preferências dos decisores são agregadas em uma função adimensional, construindo-se uma função de utilidade.

Quando tal função utilidade envolve critérios múltiplos tem-se a construção de uma função utilidade de múltiplos atributos (MAUT), a ser utilizada na resolução de problemas discretos e contínuos (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006).

A função utilidade é, portanto, a representação matemática da estrutura de preferência do decisor, sendo subjetiva, e incorpora a maneira de agir do decisor diante do risco. Em geral está representada por uma variável normalizada entre 0 e 1 (BRAGA; GOBETTI, 1997).

A função utilidade multidimensional pode ser descrita na forma da Equação 3, que representa uma função aditiva. Para o caso em que os atributos x_i são independentes entre si.

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (3)$$

¹⁵ Sejam a , b e c comparáveis entre si. Se $a > b$ (a é preferível a b) e $b > c \rightarrow a > c$.

Onde $u(x)$ é a função utilidade multidimensional normalizada de 0 a 1, x é o valor de dimensão n que quantifica os atributos, $u_i(x_i)$ é a função utilidade do decisor e k é uma constante de normalização. A função aditiva aplica-se no caso que a soma dos valores de k é igual a 1 (DIAS; CLÍMACO, 2001).

A função de valor é uma ferramenta aceita pelos tomadores de decisão, para auxiliar a articulação de suas preferências, e é usada para ordenar a intensidade de preferência entre pares de níveis de impacto, sendo construídas, com a finalidade de avaliar as ações, segundo os pontos de vista de tais decisores (TEZZA; ZAMCOPÉ; ENSSLIM, 2012).

A MAUT serve para comparar diferentes critérios através da estruturação e quantificação de uma função utilidade, que represente as preferências do decisor.

A MAUT é considerada uma teoria e não apenas um método multicritério, pois está baseada em uma estrutura axiomática bem definida, além de ser uma derivação natural da teoria da utilidade de Benoulli (1738), ampliada com a publicação de *Theory of games and economic behaviour*, de John von Neumann e Oskar Morgenstern (1944) (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006).

Conforme abordagem de MAUT, as preferências do decisor sobre as conseqüências são modeladas de modo a fornecer a função utilidade multiatributo, agregando todos os atributos numa mesma análise (ALMEIDA, 2005).

4.4 Avaliação de impactos ambientais

O marco legal das avaliações de impactos ambientais em nível mundial, foi a promulgação, em 01 de janeiro de 1970, da PL-91-190: "*National Environmental Policy Act*" (NEPA), nos Estados Unidos da América, que condicionou a elaboração de projetos públicos à realização de estudos ambientais, contendo a avaliação de impactos ambientais (WESTMAN, 1985).

A introdução da avaliação de impactos ambientais como condicionante legal de aprovação de projetos econômicos, se difundiu ao longo da década de 70 em países do primeiro mundo: Canadá e Nova Zelândia (1973), Austrália (1974) e França (1976) (SÁNCHEZ, 2008).

Mais tarde em alguns países em desenvolvimento, como no Brasil, houve a adoção de tal instrumento, como forma de adequação a critérios estabelecidos para a concessão de empréstimos, por parte de organismos internacionais¹⁶.

A incorporação de critérios ambientais para auxiliar a tomada de decisão fez surgir uma série de políticas públicas voltadas para o tema, incluindo legislações específicas, criação de sistemas de procedimentos, avaliação, acompanhamento, fiscalização e controle, assim como de incentivos econômicos e financeiros.

Dentre os instrumentos gerados sistematização da avaliação de impactos ambientais como atividade obrigatória destaca-se a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), traduzida da expressão original "*Environmental Impact Assessment (EIA)*", da política americana. A avaliação dos impactos objetiva a identificação das ações humanas sobre o ecossistema e seus possíveis efeitos.

As avaliações de impactos ambientais são constituídas por uma série de métodos, que são mecanismos estruturados que visam comparar, analisar e sintetizar as informações sobre os impactos potenciais de um determinado projeto. Definir o método de avaliação a ser utilizado consiste em determinar os procedimentos técnicos, lógicos e operacionais que irão permitir a avaliação de um impacto sobre um determinado meio.

Existem métodos relacionados à previsão e avaliação de impactos sobre o meio ambiente, como os métodos matemáticos utilizados, por exemplo, na modelagem de dispersão de poluentes no ar e na água (SÁNCHEZ, 2008).

Outras metodologias incluem a comparação com situações semelhantes e extrapolação para o caso analisado; a realização de experimentos em laboratório e em campo; assim como o julgamento de especialistas no tema, baseado na capacidade dos mesmos, em emitir estimativas sobre a probabilidade de ocorrência, extensões espacial e temporal, assim como a magnitude (SÁNCHEZ, 2008).

Dentre as técnicas utilizadas para realizar a avaliação de impactos ambientais, citam-se as matrizes bidimensionais – a exemplo da Matriz de Leopold (RIBEIRO; TEIXEIRA; FERNANDES, 2013), desenvolvida em 1971 para o Serviço Geológico dos Estados Unidos, que relaciona 100 ações possíveis em um projeto e 88 fatores ambientais, contabilizando 8.800 possíveis interseções. São associados

¹⁶ O Apêndice D consta de informações sobre avaliação de impactos ambientais no Brasil.

aos impactos julgamentos de valor (magnitude e importância) numa escala de 0-10, identificando se são benéficos (+) ou adversos (-).

Tal modelo de matriz vem sofrendo diversas modificações ao longo dos anos, de tal modo a adaptá-la a análise de outros projetos. Por exemplo, Mota e Aquino (2002) adaptaram a matriz de Leopold, visando realizar uma avaliação mais detalhada dos impactos de um empreendimento, associando cada ação do mesmo a uma característica específica de um meio.

Outros métodos incluem checklists, redes e diagramas de interação, além de métodos de superposição de imagens (WESTMAN, 1985).

O método de Battelle, desenvolvido em 1971, é um método quantitativo que utiliza indicadores ou parâmetros de qualidade ambiental, representando o estado de determinado segmento ambiental. Estes indicadores têm valores geralmente de 0 a 1, relativo ao peso para cada fator confrontado a um julgamento subjetivo (BARBIERI, 2011).

Alguns procedimentos vêm sendo utilizados para aplicação dos métodos de avaliação ambiental, incluindo a aplicação de técnicas em grupo para coletar as informações de profissionais, como os métodos de decisão em grupo *ad hoc*, no qual os impactos são identificados através de *brainstorming*, caracterizados e sumariados através de tabelas, matrizes e diagramas, a exemplo do Diagrama de Ishikawa e de técnicas multicritério para a tomada de decisão. Segundo Sánchez (2008), modelos conceituais, isto é, que não aplicam parâmetros mensuráveis, podem ser utilizados por especialistas para realizar a previsão de impactos.

As técnicas de opinião especializadas, muito utilizadas para tomada de decisão, previsões e identificação de riscos de projetos, podem ser usadas para avaliação de impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2008).

Uma técnica de opinião de especialistas é o método Delphi, desenvolvida em 1953 (ASTIGARRAGA, 2003), que se fundamenta na aplicação de questionários para agregar conhecimento em problemas complexos, e apresenta as seguintes características:

- a) Um grupo de especialistas, internos e externos à instituição, é selecionado;
- b) Cada especialista dá a sua opinião anônima sobre o assunto que está sendo levantado;

- c) Cada entrevistado recebe um feedback composto das respostas de todos os entrevistado, sendo convidado a emitir novas opiniões, com base no feedback ou a manter sua posição inicial;
- d) O processo é então repetido quantas vezes forem necessárias.

Enquanto no Delphi, as pesquisas podem ser aplicadas inclusive via internet, no Método de Grupo Nominal, há a interação do grupo; as opiniões são discutidas e listadas em um painel, por ordem de classificação. O processo pode ser repetido quantas vezes forem consideradas necessárias (TARAPANOFF, 1995).

4.5 Avaliação multicritério de impactos ambientais

A avaliação de impactos ambientais constitui um processo de tomada de decisão envolvendo objetivos e/ou critérios múltiplos; sendo possível, desse modo, utilizar-se de técnicas e metodologias de análise multicritério para estruturação e resolução de tais avaliações. A análise multicritério apóia a escolha e a organização de indicadores ambientais na estruturação de um método de avaliação ambiental (FIGUEIRÊDO *et al.* 2010). A avaliação seria uma forma de racionalizar e justificar decisões complexas (JANSSEN; NIJKAMP, 1985).

Segundo Lucena (1999), nas avaliações de impactos ambientais das atividades econômicas, observa-se a dificuldade e complexidade, devido à diversidade de impactos que podem ser causados pela interferência humana nos sistemas socioambientais. Percebe-se, portanto, a necessidade de um processo de avaliação interdisciplinar, sistemático, reproduzível, organizado e uniforme, com estreita interação entre as diversas partes envolvidas, e considerando a viabilidade de aplicação de métodos de análise multicritério na avaliação de impactos ambientais.

Os métodos de análise multicritério, ao agregar os múltiplos objetivos e as incertezas relativas aos potenciais impactos, tendem a incorporar as mesmas etapas do processo de avaliação de impacto ambiental, como a definição das ações potenciais a serem avaliadas, os meios atingidos, a formulação dos indicadores de

análise e a avaliação das ações relacionadas a cada critério, para auxiliar a tomada de decisão.

Segundo Ramanathan (2001), o uso de análise multicritério, a exemplo da AHP, pode contribuir para o processo de avaliação de impactos, mas também nos planos de mitigação.

De acordo com Westman (1985), o impacto pode ser definido como o efeito das atividades humanas sobre a estrutura e funções do ecossistema. Para Sánchez (2008), o impacto é compreendido também como a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana.

Uma ação humana pode causar efeitos simultâneos sobre o meio natural e social; no entanto, inicialmente, as avaliações de impacto estavam limitadas aos efeitos das ações sobre o meio natural; com a evolução, o escopo das avaliações passou a incorporar as dimensões sociais e econômicas, inclusive a partir de instrumentos legais (SÁNCHEZ, 2008).

A avaliação de impacto ambiental deve constar do exame sistemático dos impactos, e implica na identificação e valoração dos mesmos, através de métodos e técnicas objetivos, além de representar um subsídio à tomada de decisão.

A tendência é entender a avaliação de impactos como ferramenta de planejamento ambiental, que se utilizam não de um, mas de vários aspectos associados de tomada de decisão, configurando-se, dessa forma um problema multicritério (ZUFFO, 1998).

Conforme Moreira (1985), a AIA tende a promover o conhecimento prévio, a discussão e a análise imparcial dos impactos ambientais positivos e negativos de uma proposta, permite evitar e corrigir os danos e otimizar os benefícios, aprimorando a eficiência das soluções. A AIA pode também ser utilizada como instrumento de política ambiental capaz de subsidiar o processo de tomada de decisão.

A AIA não é um instrumento de decisão, mas de subsídio ao processo de tomada de decisão. No entanto, a subjetividade que se encontra presente na avaliação e na análise dos impactos, faz surgir conflitos de interesses, que só podem ser reduzidos pela interação com os diferentes grupos sociais envolvidos ao longo de todo o processo (PIMENTEL; PIRES, 1992).

Os impactos ambientais podem ser classificados de acordo com determinadas características pertinentes ao dano e seus respectivos efeitos ao longo do tempo, como pode ser observado na classificação sistematizada (QUADRO 4).

Quadro 4 – Características, tipos e descrição dos impactos ambientais.

Características	Tipo do impacto	Descrição
Valor	Positivo ou benéfico	Quando uma ação resulta na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental.
	Negativo ou adverso	Quando a ação resulta em um dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental.
Ordem	Direto	Quando resulta de uma simples relação de causa e efeito; também chamado impacto primário ou de primeira ordem.
	Indireto	Quando é uma reação secundária em relação à ação, ou quando é parte de uma cadeia de reações; também chamado impacto secundário, ou de enésima ordem de acordo com sua situação na cadeia de reações.
Espaciais	Local	Quando a ação afeta apenas o próprio local e suas imediações.
	Regional	Quando um efeito se propaga por uma área além das imediações onde se dá a ação.
	Estratégico	Quando a ação causa um efeito em um componente ambiental de importância coletiva ou nacional.
Temporais ou dinâmicas	Imediato	Quando o efeito surge no instante em que se dá a ação.
	Médio ou longo prazo	Quando o efeito se manifesta depois de decorrido certo tempo após a ação.
	Temporário	Quando o efeito permanece por um tempo determinado, após a execução da ação;
	Permanente	Quando, uma vez executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar, num horizonte temporal conhecido.

Fonte: Adaptado de Moreira (1985).

Entretanto, a subjetividade envolvida na avaliação e classificação do impacto traduz-se na necessidade dos especialistas na avaliação ambiental em tomar decisões baseada na sua própria percepção e julgamento, inserindo, dessa forma, elementos subjetivos ao processo, daí o enfoque do AMD para contribuir no processo de avaliação ambiental.

Já a definição dos atributos e parâmetros envolvidos na análise dos impactos potenciais irá depender das características ambientais da área de

influência do empreendimento, do tipo de empreendimento e da especialização da equipe envolvida (OLIVEIRA; MEDEIROS, 2007).

Segundo Sánchez (2008), inicialmente, as avaliações de impactos restringiam-se quase que exclusivamente a projetos de engenharia; entretanto, o campo de aplicações evoluiu e passou a incluir planos, programas e políticas. Nessa perspectiva inclui-se a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), que compreende todas as formas de avaliação de impactos de ações mais amplas que projetos individuais. Tipicamente, a AAE refere-se à avaliação das consequências ambientais de políticas, planos e programas, em geral no âmbito de iniciativas governamentais (SÁNCHEZ, 2008).

4.6 Apoio multicritério em avaliações de vulnerabilidade à desertificação

O apoio ou análise multicritério tem sido utilizado para investigar processos de desertificação em algumas regiões do mundo, podendo estar associados às mudanças climáticas. Em região do Irã, um estudo realizado selecionou critérios relacionados ao risco de desertificação; os dados foram digitalizados com o SIG e convertidos em padrão difuso. A partir da análise AHP junto a especialistas, foram determinados os pesos de cada critério sobre o processo de desertificação, e obtido o mapa de risco à desertificação (MASHAYEKHAN; HONARDOUST, 2011).

Considerando a subjetividade e a incerteza relacionadas à construção de indicadores de vulnerabilidade, Eakin e Bojórquez-Tapia (2008), a partir do estudo de comunidade rural no México, cujas famílias praticavam agricultura de subsistência, desenvolveram um estudo de vulnerabilidade das mesmas, frente às mudanças climáticas, combinando análise multicritério e lógica fuzzy.

Foi realizada uma análise multicritério com a utilização do Modelo Electre TRI, para avaliar as sinergias entre as Convenções das Mudanças Climáticas (UNFCCC), Diversidade Biológica (CBD) e de Combate à Desertificação (UNCCD) no que se refere à avaliação de projetos florestais (CÓNDOR; SCARELLI; VALENTINI, 2011).

Sepehr e Zucca (2012) selecionaram e integraram indicadores de desertificação no Brasil, Moçambique e Portugal. Com o auxílio do TOPSIS, foi

determinando o melhor conjunto de indicadores para monitorar a degradação da terra em tais países, como auxílio do sensoriamento remoto.

Uma análise multicritério foi utilizada para selecionar, dentre cinco alternativas, o melhor plano de controle da desertificação e erosão em áreas da Argentina. Foram selecionados oito critérios e utilizados os métodos ELECTRE, PROMETHEE e AHP, que demonstraram níveis de consistência considerados elevados, apesar da complexidade do problema (GRAU *et al.*, 2010a).

Cisneros *et al.* (2011) avaliaram, por meio da utilização de três métodos multicritério, com a utilização de seis critérios, os conflitos e *trade-offs* envolvidos na exploração agropecuária em uma área da Argentina. Os resultados mostraram um elevado impacto das práticas de manejo do solo e água sobre os fatores ambientais e um forte conflito entre os interesses ambientais e econômicos.

Grau *et al.* (2010b) elaboraram um plano territorial para uma Bacia com alto nível de erosão. Foi construído o modelo multicritério, no qual foram avaliadas dez alternativas de planos e treze critérios, sendo aplicados os métodos ELECTRE I, PROMETHEE e AHP. Os dois primeiros métodos foram considerados mais apropriados em relação ao AHP.

Um estudo foi realizado na África para identificar o acesso à água para uso agropastoril na estação seca, a partir da utilização do SIG combinada à análise multicritério (OUÉDRAOGO, 2013).

Estudos no Brasil mostram a combinação da análise multicritério com SIG para geração de mapas de risco, como para avaliar o risco de salinização em bacias com o uso de SIG/AHP (FIGUÊIREDO; CALASANS, 2010), SIG/ Método Multicritério Aditivo (MOTA *et al.*, 2012).

Oliveira-Galvão (2001) avaliou a susceptibilidade à desertificação no Semiárido a partir da integração de indicadores ambientais com o uso de SIG e da AHP.

Sepehr, Ekhtesasi e Almodaresi (2011) utilizaram Fuzzy-TOPSIS para desenvolver um sistema de indicadores de desertificação. O TOPSIS foi utilizado para a seleção, pontuação e preferência dos indicadores. A ponderação dos indicadores foi realizada com a distribuição fuzzy triangular.

Valladares *et al.* (2012) desenvolveram um mapa de sensibilidade à erosão de uma região utilizando-se o método multicritério aditivo, atribuindo-se

ponderações aos critérios. O método multicritério aditivo mostrou-se bastante eficiente no estudo.

O AHP combinado ao SIG foi utilizado para construir cenário de risco à desertificação, utilizando como indicador, a diversidade de abelhas presentes na área estudada no Estado da Bahia (PAIM; OLIVEIRA, 2011).

Falcão (2013) analisou áreas com risco de desertificação no Estado da Paraíba, utilizando métodos multicritério combinados ao sensoriamento remoto e GIS (Spring). A AHP foi usada na ponderação entre critérios junto a especialistas; já a Combinação Linear Ponderada foi usada na geração do mapa de risco.

Cita-se ainda a construção de índice de sustentabilidade hidroambiental de municípios do Semiárido com o uso do Prometheé II (CARVALHO; CURI, 2013).

Foi utilizada a análise multicritério na avaliação e monitoramento de ações de combate à desertificação no Arizona (OCAMPO-MELGAR, 2013).

Observa-se, no entanto, que no Brasil, destaca-se a utilização da análise multicritério na área de recursos hídricos, incluindo aplicações relacionadas ao planejamento e gestão ambiental, ao estabelecimento de alternativas em projetos de reservatórios e de sistemas de abastecimento e à definição de políticas para solução de conflitos, como pode ser visto em alguns trabalhos (ALBERTIN, 2008; BALTAR, CORDEIRO NETTO, 1998; BRAGA *et al.*, 1998; CAMPOS, ALMEIDA, 2005; CAMPOS, 2011; CORDEIRO, 2010; MATZENAUZER, 2003; REYES, 2009; TEIXEIRA, BARBOSA, 1995; SILVA, 2012, VILAS BOAS, 2006).

5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO

Este Capítulo descreve a construção de metodologia baseada no Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para avaliação de vulnerabilidade à desertificação, isto é, ao risco associado ao cenário definido como equilíbrio de baixo nível (FIGURA 25).

Conforme o Capítulo 2, a avaliação de processos de degradação ambiental relacionados ao fenômeno da desertificação é complexa. Os grupos de pesquisa que se dedicam ao tema, com diversas áreas de atuação, tornam difícil estabelecer indicadores gerais e abrangentes.

Os indicadores relacionados ao presente tema poderão incluir aspectos econômicos, políticos, sociais, ambientais, dentre outros, dependendo dos objetivos e interesses relacionados a tais estudos.

Além disso, a disponibilidade de dados quantitativos é relativamente escassa, assim como apresentam extensa variabilidade espacial e temporal.

Dessa forma, observa-se que o AMD apresenta possibilidade real de aplicação na problemática descrita, podendo ser utilizada com êxito na busca de metodologia para o propósito estabelecido, uma vez que se baseia na análise de critérios múltiplos, com possibilidade de uso de dados quantitativos e qualitativos, baseados na subjetividade ou pontos de vista dos especialistas a serem consultados no processo de avaliação.

Na construção da metodologia são considerados aspectos ambientais, econômicos e sociais, associados ao aumento da vulnerabilidade à desertificação, quando da ação humana sobre o meio; são selecionados indicadores bióticos, abióticos e antrópicos relacionados aos mesmos, estruturando-se o problema multicritério.

Ressalta-se novamente a originalidade do trabalho, que procura integrar a análise multicritério às metodologias de impactos ambientais, muito embora já se reconheça que a avaliação de impactos é uma avaliação multicritério. A abordagem proposta valoriza o conhecimento de especialistas no tema, traduzindo seus pontos

de vista em uma valoração quantitativa, e aplicando ferramentas matemáticas baseadas no AMD¹⁷.

As características da pesquisa, os procedimentos utilizados para a construção da metodologia e os resultados são descritos a seguir.

5.1 Método da pesquisa

O método de pesquisa define o conjunto de atividades sistemáticas e racionais, traçando o caminho a ser seguido, que permite alcançar o objetivo proposto (MARCONI; LAKATOS, 2006).

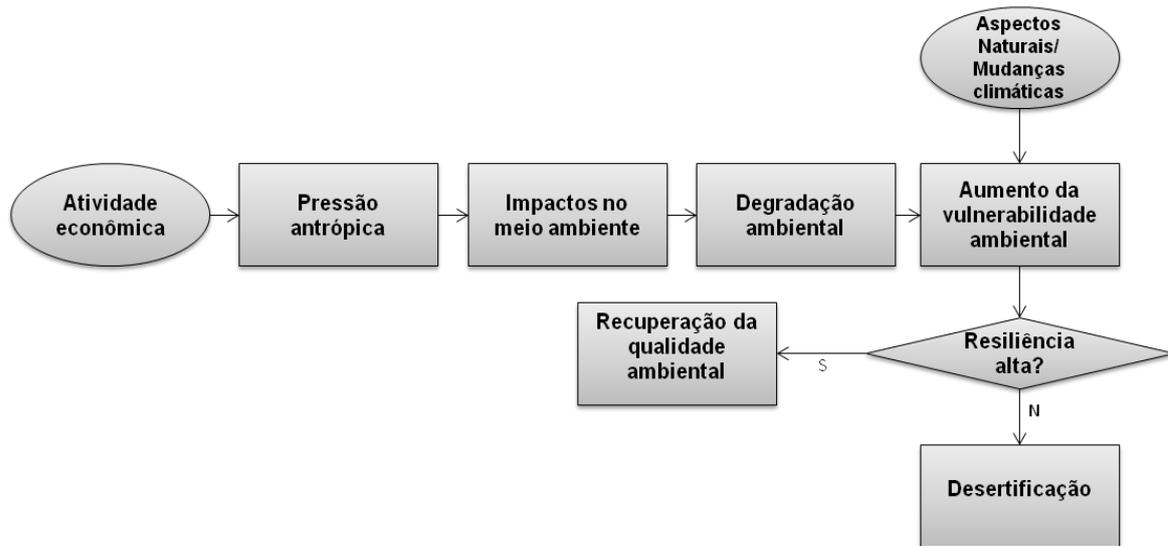
Quanto à natureza das variáveis pesquisadas, uma pesquisa pode ser classificada em qualitativa, quando identifica a presença de algo, e quantitativa, quando procura medir o grau em que o algo está presente, seja em números, opiniões e informações (LEITE BARBOSA, 2001; SILVA, MENEZES, 2005).

O método desta pesquisa apresenta natureza quantitativa e um enfoque metodológico, já que procura indagar um procedimento científico, a ser utilizado para o tratamento dos dados (BAFFI, 2010).

A construção da presente metodologia de avaliação inicia-se a partir da sistematização do processo de desertificação (FIGURA 42), sob o enfoque da degradação ambiental resultante dos impactos ambientais, considerando-se os aspectos da vulnerabilidade e resiliência, complementado a condição de equilíbrio de baixo nível.

¹⁷ Nos trabalhos revisados sobre a aplicação do AMD no estudo de desertificação, não se observou abordagem similar a presente proposta.

Figura 42 – Diagrama causa-efeito do processo de desertificação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tal diagrama causa-efeito (FIGURA 42) foi elaborado para sistematizar as relações entre atividades econômicas, pressão humana e aspectos ambientais, atuando conjuntamente sobre os ecossistemas do Semiárido e, conseqüentemente, aumentando a vulnerabilidade à desertificação.

Na evolução do tratamento da vulnerabilidade à desertificação, formatou-se o processo de desertificação como cíclico, e que foi definido como equilíbrio de baixo nível, e sobre o qual objetiva-se construir metodologia para avaliação quantitativa, isto é, do risco associado ao aumento de vulnerabilidade.

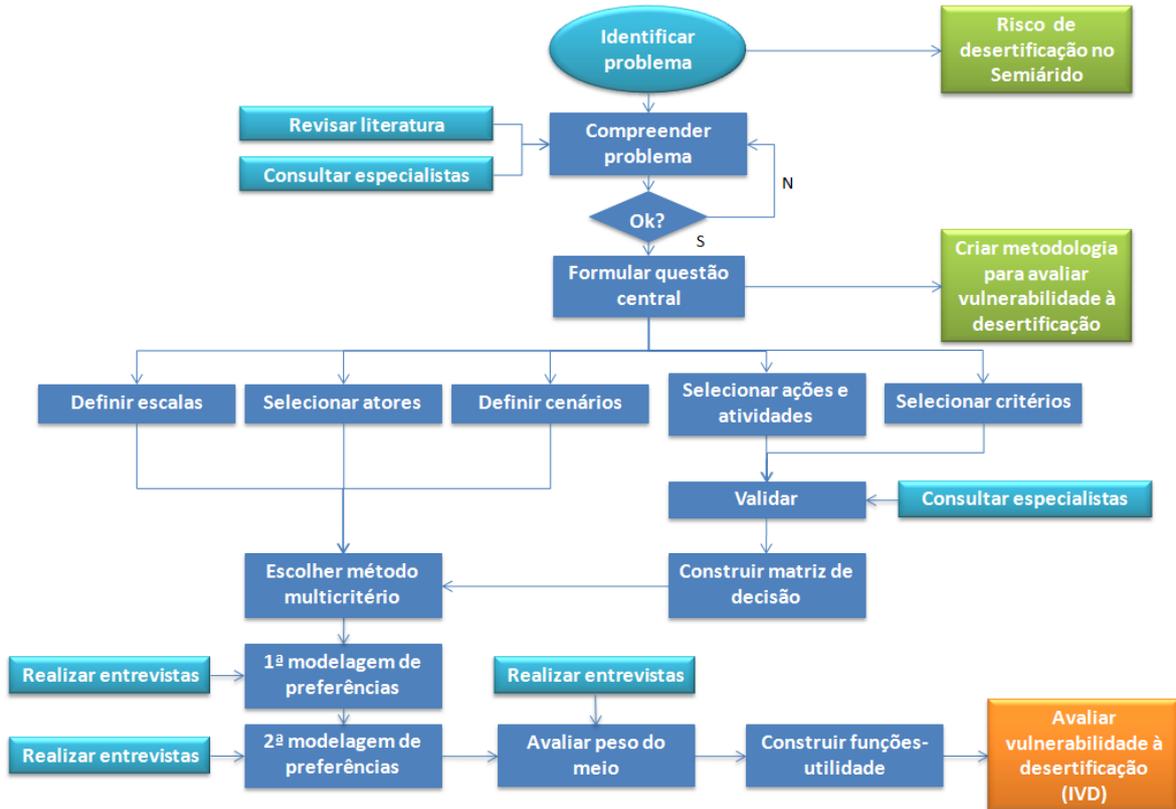
Com a identificação da questão central, isto é, a definição do problema, era necessário construir uma metodologia de análise capaz de avaliar o risco da evolução dos quadros de degradação ambiental no Semiárido, tornando-o mais vulnerável aos processos de desertificação, e que tal medida pudesse ser estimada.

A metodologia de avaliação de vulnerabilidade (FIGURA 43) baseia-se no processo teórico de construção de modelo multicritério de apoio à decisão, apresentado no Capítulo 4 (FIGURA 41).

Resumidamente, no processo metodológico da pesquisa, verificou-se que, após a identificação do problema, ocorreu, em etapas sucessivas, a sua estruturação, incluindo a seleção dos múltiplos critérios, decisores, escolha do método de apoio multicritério a ser utilizado, e por fim a sua aplicação.

As etapas da construção da metodologia multicritério para avaliação de vulnerabilidade à desertificação são descritas nos tópicos a seguir.

Figura 43 – Metodologia AMD para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.1.1 Estruturação do problema

Uma das principais etapas da estruturação de um problema multicritério consiste em formular a questão central, isto é, qual o objetivo que se pretende avaliar e/ou decidir.

Para tal intento, foi realizada uma revisão de literatura sobre o tema vulnerabilidade à desertificação. A revisão bibliográfica permitiu estruturar uma base teórica para apresentar e analisar os conceitos norteadores propostos. Segundo Gil

(2002), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, disponível em diversas fontes, destacando-se livros e artigos científicos.

Seguindo aspectos de Revisão Bibliográfica sistemática (RS) qualitativa, na qual a informação obtida nos estudos incluídos na revisão não é susceptível à análise estatística, ao contrário da RS quantitativa ou Metanálise (MUÑOZ *et al.* 2002), foram definidos os termos e as bases de dados a serem pesquisadas.

Os termos podem ser palavras ou conjunto de palavras, os quais serão utilizados para a captação das pesquisas existentes, e sua escolha é de vital importância para acessar os documentos realmente relevantes para o objeto de estudo. Os termos relevantes utilizados na revisão foram “*Desertification*”, “*Vulnerability*”, “*Multicriteria*” e “*Impact Assessment*”, utilizados em diversas combinações.

As bases de dados incluíram o Portal de Periódicos da Capes (https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_phome), Scielo (<http://www.scielo.org/php/index.php>), e o Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>).

Observou-se que a correta aplicação de qualquer modelo multicritério de apoio à decisão requer que o problema esteja bem compreendido, a fim de permitir uma estruturação objetiva e transparente.

Após formular a questão central, que compreendeu a necessidade de desenvolver metodologia para avaliar a vulnerabilidade à desertificação no Semiárido, a próxima etapa da estruturação objetivou ainda compreensão do problema, suas causas, consequências, e da possibilidade do apoio multicritério aplicar-se ao estudo.

Dessa forma, a estruturação do problema teve em vista a identificação e a discussão dos critérios considerados como relevantes para avaliar o risco de aumento de vulnerabilidade à desertificação, quando da ação das principais atividades econômicas desenvolvidas no Semiárido.

Para tal intento, a fase de estruturação já envolveu a participação de especialistas, que contribuíram na discussão da questão central e definição de indicadores, podendo, portanto, ser considerada uma estruturação coletiva.

Foram consultados especialistas de formação e atividades ligadas ao tema de estudo, que deram contribuições valiosas para o desenvolvimento do Trabalho.

Outra consideração a ser tratada consiste em estabelecer-se o objetivo do problema. Considerou-se que no problema presente, pretende-se não escolher uma solução ótima, como é objetivo dos processos de otimização, mas proceder a uma ordenação entre as ações por ordem de preferência, segundo os critérios de análise, caracterizando-se, portanto, uma problemática de ordenação (FIGURA 40) e (QUADRO 3).

5.1.1.1 Seleção dos atores

Na estruturação do problema sob o enfoque multicritério, devem ser definidos os atores que serão envolvidos no processo decisório. Verifica-se a presença de atores internos e externos, que podem influenciar diretamente ou indiretamente tal processo.

Os atores envolvidos no problema relacionado à avaliação de vulnerabilidade à desertificação incluem o Autor do Trabalho, atuando como Analista e Facilitador do processo.

Os diversos especialistas que contribuiram para a formatação do trabalho, a partir de consultas, entrevistas e discussão, também podem ser incluídos entre os atores externos participantes do processo.

E como atores centrais do processo de avaliação encontram-se os tomadores de decisão, ou decisores, a serem consultados na etapa de modelagem de suas preferências, essencial ao processo decisório.

Os decisores constituíram um grupo de especialistas, a serem consultados para emitir opiniões relacionadas aos impactos das ações humanas sobre os meios abiótico, biótico e antrópico relacionados ao aumento de vulnerabilidade à desertificação. Tal grupo de especialistas foi composto por:

- 1) Especialista em gestão ambiental e avaliação de impactos ambientais, com conhecimento nas áreas agropecuária e industrial.
- 2) Especialista em agricultura, mudanças climáticas e desertificação;
- 3) Especialista em clima e desertificação.

Foi selecionado ainda um grupo de especialistas a fim de avaliar, dentro de sua área de atuação, os impactos das ações relacionadas às atividades econômicas elencadas para o estudo. O grupo foi constituído por sete especialistas das áreas de: pecuária, irrigação, agricultura de sequeiro, exploração de recursos minerais, exploração de recursos vegetais, exploração de recursos hídricos e agroindústria.

A vivência no tema, suas diferentes formações e áreas de atuação, além da disponibilidade em participar e contribuir com a pesquisa, por parte dos especialistas, reforçam a construção da metodologia tornando-o mais embasado e robusto.

5.1.1.2 Seleção das atividades econômicas e ações antrópicas

As ações ou alternativas compreendem ao conjunto de elementos sujeitos a avaliação sob o enfoque de vários critérios, a fim de: selecionar-se a melhor, ou pior, classificá-las em categorias preexistentes, ordená-las ou descrevê-las, segundo a questão da problemática, que também influencia a escolha da metodologia multicritério a ser utilizada, conforme foi abordado no Capítulo 4.

Foram selecionadas as principais atividades econômicas da Região, a partir de informações disponíveis no IBGE (2012).

A partir do levantamento bibliográfico, foram estudadas as ações humanas resultantes de tais atividades, assim como os potenciais impactos resultantes sobre o meio, que tendem a potencializar a degradação ambiental relacionada ao aumento de vulnerabilidade à desertificação (APÊNDICE A).

Foram relacionadas as principais ações antrópicas, isto é, as intervenções humanas sobre o meio natural, resultantes das atividades econômicas (FIGURA 44). Pode-se observar, por exemplo, as relações entre a agricultura irrigada (atividade econômica) como indutora das ações modificadores do meio, como a operação do sistema de irrigação, assim como desmatamento, queimadas e da utilização de agrotóxicos.

Figura 44 – Ações humanas modificadoras do meio ambiente induzidas pelas principais atividades econômicas no Semiárido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

As interações entre os grupos de atividades econômicas¹⁸ com as ações antrópicas relacionadas permitiram uma avaliação qualitativa da contribuição de cada atividade econômica com as ações indutoras do aumento de vulnerabilidade ambiental.

Tais interações foram apresentadas a especialistas, que avaliaram as interações e, em conjunto com o autor do trabalho, selecionaram as ações mais significativas como indutoras do processo de desertificação no Semiárido.

As ações selecionadas como principais indutoras dos impactos ambientais relacionados ao aumento de vulnerabilidade à desertificação foram:

- 1) Desmatamento;
- 2) Queimadas;
- 3) Manejo do sistema de irrigação;
- 4) Substituição da vegetação nativa e
- 5) Sobrepastoreio.

¹⁸ A delimitação do setor industrial foi necessária, pois para cada tipo de indústria, os impactos são diferenciados, e não havia avaliadores disponíveis para as demais. Optou-se pela agroindústria, em função também da expressividade da mesma na Região.

A seleção das cinco ações permitiu a estruturação de um problema multicritério, relacionado a um número discreto de alternativas, ao contrário da análise multiobjetivo (CAPÍTULO 4).

Na sistematização das ações foram consideradas apenas as que contribuíssem para a geração de impactos adversos, uma vez que se objetiva estimar o risco de aumento de vulnerabilidade, e a medida de risco procura estimar o efeito negativo de uma ação.

Exclui-se, portanto, as ações que representassem uma potencial contribuição para redução da vulnerabilidade. Como por exemplo, na exploração de recursos hídricos, notadamente às obras hidráulicas, foram avaliados somente os efeitos adversos de tal exploração, excluindo-se, o efeito benéfico do aumento da oferta de água, que tende a contribuir inicialmente para redução de vulnerabilidade à desertificação¹⁹.

5.1.1.3 Seleção dos critérios de avaliação

Um critério é uma ferramenta para avaliar e comparar ações conforme um determinado ponto de vista. O critério pode ser representado por uma função g , definida no conjunto A , que atribui valores de ordenação do conjunto A , e representa as preferências do decisor (VINCKE, 1992).

Os critérios foram selecionados para ser utilizados como parâmetros de avaliação dos impactos referentes ao conjunto das cinco ações antrópicas sobre o meio ambiente, resultantes das atividades econômicas, e relacionadas ao aumento de vulnerabilidade à desertificação.

A partir da definição dos critérios, serão realizadas comparações entre as ações relacionadas aos mesmos, por parte do decisor, na etapa posterior de avaliação.

Inicialmente, a partir de revisão de literatura, foram relacionados indicadores de desertificação (ABRAHAM, BEEKMAN, 2006; BRASIL, 2004;

¹⁹ Considera-se que, posteriormente, havendo a instalação de projetos de irrigação, as obras hidráulicas passam a contribuir também com o aumento da vulnerabilidade à desertificação, não tendo, portanto, apenas efeitos positivos.

MATALLO JÚNIOR, 2001), resultantes dos impactos das ações antrópicas nos meios biótico, abiótico e antrópico.

Os indicadores de desertificação a serem selecionados devem ajudar a compreender o fenômeno de forma clara e objetiva, facilitar a estruturação do problema e a tomada de decisão por parte dos decisores.

Tais critérios foram também submetidos a especialistas, que contribuíram para avaliar as seguintes questões:

- a) Se havia relação entre as ações antrópicas e impacto no indicador selecionado.
- b) Se o efeito indicava aumento ou diminuição na vulnerabilidade à desertificação, isto é, efeito benéfico ou adverso.

Os especialistas consultados para opinar e validar sobre os critérios relacionados aos três meios: biótico, abiótico e antrópico, variaram conforme suas áreas de formação.

Os critérios deveriam ser reduzidos a um grupo que facilitasse a avaliação por parte dos decisores, assim como o tratamento posterior dos dados, e ao mesmo tempo, deveriam abrangentes para permitir uma avaliação eficaz.

Considera-se que os critérios selecionados constituem uma família coerente, com condições de atender ao objetivo, se os mesmos possuem:

Exaustividade: compreendem todos os aspectos relevantes para avaliação;
Coesão: para qualquer alternativa, a melhoria do seu desempenho em um critério não pode piorar a sua apreciação global, quando o desempenho do restante dos critérios permanece inalterado;
Não redundância: a remoção de qualquer critério implicaria na não satisfação da exaustividade ou da coesão (DIAS, 2000).

Observa-se que esta fase da estruturação representa a mais complexa e exaustiva do processo, pois envolve, além da análise de cada candidato a critério, a pesquisa sobre os parâmetros de medida que poderiam ser utilizados.

A dificuldade de ser obter tais parâmetros está relacionada ao grande número de indicadores relacionados aos estudos de degradação ambiental/desertificação, relacionados, muitas vezes, aos mesmos efeitos, assim como suas avaliações e medidas diversas.

Concluída a etapa de avaliação, os critérios selecionados para o estudo, e suas descrições, são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Descrição dos critérios relacionados aos impactos das ações antrópicas nos meio abiótico, biótico e antrópico.

Meio	Critério	Descrição
Abiótico	Aumento da erosão do solo	A erosão é o resultado da ação hídrica e/ ou eólica, que remove as partículas mais finas do solo. Solos com baixa cobertura vegetal e declividade acentuada potencializam a erosão. O aumento da erosão está relacionado à diminuição da espessura da camada fértil de solo, assoreamento de reservatórios e arraste de outros elementos, tais como adubos e fertilizantes, para os corpos hídricos. (ARAÚJO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B, SAMPAIO, 2008; FROTA, 2012; MELO <i>et al.</i> , 2008; SRINIVASAN, SANTOS, GALVÃO, 2003)
	Aumento da compactação do solo	A compactação é a compressão de um solo não saturado, que resulta na redução do volume e aumento da densidade, e que depende de aspectos do solo incluindo a composição mineralógica, textura, estrutura, teor de umidade e matéria orgânica; assim como da energia de compactação aplicada ao solo, incluindo o impacto das gotas de chuva, o pisoteio e uso de equipamentos agrícolas. Com a compactação aumenta-se a resistência à penetração de raízes, há a redução da porosidade e da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água (GALINDO <i>et al.</i> 2008; MANTOVANI, 1987; MELO <i>et al.</i> , 2008, REICHERT, SUZUKI, REINERT, 2007; SUZUKI <i>et al.</i> , 2007).
	Aumento da salinização do solo	A salinização é um processo que ocorre basicamente pelo acúmulo de sais solúveis e/ ou sódio trocável no complexo de troca do solo. Quanto mais compacto o solo, maior tendência ao processo. Chuvas concentradas e intensas nas regiões com baixa precipitação também aumentam a vulnerabilidade. A salinização resultante da ação antrópica é resultante principalmente da irrigação agrícola realizada com manejo deficiente, que pode elevar o nível de sais no solo (AMARAL, 2011; ARAÚJO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B, SAMPAIO, 2008; BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 1999; PRIMAVESI, 2002).
	Aumento da temperatura ambiental	O aumento da temperatura da superfície está relacionado à redução da cobertura vegetal, assim como da redução da água dos reservatórios (LOPES <i>et al.</i> , 2010). As mudanças climáticas tendem ao aumento da temperatura. Com a elevação da temperatura, aumenta-se a taxa de evapotranspiração, aumentando-se a aridez, e dessa forma, contribuindo-se para o aumento da vulnerabilidade à desertificação. Continua.

	Diminuição da precipitação	Assim como relacionado ao aumento de temperatura, mudanças e eventos climáticos tendem a influenciar na redução dos níveis de precipitação e na regularidade. A possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade à desertificação (MARENGO, 2008)
Biótico	Diminuição da cobertura vegetal	Com a redução da cobertura vegetal, atenuam-se os processos erosivos, de compactação, de aumento da temperatura, isto é, os impactos no meio abiótico são potencializados. Potencializa-se a redução da biodiversidade florística e faunística, impactando no equilíbrio ecológico e na oferta de recursos naturais importantes para a geração de renda (DRUMONT, 2000).
Antrópico	Redução da produção e produtividade agropecuária	As reduções de produção e produtividade agropecuária têm reflexo direto sobre os indicadores econômicos, sociais e ambientais, que potencializam o aumento da vulnerabilidade à desertificação, conforme modelo de equilíbrio de baixo nível apresentado no Capítulo 2.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.1.1.4 Definição dos cenários de avaliação

Foram definidos dois cenários e duas situações para a avaliação da vulnerabilidade à desertificação, por parte dos especialistas, quando da introdução da atividade econômica:

1. O primeiro cenário compreendeu áreas de alta susceptibilidade à degradação ambiental, com solos frágeis, baixas taxas de precipitação e elevados índices de desmatamento. Para que o decisor compreendesse tal cenário, foi sugerido que o mesmo avaliasse a atividade econômica sendo desenvolvida na região de Irauçuba, pertencente a um dos núcleos de desertificação do Ceará, e mencionado no Capítulo 3 (QUADRO 2).
2. O segundo cenário compreendeu uma área de baixa susceptibilidade à degradação ambiental, contrariamente ao primeiro cenário. Foi sugerido ao decisor que o mesmo avaliasse hipoteticamente a atividade econômica sendo desenvolvida no município de Baturité, considerado de baixa vulnerabilidade à desertificação (QUADRO 2).

Para cada cenário foram definidas duas situações a serem avaliadas por parte do decisor:

- a) A atividade econômica sendo realizada no meio sem medidas de mitigação (SMM), para atenuar os impactos ambientais adversos das ações antrópicas.
- b) A atividade econômica sendo realizada com a presença de medidas de mitigação (CMM), que poderiam incluir técnicas de manejo, adaptação, dentre outras estratégias, inclusive políticas, na redução dos impactos ambientais.

Para que o decisor compreendesse tal situação, foram apresentadas medidas de mitigação dos impactos sobre os meios, como por exemplo, a drenagem de áreas irrigadas, a limitação de unidades animais por área explorada, dentre outras (Apêndice B).

5.1.1.5 Definição de escala de preferências

Uma das etapas mais difíceis da estruturação de problemas com múltiplos critérios é a de estabelecer os sistemas de valores dos decisores (DIAS, 2000). Tais valores são denotados através de uma estrutura de pontos de vista para avaliar-se as ações ou alternativas integrantes do processo decisório.

Como os critérios utilizados no método proposto são de natureza qualitativa, faz-se necessário a construção de escala de avaliação para que o decisor visualize o contexto decisório e opine sobre a questão levantada.

Deve-se converter a escala de desempenhos de cada critério numa escala de valor, que considere as diferenças de atratividade, e posteriormente, transformar a escala de valores em uma escala de utilidade para o decisor, a fim de que o mesmo possa expressar seu ponto de vista.

Na construção da escala de valores observou-se que há uma grande dificuldade em obter-se na literatura informações sobre parâmetros para quantificação de indicadores relacionados ao tema. A dificuldade está relacionada à

qual atribuir critério de escala, por exemplo, que taxa de compactação pode ser considerado um impacto de alta magnitude. Ou então, que nível de albedo irá representar, por exemplo, que houve uma redução da cobertura da vegetação de impacto local ou regional.

A quantificação de indicadores e a relação com os atributos dos impactos relacionados à degradação ambiental/ desertificação apresentam complexidade. Metodologia proposta por Dill (2007) consiste na criação de parâmetros e pesos relacionados à degradação ambiental em bacias hidrográficas; por exemplo, no critério erosão foi considerada uma escala de valor ponderado de 1 a 4; o solo sem erosão recebeu nota 1, inferior a 20% (nota 2), entre 20 e 50% (nota 3) e maior que 50% (nota 4). Silva (2012) utilizou sistemática semelhante para construção de um índice de remoção de barragens no Semiárido apoiado pela metodologia Macbeth.

No entanto, o estabelecimento de escalas e pesos quando se trata de avaliações que não são realizadas em áreas físicas específicas, como o caso do presente trabalho, inviabiliza a adoção de parâmetros tão específicos.

Partindo-se da consideração de que as opiniões de especialistas no tema podem ser utilizadas na presente avaliação, assim como é realizado nas avaliações dos estudos de impactos ambientais (EIA), optou-se pelo apoio multicritério à decisão para estruturar tal avaliação.

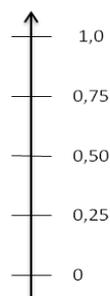
Procurou-se construir um descritor para cada critério, atribuindo a cada ação uma nota de desempenho (nível de impacto) em escala quantitativa contínua, a fim de ser utilizada na avaliação relacionada à ação em relação ao impacto, conforme será apresentado adiante.

Foram estabelecidas relações de preferência segundo o ponto de vista que o critério representa, associando-se um sentido de preferência:

- a) Crescente: representa o critério a maximizar e, portanto, quanto maior o valor da escala, maior a vulnerabilidade à desertificação.
- b) Decrescente: representa o critério a minimizar e, portanto, quanto menor o valor da escala, menor a vulnerabilidade à desertificação.

A escala compreende ao menor valor (zero) ao maior valor (um) da ação antrópica sobre o impacto, que devem representar a preferência do decisor no processo de avaliação (FIGURA 45).

Figura 45 – Escala contínua de preferências na avaliação ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tal metodologia objetiva transformar informações qualitativas e imprecisas, relacionadas às preferências dos decisores a serem consultados, em dados quantitativos, a fim de poder-se realizar a avaliação.

Na avaliação inicial deve-se considerar que as cinco ações a serem avaliadas correspondem às alternativas discretas do problema decisório.

Uma segunda escala foi construída para avaliar, também por parte de decisores a serem consultados, da relação entre a atividade econômica e as ações antrópicas relacionadas à mesma.

A escala recebeu a gradação apresentada a seguir (QUADRO 6).

Quadro 6 – Escala de atributos para quantificar o impacto das atividades econômicas como indutoras das ações antrópicas relacionadas à desertificação.

Valor	Descrição
0 (Zero)	Quando se considera nenhum impacto da ação, isto é, o efeito é nulo.
1 (Um)	Quando o impacto representa efeito baixo.
2 (Dois)	Quando o impacto é considerado médio.
3 (Três)	Quando o impacto apresenta um efeito considerado grande.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Portanto, foram criadas duas escalas de valores, a serem utilizadas pelos decisores em duas modelagens de preferências:

- a) Na avaliação da ação antrópica em relação ao critério abordado;
- b) Na avaliação da atividade econômica em relação às ações antrópicas resultantes.

Como as escalas são distintas, procedeu-se uma fase posterior de normalização das mesmas.

Selecionadas as ações (causas) e os critérios (impactos decorrentes), a próxima etapa do processo é a construção da matriz de decisão, descrita a seguir.

5.1.1.6 Construção da matriz de decisão

Verifica-se a utilização de matrizes de decisão em avaliações de impactos ambientais de projetos, a exemplo do Modelo da Matriz de Leopold, concebido em 1971, para projetos de mineração onde nas linhas são relacionadas às intervenções no meio, e nas colunas aos impactos, sendo possível obter-se 8.800 interações. Tal matriz já foi adaptada para vários tipos de empreendimentos (SÁNCHEZ, 2006).

Na presente construção metodológica, nas linhas de cada matriz estão descritas as ações antrópicas, isto é, as intervenções que mais representam pressão sobre os ecossistemas, e nas colunas estão relacionados os impactos (critérios) potenciais a serem verificados nos meios abiótico, biótico e antrópico (FIGURA 46).

Figura 46 – Matriz de impactos para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.

Impacto →	Abiótico					Biótico	Antrópico
Ação antrópica ↓	Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	Diminuição da precipitação	Diminuição da cobertura vegetal	Redução da produção e produtividade agropecuária
Desmatamento							
Queimadas							
Substituição da vegetação nativa							
Manejo da água de irrigação							
Sobrepastoreio							

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A construção da matriz de decisão é necessária para que sejam avaliados os impactos (critérios) em relação a cada ação antrópica do conjunto discreto, definidas como potenciais causadoras de aumento de vulnerabilidade à desertificação.

Na matriz é possível identificar as relações entre as ações e os impactos (critérios) relacionados ao problema. A inserção das ações e critérios previamente selecionados na matriz de avaliação/ decisão é visualizada na Figura 46.

5.1.2 Realização das entrevistas

A fim de construir as funções do modelo multicritério, foram realizadas, inicialmente, entrevistas com três especialistas, para serem obtidos os valores de preenchimento da matriz, assim como a avaliação de pesos das ações e dos meios estudados. A forma e a maneira com as quais o problema é apresentado ao decisor têm grande influência nas suas respostas (MOISSEAU, 1992)

A entrevista entre o analista de decisão e o decisor deve permitir o levantamento das preferências do segundo em relação aos atributos selecionados na análise, de forma mais real possível, de modo que a função utilidade obtida represente uma medida das atitudes do decisor em situações de incerteza e risco. O decisor deve estar ciente dos objetivos da entrevista e motivado a colaborar com a resolução do problema (GOMES, L.; GOMES, C; ALMEIDA, 2006).

Na preparação do decisor para a avaliação das preferências, foi apresentado ao mesmo o objetivo e a estrutura do problema de decisão. Foi esclarecido que não se procura por uma preferência correta, já que a mesma não existe quando se modela as preferências em um processo decisório. O que se objetiva é captar a estrutura de preferência por parte do decisor.

No primeiro momento, houve a apresentação do objetivo da consulta a cada especialista do grupo dos quatro decisores. As entrevistas foram realizadas separadamente, conforme a disponibilidade dos mesmos.

Para proceder ao preenchimento da matriz de impactos, no formato de planilha Excel, os decisores contaram com as informações do estudo e caracterização dos parâmetros e escolha das escalas dos atributos, esclarecidos pelo Autor do Trabalho.

Procurou-se, quando possível, acompanhar o preenchimento por parte do decisor, respondendo as dúvidas levantadas, tendo-se o cuidado para não emitir opiniões, que pudessem influenciar na decisão do entrevistado.

No decorrer do processo, quando o decisor sentia necessidade de reavaliar sua preferência, o que é perfeitamente normal, devem ser eliminadas as contradições, até que o mesmo sinta que o problema está perfeitamente estruturado em sua mente, o que representa um dos objetivos do MAUT (DIAS, 2000).

Moisseau (1992) considera que todo método de avaliação dos critérios, em relação a estabelecer sua importância inclui uma fase de diálogo entre o avaliador (*l'homme d'étude*) e o decisor (*décideur*), sendo necessário que o diálogo transcorra em um contexto de compreensão mútua, onde haverá a interpretação das perguntas por parte do decisor e interpretação das respostas por parte do analista.

No segundo momento, foram realizadas as entrevistas com especialistas nas atividades econômicas selecionadas para a construção do método, utilizando-se a escala 2 (QUADRO 6). O procedimento de realização das entrevistas seguiu os mesmos critérios em relação às entrevistas iniciais.

5.1.3 Escolha do método multicritério

A partir das características do modelo de avaliação de vulnerabilidade, optou-se pela utilização da Teoria Utilidade Multiatributo (MAUT)²⁰, adaptando-a com elementos da Escola Francesa, como o construtivismo, já que o objetivo não é encontrar uma solução ótima, mas um ordenamento das ações.

A MAUT visa à simplificação da tarefa de construir funções-utilidade, quando as ações a se avaliar são descritas por múltiplos atributos ou pontos de vista. A atenção do decisor é direcionada para cada atributo separadamente e posteriormente na agregação dos atributos (DIAS, 2000).

A MAUT permite definir uma medida de valor global de cada ação, indicadora de sua posição relativa em um conjunto ordenado, agregando os seus desempenhos em vários critérios. E podem ser utilizados em problemas de escolha ou ordenação, na qual as ações são ordenadas segundo o seu desempenho global.

Pretende-se construir funções-utilidade referentes a cada critério e depois agregá-las em uma função de utilidade global, a partir do método de agregação aditivo (EQUAÇÃO 3).

²⁰ No Capítulo 3 foi introduzida uma revisão sobre a mesma.

5.1.4 Preenchimento da matriz de impactos: 1ª modelagem de preferências

Segundo a Escola Americana, o valor cardinal de uma alternativa a_i é formado por um conjunto de valores $v_{1i}, v_{2i}, \dots, v_{ni}$ assumidos pela alternativa nos parâmetros avaliados (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006). Caso determinado critério seja considerado pouco importante diante dos demais, ele receberá um valor inferior. Dessa forma, permite-se a definição de uma função utilidade que agrega os valores encontrados.

Durante a realização da entrevista, para realizar a primeira modelagem de preferências previstas na metodologia (Figura 43), solicitou-se a cada um dos três decisores que realizasse o preenchimento da matriz de decisão, elaborada em Planilha de Excel (FIGURA 47).

O decisor deveria avaliar 'o impacto de cada ação antrópica (linha), em relação a cada critério de avaliação (coluna), compondo o conjunto dos 35 pares ordenados $\{(A_1, C_1), (A_2, C_1), \dots, (A_5, C_1), \dots, (A_1, C_7), (A_2, C_7), \dots, (A_5, C_7)\}$.

O decisor tomaria por base a escala de 0 a 1 (FIGURA 45). Quando fosse constatado, por parte do decisor, não haver nenhuma interação entre a ação e o critério analisado, o valor deveria ser 0; o valor 1 representaria o impacto máximo da ação sobre o item julgado, valores intermediários entre 0 e 1 também poderiam ser atribuídos. A atribuição valores requer uma série de julgamentos por parte do decisor.

Definida sua preferência, é perfeitamente aceitável que o decisor sinta necessidade de reavaliá-la. É inclusive um dos objetivos da teoria da utilidade, que o decisor elimine as contradições e que ao final, com o problema perfeitamente estruturado em sua mente, consiga perceber claramente a influência de cada atributo sobre a tomada de decisão (GOMES, L.; GOMES, C.; ALMEIDA, 2006).

Em uma avaliação inicial (FIGURA 47), foram estimados os impactos das cinco ações antrópicas (linhas) em relação ao critério relacionado ao aumento da erosão do solo (coluna), obtendo-se a avaliação intra-critério $\{(A_1, C_1); (A_2, C_1); (A_3, C_1); (A_4, C_1); (A_5, C_1)\}$. Observa-se que o decisor considerou as ações queimadas e desmatamento como os mais impactantes em relação ao critério avaliado (0,8); no mesmo modo, o mesmo avaliou que não havia relação entre sobrepastoreio sobre tal critério, atribuindo, desse modo, valor igual a 0. A

substituição da vegetação nativa e manejo da irrigação receberam valores intermediários.

A avaliação intra-alternativas (ações antrópicas) pode ser utilizada para a construção das preferências parciais. Cada alternativa i é avaliada em um critério j (impacto), levando à construção da função $v_j(a_i)$, devendo-se realizar uma abordagem não compensatória, isto é, cada par ordenado deve ser analisado isoladamente, sem influenciar as demais interações.

O decisor deveria atribuir os valores conforme sua preferência, buscando sua maior satisfação (utilidade).

A avaliação das demais ações e critérios foi realizada, concluindo-se o preenchimento da matriz de impactos por parte de cada um dos três decisores, a fim de comparar-se as visões de cada um sobre o tema.

Tal estimativa recebeu a denominação de A_iC_j , isto é, o impacto da ação antrópica em relação ao atributo (critério).

Figura 47 – Planilha de avaliação de impactos elaborada em planilha do Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1			ABIÓTICO				BIÓTICO ANTRÓPICO				
2			Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	Diminuição da precipitação	Diminuição da cobertura vegetal	Redução da produção e produtividade agropecuária		
3		Desmatamento	0,80	0,80						1,0	
4		Queimadas	0,80							0,75	
5		Substituição da vegetação nativa	0,50							0,50	
6		Manejo da água de irrigação	0,30							0,25	
7		Sobrepastoreio	0,00							0	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.1.5 Avaliação de vulnerabilidade à desertificação em relação à atividade econômica: 2ª modelagem de preferências

Objetivando quantificar o impacto das atividades econômicas sobre as ações antrópicas (FIGURA 48), atuando para o aumento de vulnerabilidade à

desertificação, foi desenvolvida uma segunda modelagem de preferências (FIGURA 42).

Tal modelagem recebeu a denominação de $I_k A_i$, isto é, o impacto da atividade econômica em relação à ação antrópica avaliada, onde o índice K refere-se ao conjunto das sete atividades econômicas consideradas no modelo.

Utilizando-se a escala que assumia os valores 0, 1, 2 e 3 (QUADRO 6), solicitou-se ao decisor consultado, que incluíam especialistas nas atividades econômicas selecionadas para o estudo (item 4.1.3), que avaliasse o impacto das atividades econômicas sobre o conjunto das cinco ações antrópicas definidas no estudo.

Cada interação deveria receber uma nota, de acordo com a estimativa do decisor sobre a contribuição da atividade econômica sobre cada ação. Na simulação feita na planilha em Excel (FIGURA 48), para a atividade pecuária, atribui-se nota 3 (impacto alto) ao sobrepastoreio; isto é, avaliou-se que a pecuária tem uma alta indução à tal ação. Do mesmo modo, como não se observa a relação entre pecuária e o manejo de água na irrigação, considerou-se nota 0 (efeito nulo). As demais ações receberam nota 2 (médio impacto).

Ressalta-se que, para cada atividade econômica, cada avaliador consultado realizou quatro modelagens de preferências: considerando cenários de alta e baixa vulnerabilidade à desertificação, e com a presença de medidas de mitigação (CMM) ou não (SMM), conforme descrito anteriormente (item 4.1.5).

Figura 48 – Atribuição de valor ao impacto da pecuária (atividade econômica) sobre as ações relacionadas ao aumento de vulnerabilidade à desertificação.

	A	B	K	L	M	N	O
1							
2		PECUÁRIA					
3		Desmatamento	2				
4		Queimadas	2				
5		Substituição da vegetação nativa	2				
6		Manejo da água de irrigação	0				
7		Sobrepastoreio	3				
8							
9		ESCALA: 0 (NENHUM), 1 (BAIXO), 2 (MÉDIO), 3 (ALTO)					

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.1.5.1 Avaliação do peso da ação sobre os meios impactados

A fim de construir a função utilidade aditiva para cada atividade, cuja soma fosse igual a 1, foi solicitado ao especialista nas atividades econômicas, que ainda avaliasse qual seria o impacto adverso da atividade econômica sobre cada meio: abiótico, biótico ou biótico, nos dois cenários e com a presença, ou não, de medidas mitigadoras. Deveriam ser atribuídos pesos aos mesmos. Por exemplo, na simulação (FIGURA 49), considerou-se que o impacto da pecuária é maior sobre o meio abiótico (0,7), e de menor influência sobre o meio biótico (0,2) e antrópico (0,1), de modo que o somatório resultasse no valor igual a 1.

Figura 49 - Atribuição do peso impacto da pecuária (atividade econômica) sobre os meios.

PESO DE CRITÉRIOS - AVALIE O PESO DA ATIVIDADE PECUÁRIA SOBRE CADA MEIO	
ABIÓTICO	0,7
BIÓTICO	0,2
ANTRÓPICO	0,1

A SOMA DE SEUS CRITÉRIOS É 1

igada > Urbanização > ObrasHidraulicas > 130%

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.1.6 Construção das funções-utilidade para modelagem das preferências

Para cada critério foi construída a função utilidade aditiva f_1 :

$$f_1(A_i, I_k) = \sum (A_{i=1,\dots,5} C_j) \times (I_k A_{i=1,\dots,5})$$

Onde $A_i C_j$ corresponde ao valor do impacto em relação à ação antrópica, atribuído pelo decisor para cada critério, e $I_k A_i$ corresponde ao impacto da atividade econômica sobre cada ação antrópica.

Uma segunda função, para avaliar o impacto da atividade econômica sobre o aumento da vulnerabilidade à desertificação, compreendeu a função

utilidade aditiva composta f_2 , no qual o p corresponde ao peso da atividade econômica sobre o meio impactado, cujo valor seria atribuído pelo decisor.

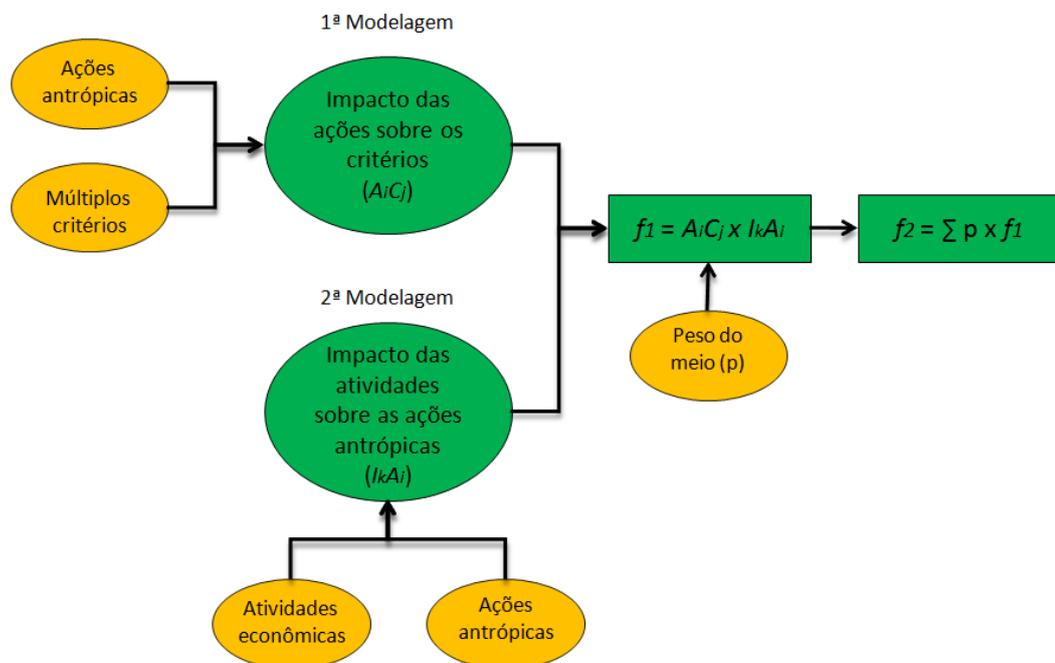
$$f_2(A_i, I_k) = \sum p \times f_1(A_i, I_k)$$

Para cada atividade econômica foram geradas funções (f_2) de vulnerabilidade, uma para o meio abiótico, considerando os cinco critérios de avaliação, uma para o meio biótico, com um critério de avaliação ($i=1$), e outra função referente ao meio antrópico ($i=1$). A soma das três funções resultou no valor de vulnerabilidade da atividade econômica sobre o meio, denominado de Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD).

Procedeu-se a etapa de normalização das escalas utilizadas na avaliação, dividindo-se ao somatório de cada função pela soma do número de critérios.

A Figura 50 ilustra a criação das funções-utilidade, a partir dos conjuntos de dados, para a avaliação de vulnerabilidade à desertificação.

Figura 50 – Criação das funções-utilidade para avaliação de vulnerabilidade à desertificação.



Fonte: elaborado pelo autor (2014).

Para melhor visualização da metodologia, apresentam-se planilhas do cálculo da vulnerabilidade à desertificação (FIGURA 51, 52).

A planilha mostra que a função f_1 é a agregação aditiva da intensidade da ação antrópica sobre o valor do impacto da ação sobre cada critério avaliado (FIGURA 51).

Já para a função f_2 , o peso do meio é inserido, e são calculados valores para os três meio considerados (FIGURA 52). O IVD é o resultado da soma dos três valores calculados. O procedimento de normalização também pode ser visto, onde há a divisão do valor de cada função pelo somatório dos critérios para cada meio.

Figura 51 – Cálculo da função f_1 em planilha Excel.

=(\$K\$3*C3)+(\$K\$4*C4)+(\$K\$5*C5)+(\$K\$6*C6)+(\$K\$7*C7)										
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	ABIÓTICO	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	BIÓTICO	INTRÓPICO		
2										INTENSIDADE DA AÇÃO
3	Desmatamento	0,90	0,80	0,50	0,90	0,80	1,00	0,40		1
4	Queimadas	0,80	0,80	0,50	0,90	0,80	1,00	0,40		0,66
5	Substituição da vegetação nativa	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,50	0,10		1
6	Manejo da água de irrigação	0,10	0,20	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00		0,66
7	Sobrepastoreio	0,30	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80		0,33
8	Soma	1,99	2,02	1,52	1,89	1,73	2,16	1,03		
9										
10										
16										ESCALA: 0 (NENHUM), 1 (BAIXO), 2 (MÉDIO), 3 (ALTO)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 52 – Cálculo da função f_2 normalizada em planilha Excel.

=Q4*((C8+D8+E8+F8+G8)/SOMA(C9:G9))										
	B	C	D	E	F	G	H	I	P	Q
1		Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	ABIÓTICO	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	BIÓTICO	INTRÓPICO		
2										
3	Desmatamento	0,90	0,80	0,50	0,90	0,80	1,00	0,40		PESO DE CRITÉRIOS
4	Queimadas	0,80	0,80	0,50	0,90	0,80	1,00	0,40	abiótico	0,1
5	Substituição da vegetação nativa	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,50	0,10	biótico	0,3
6	Manejo da água de irrigação	0,10	0,20	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	antrópico	0,6
7	Sobrepastoreio	0,30	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80		
8	Soma	1,99	2,02	1,52	1,89	1,73	2,16	1,03		
9		1	1	1	1	1	1	1		
10										
11										Vulnerabilidade sobre cada meio
12										abiótico 0,183
13										biótico 0,648
14										antrópico 0,617
15										Vulnerabilidade geral IVD 1,448
16										

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.2 Resultados da aplicação da metodologia

São apresentados, a seguir, os resultados da avaliação de vulnerabilidade à desertificação utilizando-se a metodologia multicritério construída ao longo do presente capítulo.

5.2.1 Resultados da 1ª modelagem de preferências

Foram consultados três especialistas em desertificação, que atribuíram notas, separadamente, e de acordo com as suas preferências, para avaliar os impactos das ações antrópicas sobre os critérios selecionados.

Os resultados da 1ª modelagem de preferências são mostrados a seguir (FIGURA 53, 54, 55).

Figura 53 – Matriz de impactos preenchida pelo Especialista 1.

	Abiótico					Biótico	Antrópico
	Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	Diminuição da precipitação	Diminuição da cobertura vegetal	Redução da produção e produtividade agropecuária
1. Desmatamento	0,80	0,90	0,20	1	0,80	1	0,30
2. Queimadas	0,80	0,90	0,20	1,00	0,80	1	0,30
3. Substituição da vegetação nativa	0,50	0,40	0,20	0,80	0,60	0,80	0,10
4. Manejo da água de irrigação	0,30	0,20	1	0,00	0,00	0,00	0,40
5. Sobrepastoreio	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50

Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

Figura 54 - Matriz de impactos preenchida por Especialista 2.

	Abiótico					Biótico	Antrópico
	Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	Diminuição da precipitação	Diminuição da cobertura vegetal	Redução da produção e produtividade agropecuária
1. Desmatamento	0,90	0,80	0,50	0,90	0,80	1	0,40
2. Queimadas	0,80	0,80	0,50	0,90	0,80	1	0,40
3. Substituição da vegetação nativa	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,50	0,10
4. Manejo da água de irrigação	0,10	0,20	0,90	0	0	0	0
5. Sobrepastoreio	0,30	0,80	0	0	0	0	0,80

Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

Figura 55 - Matriz de impactos preenchida por Especialista 3.

	Abiótico					Biótico	Antrópico
	Aumento da erosão do solo	Aumento da compactação do solo	Aumento da salinização do solo	Aumento da temperatura ambiental	Diminuição da precipitação	Diminuição da cobertura vegetal	Redução da produção e produtividade agropecuária
1. Desmatamento	1	0,25	0,25	0,25	1	1	0,75
2. Queimadas	0,25	0,25	0,25	1	0,5	1	0,5
3. Substituição da vegetação nativa	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25
4. Manejo da água de irrigação	0,5	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,5
5. Sobrepastoreio	0,5	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

A partir da soma das notas dos critérios relacionados a cada ação indutora da desertificação, isto é, a soma das linhas da matriz de decisão, e ordenando-as em ordem decrescente, observa-se que, para os três especialistas consultados, o desmatamento é a principal ação antrópica responsável pelo aumento de vulnerabilidade à desertificação, seguido pela realização de queimadas, que receberam as maiores notas conforme os julgamentos (QUADRO 7).

Já para as demais ações não existe um consenso, e o julgamento tende a variar conforme a formação de cada especialista; por exemplo, para o Especialista 2, com formação na área agrícola, o manejo da água da irrigação é menos impactante do que para os especialistas 1 e 2, com outras áreas de formação.

As preferências, portanto, variam conforme a formação do decisor; podendo mesmo variar em relação ao próprio decisor. No entanto, o foco da avaliação não está em definir qual a ação mais ou menos impactante na vulnerabilidade à desertificação, mas criar um método simples, onde seja possível traduzir informações subjetivas para construção de funções de valores, e que possa ser replicada em outras avaliações ambientais.

Quadro 7 – Ordenação das ações segundo os julgamentos dos especialistas.

Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
1. Desmatamento	1. Desmatamento	1. Desmatamento
2. Queimadas	2. Queimadas	2. Queimadas
3. Substituição da vegetação nativa	3. Substituição da vegetação nativa	4. Manejo da água de irrigação
4. Manejo da água de irrigação	5. Sobrepastoreio	5. Sobrepastoreio
5. Sobrepastoreio	4. Manejo da água de irrigação	3. Substituição da vegetação nativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

5.2.2 Resultados da 2ª modelagem de preferências

A partir das entrevistas realizadas com os demais especialistas nas suas áreas de atuação, foram definidos os valores de impactos relacionados às atividades econômicas sobre o conjunto das cinco ações antrópicas relacionadas ao aumento de vulnerabilidade à desertificação ($I_k A_i$).

As notas atribuídas, que compreendiam o intervalo de 0 a 3, foram utilizadas para avaliar o conjunto de ações resultantes das principais atividades econômicas do Semiárido, para o aumento da vulnerabilidade à desertificação.

Cada um dos sete decisores atribuiu notas, conforme suas preferências, ao conjunto das cinco ações antrópicas, considerando os dois cenários naturais traçadas: de alta vulnerabilidade (Alta vuln.) e de baixa vulnerabilidade (Baixa vuln.) e a presença de medidas de mitigação (CMM), ou não (SMM). Tais decisores também avaliaram o peso p das atividades econômicas sobre os meios.

Para efeito de avaliação do comportamento do método criado, foram então utilizados os resultados da avaliação de impactos da matriz de decisão, no momento das três avaliações (FIGURA 50, 51, 52), e calculados os valores de vulnerabilidade para cada atividade econômica, a partir da função f_2 .

Os resultados dos indicadores de vulnerabilidade, IVD, que quantificam o risco, isto é, a probabilidade do efeito negativo, de aumento da vulnerabilidade à desertificação, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Indicador de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD) para as principais atividades econômicas do Semiárido.

Atividade econômica	Avaliador	Meio	Alta vuln.		Baixa vuln.	
			SMM	CMM	SMM	CMM
Pecuária	1	Abiótico	0,978	0,614	0,597	0,299
		Biótico	0,875	0,607	1,313	0,752
		Antrópico	0,133	0,066	0,129	0,046
		Total	1,986	1,287	2,039	1,097
	2	Abiótico	0,932	0,561	0,561	0,285
		Biótico	0,796	0,528	1,194	0,693
		Antrópico	0,153	0,073	0,126	0,043
		Total	1,881	1,162	1,881	1,021
	3	Abiótico	0,896	0,503	0,537	0,233
		Biótico	0,896	0,528	1,344	0,693
		Antrópico	0,174	0,099	0,183	0,091
		Total	1,966	1,13	2,064	1,017
Agricultura Irrigada	1	Abiótico	1,055	0,888	0,867	0,523
		Biótico	0,758	0,636	1,107	0,683
		Antrópico	0,213	0,179	0,086	0,05
		Total	2,026	1,703	2,06	1,256
	2	Abiótico	0,996	0,788	0,792	0,475
		Biótico	0,699	0,546	0,972	0,594
		Antrópico	0,173	0,126	0,076	0,046
		Total	1,868	1,46	1,84	1,115
	3	Abiótico	0,841	0,73	0,672	0,401
		Biótico	0,725	0,546	0,934	0,557
		Antrópico	0,383	0,315	0,166	0,099
		Total	1,949	1,591	1,772	1,057
Agricultura de Sequeiro	1	Abiótico	1,086	0,685	0,392	0,123
		Biótico	0,506	0,317	0,739	0,238
		Antrópico	0,133	0,086	0,139	0,04
		Total	1,725	1,088	1,27	0,401
	2	Abiótico	1,051	0,673	0,368	0,109
		Biótico	0,466	0,297	0,66	0,198
		Antrópico	0,173	0,112	0,178	0,05
		Total	1,69	1,082	1,206	0,357
	3	Abiótico	0,739	0,465	0,267	0,089
		Biótico	0,433	0,281	0,594	0,165
		Antrópico	0,283	0,182	0,297	0,099
		Total	1,455	0,928	1,158	0,353

Continua

Atividade econômica	Avaliador	Meio	Alta vuln.		Baixa vuln.	
			SMM	CMM	SMM	CMM
Exploração Mineral	1	Abiótico	0,592	0,391	0,293	0,147
		Biótico	0,4	0,264	0,528	0,264
		Antrópico	0,24	0,158	0,119	0,059
		Total	1,232	0,813	0,94	0,47
	2	Abiótico	0,616	0,407	0,305	0,152
		Biótico	0,4	0,264	0,528	0,264
		Antrópico	0,32	0,211	0,158	0,079
		Total	1,336	0,882	0,991	0,495
	3	Abiótico	0,4	0,264	0,198	0,099
		Biótico	0,4	0,264	0,528	0,264
		Antrópico	0,5	0,33	0,248	0,124
		Total	1,3	0,858	0,974	0,487
Exploração Florestal	1	Abiótico	1,188	0,392	0,792	0,523
		Biótico	0,56	0,185	1,4	0,924
		Antrópico	0,14	0,046	0,07	0,046
		Total	1,888	0,623	2,262	1,493
	2	Abiótico	1,116	0,368	0,744	0,491
		Biótico	0,5	0,165	1,25	0,825
		Antrópico	0,18	0,059	0,09	0,059
		Total	1,796	0,592	2,084	1,375
	3	Abiótico	0,81	0,267	0,54	0,356
		Biótico	0,45	0,149	1,125	0,743
		Antrópico	0,3	0,099	0,15	0,099
		Total	1,56	0,515	1,815	1,198
Exploração de Recursos Hídricos	1	Abiótico	0,52	0,327	0,341	0,246
		Biótico	0,611	0,37	0,506	0,37
		Antrópico	0,166	0,106	0,239	0,158
		Total	1,297	0,803	1,086	0,774
	2	Abiótico	0,486	0,309	0,333	0,232
		Biótico	0,532	0,33	0,466	0,33
		Antrópico	0,199	0,112	0,288	0,168
		Total	1,217	0,751	1,087	0,73
	3	Abiótico	0,491	0,31	0,333	0,233
		Biótico	0,565	0,363	0,532	0,363
		Antrópico	0,249	0,165	0,349	0,248
		Total	1,305	0,838	1,214	0,844

Continuação

Atividade econômica	Avaliador	Meio	Alta vuln.		Baixa vuln.	
			SMM	CMM	SMM	CMM
Agroindústria	1	Abiótico	0,348	0,172	0,598	0,348
		Biótico	0,125	0,059	0,492	0,304
		Antrópico	0,455	0,257	0,514	0,248
		Total	0,928	0,488	1,604	0,9
	2	Abiótico	0,331	0,154	0,55	0,317
		Biótico	0,116	0,05	0,432	0,264
		Antrópico	0,416	0,257	0,514	0,231
		Total	0,863	0,461	1,496	0,812
	3	Abiótico	0,322	0,178	0,493	0,267
		Biótico	0,132	0,058	0,432	0,248
		Antrópico	0,693	0,374	0,871	0,495
		Total	1,147	0,61	1,796	1,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Conclusão.

Os resultados da Tabela 3 são muito parecidos, com correlação próxima de 1, segundo o ponto de vista dos decisores 1, 2 e 3.

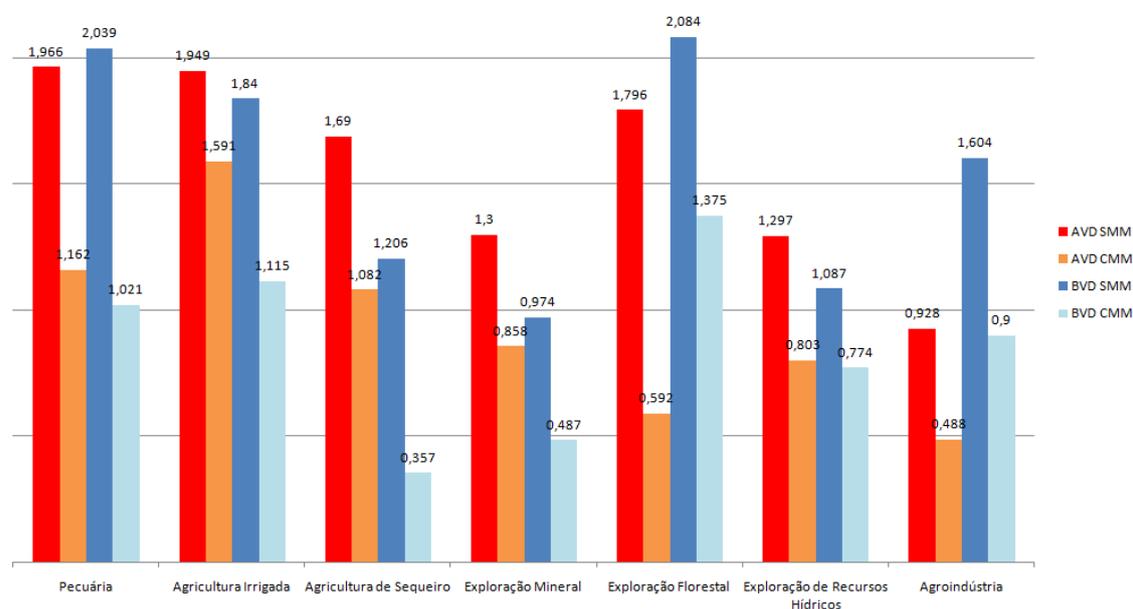
Além disso, foi avaliado que o efeito das atividades agropecuárias e florestais é maior no meio abiótico. Em relação aos valores do IVD, observa-se que tais grupos de atividades econômicas geraram valores maiores em relação às demais.

Considera-se que, se tivessem sido feitas avaliações com outro grupo de sete especialistas nas atividades econômicas, os resultados poderiam apresentar maiores discrepâncias; no entanto, mais uma vez reforça-se a viabilidade da metodologia como objetivo principal, o que foi comprovado a partir dos resultados apresentados.

Ademais, a partir dos índices gerados (IVD) para as atividade econômica, segundo as preferências de cada avaliador, foram calculadas as medianas de cada conjunto de atividades e segundo os cenários projetados.

Os valores das medianas geraram um gráfico (FIGURA 56), que mostra os valores dos índices de vulnerabilidade para os dois cenários – com alta e baixa vulnerabilidade à desertificação, assim como da análise da introdução de medidas mitigadoras, ou não, em ambos os cenários.

Figura 56 – Medianas do IVD para as atividades econômicas em áreas de alta vulnerabilidade à desertificação (AVD) e de baixa vulnerabilidade à desertificação (BVD), com a presença de medidas mitigadoras (CMM) e sem medidas mitigadoras (SMM).



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Os resultados mostram que em áreas de alta vulnerabilidade à desertificação (AVD), e com a introdução de ações antrópicas, sem caráter conservacionista, isto é, que atenuem os impactos (SMM), as atividades econômicas responsáveis pelos maiores riscos, isto é, o IVD são a pecuária (1,966) e a agricultura irrigada (1,949).

Já em áreas de baixa vulnerabilidade à desertificação (BVD), a exploração florestal realizada sem manejo adequado (SMM) representa o maior risco de aumento de vulnerabilidade à desertificação (2,084).

As atividades econômicas pecuária, exploração florestal e agroindústria tiveram maiores índices nas áreas de baixa vulnerabilidade à desertificação e sem a presença de medidas mitigadoras em relação às áreas de alta vulnerabilidade. Os decisores avaliaram que os impactos ambientais ao se introduzir uma atividade econômica em uma área mais vulnerável, e em muitos casos, já degradada, são menores em relação a uma área de baixa vulnerabilidade, que sugere uma maior diversidade e estabilidade dos ecossistemas.

Observa-se que a introdução de medidas de mitigação (CMM), nas duas áreas projetadas no estudo poderá, segundo os especialistas consultados,

representar uma queda significativa de tais indicadores de vulnerabilidade, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Redução (%) do IVD quando da introdução de medidas de mitigação (CMM) em áreas de alta vulnerabilidade à desertificação (AVD) e em áreas de baixa vulnerabilidade à desertificação.

Atividade econômica	AVD	BVD
Pecuária	40,9%	49,9%
Agricultura Irrigada	18,4%	39,4%
Agricultura de Sequeiro	36,0%	70,4%
Exploração Mineral	34,0%	50,0%
Exploração Florestal	67,0%	34,0%
Exploração de Recursos Hídricos	38,1%	28,8%
Agroindústria	47,4%	43,9%

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

6 ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Reconhecendo a desertificação como um grave problema que afeta as regiões secas, inclusive o Semiárido brasileiro, potencializado pelas mudanças climáticas previstas para cenários futuros, e que resulta em uma alta vulnerabilidade local, foi definida a condição de equilíbrio de baixo nível.

Estudou-se tal equilíbrio sob o enfoque de múltiplos critérios, objetivando uma metodologia, a fim de estimar-se o risco da vulnerabilidade à desertificação.

Os resultados da avaliação mostraram que a introdução de medidas de mitigação tende a diminuir a vulnerabilidade à desertificação.

Por medidas mitigadoras compreende-se não apenas medidas técnicas, utilizadas para promover a redução da vulnerabilidade à desertificação, de forma a atuar na quebra do círculo vicioso descrito no equilíbrio de baixo nível, sendo apresentadas a seguir.

6.1 Estratégias para redução da vulnerabilidade

No ponto de vista de Nelson, Souza Filho e Finan (2011), a avaliação da vulnerabilidade das *drylands*, baseada apenas nas características biofísicas, recaem somente na repetição de abordagem, não considerando aspectos culturais e de identidade das pessoas que vivem nessas regiões, tratando superficialmente das questões da adaptação.

Um conhecimento ecológico e ambiental das regiões semi-áridas é crítico para que haja uma adaptação humana bem-sucedida, mas o valor desse conhecimento depende de sua relevância para determinadas sociedades e culturas (NELSON; SOUZA FILHO; FINAN, 2011, p.1)

Sobre a adaptação em tais regiões, Nelson (2005), ao estudar a vulnerabilidade à seca no Ceará, verificou que as famílias não são totalmente passivas ao fenômeno climático; pelo contrário, elas empregam uma série de

estratégias para minimizar sua exposição e sensibilidade à seca, concentrando seus esforços nas variáveis que podem controlar.

A partir da análise de condicionantes que induzem a proposição da existência do equilíbrio de baixo nível no Semiárido (FIGURA 25), relacionando características naturais, pobreza e degradação ambiental, associado ao aumento da vulnerabilidade à desertificação, verificou-se que as chamadas medidas de mitigação (CMM), podem surtir um efeito positivo em relação à diminuição do risco estimado (TABELA 4).

Foi considerado no Capítulo 3, que a transferência de renda, a partir da concessão de bolsas, pensões e transferências aos municípios, não consegue melhorar significativamente os indicadores regionais, agravando a chamada “economia sem produção”, e que acaba refletindo na condição de equilíbrio de baixo nível.

No presente enfoque, portanto, quais medidas poderiam reduzir a vulnerabilidade à desertificação? Tais elucidações são importantes, uma vez que, com o aumento da vulnerabilidade, indicadores econômicos, ambientais e sociais se deterioram. Como exemplo, cita-se a agricultura de sequeiro do Ceará, especificamente as culturas de milho e feijão, nas quais a produtividade decresce, apesar do aumento da área plantada e dos incentivos governamentais, conforme apresentado no Capítulo 3.

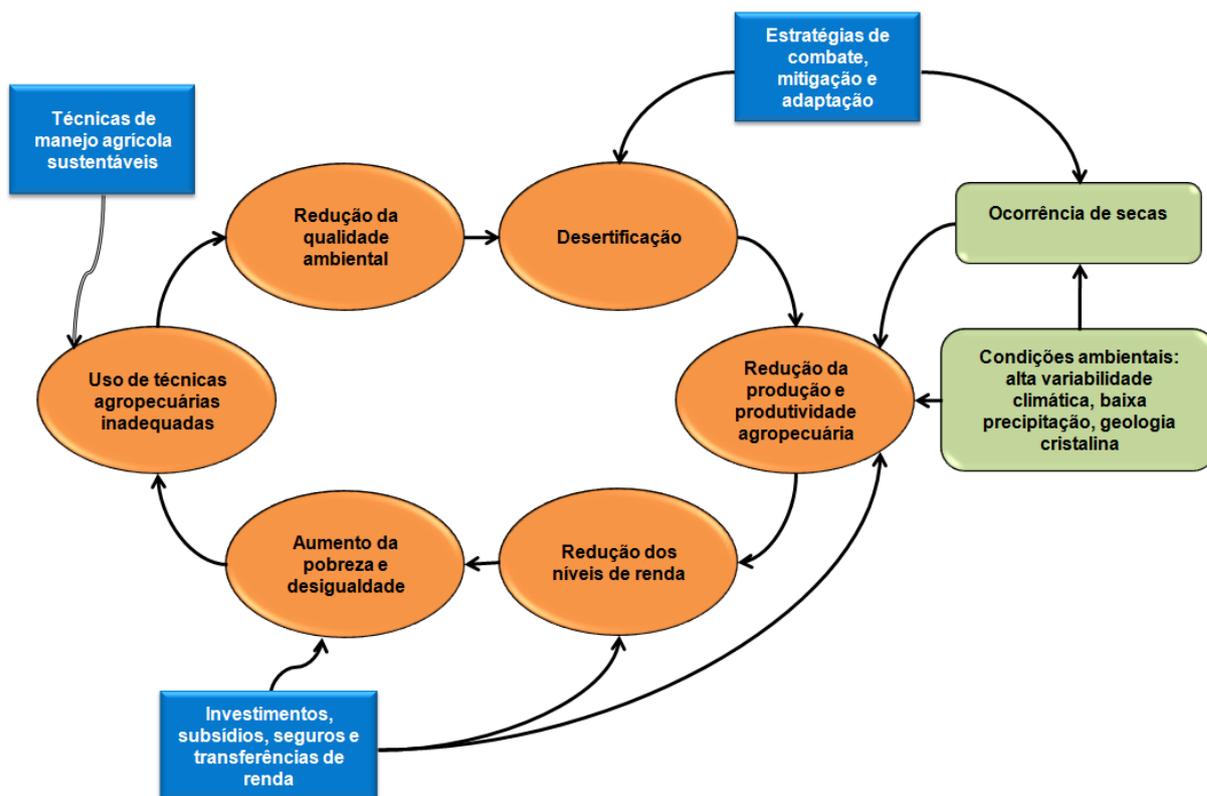
A Figura 57 mostra o equilíbrio de baixo nível sofrendo a influência de variáveis externas, inclusive das transferências de renda. Na concepção deste trabalho, tais variáveis, consideradas ações ou estratégias, que foram definidas como CMM, de intensidade, duração e abrangência variada, tendem a atuar no ciclo, combinando efeitos, a fim de contribuir na redução da vulnerabilidade à desertificação.

Reforça-se, portanto, que o termo CMM, apresentado anteriormente, refere-se não apenas a técnicas de manejo sustentável, inerentes a cada atividade econômica, mas ao conjunto de medidas, inclusive adaptativas, políticas e culturais, a fim de reduzir o impacto ambiental provocado pelas atividades econômicas na sua área de abrangência.

São discutidas, a seguir, tais estratégias, algumas utilizadas há séculos, a fim de reduzir a vulnerabilidade, principalmente ao evento climático das secas, e que na presente discussão poderiam atuar também sobre a vulnerabilidade à

desertificação, pois compreendem eventos combinados, influenciados pelas projeções das mudanças climáticas (STRINGER *et al.*, 2009).

Figura 57 – Atuação de estratégias exógenas sobre o equilíbrio de baixo nível.



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

6.1.1 Estratégias de combate, mitigação e de adaptação

A presente discussão segue o direcionamento da UNCCD, que trata conjuntamente da desertificação e ocorrência de secas, pois se compreende que são questões relacionadas, inclusive denotadas no modelo de equilíbrio de baixo nível. Portanto, estratégias relacionadas à secas terão efeito sobre a vulnerabilidade à desertificação.

Especificamente em relação à desertificação, não se consegue visualizar, a partir do PAN Brasil (BRASIL, 2004), quais seriam as reais diretrizes de combate, mitigação ou adaptação, e o que está sendo realizado na prática em termos de

políticas públicas. Viana (2013) concluiu que a principal causa relacionada a tal dificuldade refere-se às condições político-institucionais limitadas para lidar com o tema.

Seguindo a abordagem relacionada ao enfrentamento das secas, verifica-se que é comum atribuir-se à ocorrência de tais eventos, como sendo a principal causa relacionada aos problemas econômicos e sociais do Semiárido (CARVALHO, 1985).

Observa-se que a seca passou a ser considerada como um problema relevante para a Região a partir no século XVIII, com o aumento da população branca e a expansão da pecuária. Para atenuar a fome, a primeira medida adotada pela metrópole foi a de obrigar o cultivo da mandioca como alternativa alimentar (ALVES, 1982). Pode-se então definir tal estratégia, como uma das primeiras políticas públicas de combate à seca, intensificadas ao longo do Século XX.

Segundo Campos (2009), a seca de 1877 foi a grande propulsora das políticas públicas no Semiárido. Nesse período, as populações e os políticos despertaram para a gravidade do tema, e, a partir de então, foram formuladas diversas políticas públicas, dentre elas a construção de infraestrutura hídrica, para promover o desenvolvimento regional.

As estratégias de combate à seca podem ser identificadas como ações emergenciais, prestando socorro às vítimas com alimentos e nas frentes de trabalho, e de infraestrutura hídrica, ou solução hidráulica, no sentido de que o enfrentamento da seca se dá a partir do armazenamento de elevadas quantidades de água, partindo-se então para a construção de reservatórios de grande porte, e de projetos de transposição, a exemplo da transposição do Rio São Francisco.

Verifica-se a abordagem relacionada às secas como uma situação de calamidade pública e das estratégias emergenciais. Neves (2003) descreve o momento no qual o Ceará vivia tempos áureos proporcionados pelas exportações de algodão, e sua capital Fortaleza, se viu, a partir da grave seca de 1877, invadida por multidões de flagelados famintos, em número muito superior à população residente. As estratégias emergenciais consistiram em empregar os retirantes em obras de infraestrutura urbana, assim como o envio de contingentes para trabalhar nos seringais da Amazônia (NEVES, 2001).

Entretanto, em relação às políticas governamentais no Semiárido, Silva (2007), questiona o caráter emergencial, fragmentado e descontínuo dos programas

desenvolvidos em momentos de calamidade pública, denominados de “indústria da seca”. Apesar de sua efetividade questionada, tais políticas ainda são aplicadas e tendem a minimizar, mesmo em um curto espaço de tempo, os efeitos adversos do evento climático.

Uma estratégia de convivência que foi colocada em prática nos últimos anos refere-se à construção de pequenas cisternas, para captação e armazenagem de água de chuva. O público-alvo é constituído por famílias de baixa renda da zona rural, que não disponham de fonte de água ou meio adequado de armazená-la.

A política é executada pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), e executada de forma descentralizada, por meio de convênios, especialmente com instituições privadas, referente ao Programa Um Milhão de Cisternas - AP1MC (Brasil, 2007). Estudos estimaram que a demanda de cisternas no Semiárido seja da ordem de 1,2 milhões; considerando o total de cisternas construídas a ação alcançou, em 2007, 20% do público-alvo.

Ressalta-se a importância do programa voltado à construção de cisternas, não somente em função do desabastecimento de água das comunidades rurais e difusas, assim como da influência sobre a economia local, com a compra dos insumos, e contratação da mão de obra local para a produção das mesmas.

Observa-se ainda o fortalecimento da organização popular de tais famílias; para a mobilização e seleção das famílias é preciso que seja constituída no município uma comissão, formada essencialmente por representantes da sociedade civil organizada e por agentes públicos como professores e agentes comunitários de saúde; sendo estimados em mais de 3.000 lideranças comunitárias em quase todos os municípios do semiárido (SANTANA; ARSKY; SOARES, 2011).

As Figuras 58 e 59 ilustram estratégias de combate e adaptação aos efeitos das secas, que podem repercutir na vulnerabilidade à desertificação.

Figura 58 – Adutora para transferência entre açudes no Ceará.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 59 – Construção de cisternas rurais no âmbito do P1MC.



Fonte: Arquivo pessoal.

Silva (2011) estudou a problemática do abastecimento de água para pequenas comunidades rurais, principalmente naquelas de 3 a 50 famílias, dispersas no Semiárido, e concluiu que a política pública mais viável deveria ser alicerçada a partir da construção do Plano de Águas Municipal (PAM), que consiste numa ação compartilhada entre a sociedade civil e o poder público, para projetar sistemas resilientes sob estresse climático.

6.1.2 Investimentos, subsídios, seguros e transferências

As estratégias referentes a investimentos, subsídios, seguros e transferência de renda são amplas, incluindo desde o repasse de bolsas, pensões e transferências aos municípios, como discutido no Capítulo 2; o pagamento de seguros, utilizados continuamente na ocorrência das secas; assim como o crédito para investimentos, incluindo o Fundo Constitucional do Nordeste (FNE) e o PRONAF, com subsídios diferenciados para o Semiárido.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), em seu artigo 159, inciso I, alínea "c", criou o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), além dos Fundos Constitucionais de Financiamento do Norte (FNO) e do Centro-Oeste (FCO), objetivando transferir 3% de recursos da arrecadação federal, incluindo o imposto de renda e o imposto sobre produtos industrializados, para financiamento de atividades produtivas nas tais regiões brasileiras.

O FNE constitui o fundo que recebe maior percentual das transferências (1,8%), enquanto os demais recebem igualmente 0,6%. O dispositivo constitucional foi regulamentado a partir da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989 (BRASIL, 1989). Os recursos do FNE são destinados aos Estados do Nordeste, além de áreas de Minas Gerais e Espírito Santo, incluídas na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os municípios inseridos no Semiárido possuem condições diferenciadas na concessão dos financiamentos.

A referida Lei utilizava como critério para classificação do município na região semiárido a precipitação média anual igual ou inferior a 800 mm, de acordo com portaria da SUDENE. Em 2005, a partir da institucionalização um grupo de trabalho técnico coordenado pelo Ministério da Integração, que tomou como base não apenas o índice pluviométrico abaixo de 800 mm, mas também o índice de aridez de até 0,5 e o risco de seca maior de 60%, entre os anos de 1970 e 1990, houve uma nova delimitação do Semiárido. Foram incluídos novos municípios do nordeste e do norte de Minas Gerais. A área de Semiárido aumentou de 892.309,4 km² para 969.589,4 km², totalizando 1.133 municípios que passaram a ter as tais condições diferenciadas do FNE (BRASIL, 2005).

A prioridade dos financiamentos por parte do FNE é a região semiárida, que recebe 50% do montante dos recursos anuais, e para onde foram destinados, entre 1989 a 2011, R\$ 35,1 bilhões. Em 2009, os recursos financeiros aplicados através do FNE atingiram R\$ 8,8 bilhões, com destaque para o setor rural, que representou 32,4% do total dos financiamentos aprovados para a Região (BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 2012). Dessa forma, mesmo com as suas vulnerabilidades climática e ambiental, que dificultam o desenvolvimento da agropecuária, há bastante incentivo ao desenvolvimento do setor.

No enfoque de crédito subsidiado, surgiu, em 1996, o Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF), disponível também para o Semiárido. Como setor com dificuldade de acesso ao crédito, a agricultura familiar passou a ser alvo de uma política pública específica a partir da criação desse Programa, cuja finalidade seria promover o desenvolvimento sustentável do segmento rural constituído pelos agricultores familiares, de modo a propiciar-lhes o aumento da capacidade produtiva, a geração de empregos, assim como a melhoria de renda (BRASIL, 1996).

Cita-se ainda o Programa de Financiamento do Governo Federal para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura, que compõe as linhas de crédito para agricultura de baixo carbono (Programa ABC), objetivando dentre outros: reduzir as emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades agropecuárias; e aumentar a produção agropecuária em bases sustentáveis. As técnicas da agricultura de baixo carbono contemplam o sistema de plantio direto, manejo agrossilvopastoril, plantios florestais e a fixação biológica do oxigênio (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2012).

Pode-se ainda atribuir às transferências de renda por meio do Programa Bolsa Família, pensões e aposentadorias rurais, como uma das estratégias para mitigar os efeitos das secas e da desertificação em áreas vulneráveis a tais fenômenos, conforme discutido anteriormente.

Tais transferências tendem a dinamizar a economia local, principalmente nos setores de comércio e serviços, e não mais nas atividades agropastoris, podendo estar relacionadas, inclusive, à diminuição das áreas das propriedades agropecuárias (FIGURA 23, 24), o que diminui a pressão sobre o meio natural, reduzindo a degradação ambiental, e, conseqüentemente, a vulnerabilidade à desertificação.

6.1.3 Utilização de técnicas de manejo sustentável

A terceira abordagem se refere à introdução de técnicas de manejo sustentável, que podem ser consideradas medidas adaptativas, e tratam de uma abordagem tecnológica voltada à racionalização do manejo agrossilvopastoril nos ecossistemas fragilizados do Semiárido.

Destaca-se o trabalho da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), cujo Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido (CPATSA), criado em 1975, com o objetivo de promover o desenvolvimento rural do Semiárido brasileiro, procurando, segundo a própria Instituição, conferir eficiência produtiva ao setor agropecuário, reduzindo custos de produção e aumentando a oferta de alimentos pelo uso de tecnologias que apresentassem viabilidade

econômica, impactos sociais positivos e conservação ambiental, evitando o êxodo rural e a pobreza relativa (EMBRAPA, 2012).

As pesquisas do CPATSA incluem desde o desenvolvimento de sistemas de produção para culturas irrigadas e de sequeiro, assim como o manejo do Bioma Caatinga, e muito contribuíram para consolidar a ideia de “convivência com o Semiárido” em contraposição às políticas de “combate às secas” (EMBRAPA, 2012).

A realização de avaliações ambientais, incluindo os estudos de impactos ambientais, como condicionantes para financiamento de projetos, além da fiscalização por parte dos órgãos ambientais e sociedade civil, acerca da necessidade da implantação de medidas mitigadoras de tais projetos, tende a inserir-se na estratégia relacionada ao manejo sustentável, e pode contribuir para a redução da vulnerabilidade à desertificação.

Em outra vertente, uma experiência piloto desenvolvida no Ceará, relacionada à introdução de técnicas de manejo sustentável, a serem utilizadas na recuperação do meio natural, que acaba refletindo nos meios socioeconômico e cultural, e que merece destaque, refere-se ao Programa de Desenvolvimento Hidroambiental (PRODHAM) (CEARÁ, 2010).

O PRODHAM foi implantado pelo Governo do Ceará, em 2007, em parceria com o Banco Mundial; e concluído em dezembro de 2008. E teve como objetivo a recuperação e conservação hidroambiental de microbacias hidrográficas situadas em áreas degradadas do semiárido cearense, buscando promover a sustentabilidade dos recursos hídricos, e tendo o homem como ponto focal.

A área escolhida como piloto está localizada na Microbacia do Rio Cangati, no município de Canindé. A Microbacia do Cangati, em função das atividades agrícolas desenvolvidas ao longo dos anos, encontrava-se em elevado processo de degradação ambiental (CEARÁ, 2010).

A promoção de mecanismos para combater os efeitos da seca no Semiárido, e conseqüentemente da vulnerabilidade à desertificação, a partir da concepção do projeto PRODHAM, encontra subsídio em um planejamento de um programa de ação técnica efetiva, além de dispositivos de cooperação técnica regional, com projeção nacional, a partir do Plano Nacional de Combate à Desertificação (CEARÁ, 2010).

Com o Programa, foram implantadas ações de intervenção no meio natural, que consistiram de práticas alternativas de controle hidroambiental:

construção de barragens de pedra e subterrâneas, recuperação e preservação de faixas de mata ciliar e recuperação de áreas degradadas. Foram ainda realizadas intervenções edáficas: terraceamento, canais escoadouro, cordões de vegetação permanente, quebra vento, cordões de pedra em contorno, descompactação do solo, cobertura morta, adubação com matéria orgânica, cultivo em nível – Sistema Dry-Farming e manejo de pastagens.

Com as intervenções físicas foi implantando o monitoramento das variáveis ambientais, a fim de se avaliar a eficácia das ações sobre o meio, de modo a promover a recuperação da qualidade ambiental, e que repercutissem no aumento dos níveis de produtividade agrícola, a exemplo da agricultura de sequeiro e conseqüentemente, nos níveis de renda da população e, conseqüentemente, o equilíbrio de baixo nível.

As variáveis utilizadas no monitoramento das intervenções incluíram a análise da qualidade da água superficial e subterrânea da Microbacia, incluindo indicadores tais como pH, oxigênio dissolvido (OD), nitratos, coliformes, condutividade hidráulica, saís de forma a avaliar-se o comportamento dos recursos hídricos em função das intervenções que foram executadas.

Durante o Programa, foram também avaliados aspectos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos, sedimentação, escoamento, assim como o monitoramento dos solos, assim como realização de inventário florestal em parcelas da área do Projeto, realizando-se, portanto, um estudo abrangente e de que forma intervenções técnicas sustentáveis podem contribuir para a redução da vulnerabilidade de ecossistemas do Semiárido.

Os resultados mostraram que o PRODHAM contribuiu para a melhoria das condições geoambientais da área piloto, na medida em que, ao gerar dados e informações sobre os parâmetros físicos da microbacia, fornecendo subsídios para o planejamento e gestão sustentável dos recursos naturais em outras áreas do Semiárido. Observa-se ainda que, a partir da ampla participação popular, há um novo olhar das pessoas da comunidade, que sensibilizadas, passam a inserir-se no contexto de geração de renda a partir da utilização sustentável dos recursos naturais, saindo na inércia da economia sem produção, e rompendo dessa forma o equilíbrio de baixo nível.

No entanto, frente à descontinuidade de ações posteriores à vigência do PRODHAM, assim como ocorre em demais políticas públicas no Brasil, observa-se

que há uma tendência de se voltar ao estado anterior à implantação do Programa, no que se refere às ações exitosas que foram empreendidas ao longo do tempo, que tendem a desaparecer em breve, retornando a região à condição anterior.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se a vulnerabilidade à desertificação no Semiárido Brasileiro, sob a perspectiva do apoio multicritério à decisão, construindo-se uma metodologia de avaliação de risco ecológico, que resultou no Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD).

Para tal objetivo, o fenômeno da desertificação foi estudado em diversos aspectos, incluindo os ambientais, técnicos, econômicos, sociais, de políticas públicas, utilizando-se, em muitos casos, de indicadores e índices, sistematizados a partir de enfoques e metodologias variadas.

A partir dos dados analisados ao longo do trabalho, foi possível estudar a vulnerabilidade à desertificação para o Semiárido, configurando-se o modelo de equilíbrio de baixo nível, que permite uma visualização simplificada dos diversos aspectos relacionados ao fenômeno, incluindo suas causas e efeitos.

O diagrama causa-efeito da desertificação auxiliou na visualização da combinação entre aspectos naturais da Região, mudanças climáticas, atividades econômicas, degradação ambiental, aumento da vulnerabilidade à desertificação e introdução de medidas necessárias ao aumento da resiliência ambiental, a fim de ser construída a fundamentação deste trabalho de tese.

Uma das contribuições do trabalho foi a de utilização da subjetividade, baseada no conhecimento de diversos avaliadores (decisores), que, separadamente, contribuíram para a construção de um índice quantitativo (IVD), cujos resultados de sua aplicação estão alinhados com a literatura sobre o tema.

Ressalta-se, no entanto, o caráter metodológico do trabalho, que pela sua simplicidade e eficácia, poderá ser replicado em avaliações ambientais de diversas áreas, incluindo projetos e avaliações estratégicas.

Uma das etapas mais complexas da estruturação da metodologia foi a de seleção e escolha dos indicadores a ser utilizados, em função da grande diversidade e enfoque dos mesmos.

A Teoria da Utilidade Multiatributo, embasada em rígidos axiomas matemáticos, mostrou-se viável de ser utilizada na metodologia, a partir da criação de planilhas em Excel, não havendo a necessidade de efetuar a programação em sistemas mais complexos.

Foi estudada a utilização de estratégias para reduzir a vulnerabilidade à desertificação. As mesmas foram introduzidas no equilíbrio de baixo nível e incluíram não somente medidas técnicas, mas também de convivência e adaptação.

Concluiu-se que, medidas de combate à seca podem repercutir na redução da vulnerabilidade à desertificação e no aumento da resiliência, assim como trata a UNCCD.

A análise ainda mostrou que as estratégias relacionadas às transferências de renda podem repercutir na redução da vulnerabilidade à desertificação em função da redução da atividade econômica, ou economia sem produção, principalmente das atividades agropecuárias na Região.

Observou-se que estratégias relacionadas à introdução de técnicas de manejo sustentável podem ter um efeito positivo na redução do risco, a exemplo das ações da EMBRAPA e do PRODHAM, mas que, em função da descontinuidade das políticas públicas e dos aspectos culturais, podem não ter efeito em médio e longo prazos.

Concluiu-se que as estratégias para redução da vulnerabilidade à desertificação devem ser aplicadas conjuntamente, de forma integrada, envolvendo transferências de renda, apoio creditício, difusão de tecnologias, recuperação de áreas degradadas, dentre outras, assim como sensibilização da população, sem deixar de avaliar as medidas adaptativas que já são utilizadas há muito tempo pela mesma.

Finalmente, para fins de continuidade e aprimoramento, sugere-se que tal metodologia seja aplicada em estudos de impactos de projetos, e os resultados obtidos comparados com os resultados de outras metodologias utilizadas em tais avaliações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Floram: Nordeste Seco**. Estudos avançados. vol. 4, n.9, São Paulo, 1990.

AB'SABER, A. N. **Dossiê Nordeste seco**. Estudos Avançados, v.13, n. 36, São Paulo, 1999.

ABRAHAM, E. M.; FUSARI, M. E.; SALOMÓN, M. **El índice de pobreza hídrica y su adaptación a las condiciones de América Latina**. ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. (Ed.). Indicadores de la desertificación para América del Sur: recopilación y armonización de indicadores y puntos de referència de la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía em América del Sur. Mendoza: IICA, 2006.

ABRAHAM, E.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la desertificación para América del Sur**: recopilación y armonización de indicadores y puntos de referència de la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía em América del Sur. Abraham E.; Beekman, G. B. (Editores), Mendoza: IICA, 2006.

ABREU, J. C. **Capítulos de história colonial (1500-1800)**. 1907. Disponível em <<http://www.brasiliana.usp.br/bbd/handle/1918/00157600#page/1/mode/1up>>. Acesso em: 27 jul. 2014.

ACCIOLY, L. J. O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, n.1, p. 23-25, 2000.

ADGER, W. N, VINCENT, K. Un certainty in adaptive capacity. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 337, n. 4, p. 399-410, 2005.

_____. **Social capital, collective action, and adaptation to climate change**. In: Der klimawandel. VS Verlagfür Sozial wissenschaften, p. 327-345, 2010.

_____. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. **World Development**, v. 27, n. 2, p. 249-269, 1999.

_____. Vulnerability. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. **Cadernos de Recursos Hídricos Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2005.

ALMEIDA, A. T. Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 1, p. 69-81, 2005.

ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 201-214, 2002.

ALMEIDA, R. P.; NERY, C. V. M.; LIMA, F. A. Uso do sensoriamento remoto para estudo da susceptibilidade ao processo de desertificação na região semiárida do norte de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 47, 2013.

ALVARGONZALEZ, R. **O desenvolvimento do Nordeste árido** perfil do nordeste árido, v. 1. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS): Fortaleza, 1984. 461 p.

ALVES, J. **História das Secas** - Século XVII a XIX. Coleção Mossoroense, 1982, 296 p.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, 2009.

ALVES, J. M. B *et al.* A produção agrícola de subsistência no Estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 111-118, 1998.

AMARAL E SILVA, C. C. **Gerenciamento de riscos ambientais**: Curso de Gestão Ambiental. São Paulo: USP, 2004.

AMARAL, F. C. S. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação enfoque na região semiárida**. Embrapa Solos, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2011, 164 p.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Avaliação de indicadores biofísicos de degradação/desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato, Piauí, Brasil. **Revista Equador**, v. 1, n. 1, p. 44-59, 2012.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do Método de Thornthwaite & Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 06, n. 01, p. 079-090, 2013.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; ALMEIDA, J. A. P. Análise da Desertificação do Núcleo de São Raimundo Nonato – Piauí. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64/2, 2012.

ARAÚJO FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A. **Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil**. I Conferência Virtual Global sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte. Vol1, p. 139 – 146. 2002.

ARAÚJO FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no bioma caatinga. Recife: EMBRAPA Solos, 1995.

ARAÚJO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2008.

ARAÚJO, F. T. V.; NUNES, A. B. A.; SOUZA FILHO, F. A. Desertificação e pobreza: existe um equilíbrio de baixo nível? **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 106-119, jan./mar., 2014.

ARAÚJO, L. A.; LIMA, J. P. R. Transferências de renda e empregos públicos na economia sem produção do semiárido nordestino. **Planejamento e Políticas Públicas**, 2010.

ARAÚJO, S. M. S. **O pólo gesseiro do Araripe**: unidades geo-ambientais e impactos da mineração. 2004. 259 f. Tese (Doutorado e Ciências) – Instituto de Geociências, Unicamp, 2004.

ASTIGARRAGA, E. **El método delphi**. San Sebastián: Universidad de Deusto, 2003.

AVEN, T. On some recent definitions and analysis frame works for risk, vulnerability and resilience. **Risk analysis**, v. 31, n. 4, p. 515-522, 2011.

BAFFI, M. A. T. **Modalidades de pesquisa**: um estudo introdutório. Pedagogia em Foco: Petrópolis, 2010.

BAI, Z. G. *et al.* Proxy global assessment of land degradation. **Soil use and management**, v. 24, n. 3, p. 223-234, 2008.

BALTAR, A. M.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos multicritério aplicados à hierarquização de investimentos na área de recursos hídricos. Anais do Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. Gramado, RS, 1998.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. BNB. 2012. Programação do FNE 2012. Disponível em <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/sobre_nordeste/fne/docs/programacao_fne_2012.pdf>. Acesso em 20 nov. 2012.

_____. FNE SECA - Programa Emergencial para Seca, 2013. Disponível em <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/produtos_e_servicos/programas_fne/gerados/fne_seca.asp>. Acesso em: 26 fev. 2013.

_____. Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial** conceitos, modelos e instrumentos. 3ª edição. São Paulo: Saraiva, 2011.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer, 2002. Disponível em <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=mxNsRnNkL1AC&oi=fnd&pg=PR11&dq=belton+stewart+2002&ots=DKEulRAvCD&sig=VotVA6DhNkMecPJDZaKIA6V4n3A#v=onepage&q=belton%20stewart%202002&f=false>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

BENDER, S. **Primer on natural hazard management in integrated regional development planning**. Organization of American States, Department of Regional Development and Environment. Executive Secretariat for Economic and Social Affairs, Washington, DC, 1991.

BEZERRA, J. M. *et al.* Utilização de Geotecnologias na Determinação de Áreas Susceptíveis a Desertificação no Estado do Rio Grande do Norte (Geotechnology Use of Determination of Areas Susceptive Desertification in State of Rio Grande Do Norte). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 543-561, 2011.

BLOEMHOF-RUWAARD, J. M. *et al.* Interactions between operational research and environmental management. **European Journal of Operational Research**, v. 85, n. 2, p. 229-243, 1995.

BORTOLUZZI, S. C.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Avaliação de desempenho multicritério como apoio à gestão de empresas: Aplicação em uma empresa de serviços. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 3, p. 633-650, 2011.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. Análise multiobjetivo. In. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. PORTO, R. L. L. (Organizador) Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ABRH, 1997. Cap7, p. 361 - 420.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

_____. CONAMA. **Resolução nº 009**, de 06 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classes I, III a IX.

_____. CONAMA. **Resolução nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.

_____. CONAMA. **Resolução nº 238**, de 22 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a aprovação da Política Nacional de Controle da Desertificação.

_____. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: 1988.

_____. **Decreto nº 2.741**, de 20 de agosto de 1998. Promulga a Convenção Internacional de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, Particularmente na África. Brasília, DF, 1998.

_____. **Decreto nº 1.946**, de 28 de junho de 1996. Cria o programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar – PRONAF, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1996.

_____. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, 1981.

_____. **Lei nº 7.827**, de 27 de setembro de 1989. Regulamenta o art. 159, inciso I, alínea c, da Constituição Federal, institui o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte - FNO, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste - FNE e o Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste - FCO, e dá outras providências.

_____. Ministério da Integração Nacional. Projeto de Integração do Rio São Francisco. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). 2004.

_____. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, 2004.

BREGAS, J. P. Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. **Land degradation & development**, 9, 393-406, 1998.

BRITO, J. I. B.; BRAGA, C. C. Possíveis relações entre os múltiplos regimes climáticos e riscos de processos de desertificação em áreas do nordeste do Brasil. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

BRITO, J. I. B.; SOUZA, I. A.; ARAGÃO, J. O. R. **Ligação entre o El Niño e os possíveis processos de desertificação no Estado do Rio Grande do Norte**. Disponível em <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-7a3a5739a8d2e63a3144b49894cbb6c9.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2014.

BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. **Global environmental change**, v. 15, n. 2, p. 151-163, 2005.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. **Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

CAMPOS, J. H. D. C.; SILVA, M. T.; SILVA, V. D. P. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. R. **Bras. Eng. Agríc. ambiental**, v. 14, n.4, p. 396-404, 2010.

CAMPOS, J. N. B. **Um Critério de Seca Agrícola e sua Aplicação no Estado do Ceará**. 1982. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2009.

CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 16, p. 261-298, 2009.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. C. Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções. IN: IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. ABRH, Foz de Iguaçu, 2001.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com *VIP analysis*. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.

CAMPOS, V. R.; CASTILLO, L. A. M.; CAZARINI, E. W. Modelagem do apoio à decisão multicritério utilizando a metodologia EKD. **XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos: Abepro, 2010.

CANHOS, V. *et al.* **Análise da vulnerabilidade da biodiversidade brasileira frente às mudanças climáticas globais**. Brasília: CGEE/ Parcerias Estratégicas, n. 27, 2008.

CARVALHO, J. O. 1985. 687 f. **O Nordeste semiárido**: questões de economia política e de política econômica. Volume I. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia da Unicamp, Campinas, SP, 1985.

_____. **Nordeste semi-árido**: nova delimitação. Boletim Regional, Ministério da Integração Nacional, 2006.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 91-105, 2013.

CAVALCANTI, H.; GUILLEN, I. Atravessando fronteiras: movimentos migratórios na história do Brasil. **Revista Imaginário**, São Paulo, v. 7, p. 1-4, 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo. Oficina de Textos, 2009, 463 p.

CEARÁ. Secretaria do Planejamento e Coordenação (SEPLAN). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Índice de Desenvolvimento Municipal IDM 2010. Fortaleza: IPECE, 2010.

_____. 2012. Municípios susceptíveis à desertificação Estado do Ceará– **Mapa**. Disponível em <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/Municipios_Desertificacao.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2012.

_____. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **A influência do clima na economia cearense**. Texto para discussão n. 56, Fortaleza, CE, 2009, 22p.

_____. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Proposta de índice de desertificação para o estado do Ceará**. Nota técnica n. 41. Fortaleza, CE, 2009, 18p.

_____. **Programa de Desenvolvimento Hidroambiental PRODHAM**, monitoramento biofísico em área piloto na microbacia do Rio Cangati, Canindé – CE, 2010.

_____. Secretaria do Planejamento e Coordenação (SEPLAN). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Índice Municipal de Alerta IMA 2013: um instrumento com orientações preventivas sobre as adversidades climáticas do estado do Ceará**. Fortaleza: IPECE, 2013.

_____. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAE-CE**, Fortaleza, CE, 2010. 372p.

CHARNEY, J. *et al.* A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. **Journal of the atmospheric sciences**.v.34, n.9, p. 1366-1385, 1977.

CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique. **Climatic change and agriculture**, Paris, 2009.

CISNEROS, J. M. *et al.* Assessing multi-criteria approaches with environmental, economic and social attributes, weights and procedures: A case study in the Pampas, Argentina. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 10, p. 1545-1556, 2011.

CLÍMACO, J.; VALLE, R. **Apoio Multicritério à Decisão e Desenvolvimento Sustentável**. 2012. Disponível em <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0001.pdf>>, acesso em: 29 jan. 2014.

CÓNDOR, R. D.; SCARELLI, A.; VALENTINI, R. Multicriteria Decision Aid to support Multilateral Environmental Agreements in assessing international forestry projects. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 11, n. 2, p. 117-137, 2011.

CONFALONIERI, U. E. C. *et al.* Social, environmental and health vulnerability to climate change in the Brazilian Northeastern Region. **Climatic Change**, p. 1-15, 2013.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Guia de financiamento para agricultura de baixo carbono**. – Brasília, DF: CNA, 2012.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.1, 2005a.

_____. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, p. 16 70-75, 2005b.

_____. O conceito de desertificação. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro, v.3, n. 2, p. 39-52– julho/dezembro/2008.

CORDEIRO, B. S. **A gestão de lodos de fossas sépticas: uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

COSTA, J. J. D. Seca, pobreza e desertificação na Paraíba. **Sæculum**–Revista de História, v. 8, 2003.

CUNHA, A. B.; BARBOSA, M. S. C.; CASTRO, D. Consumo da lenha na calcinação da gipsita e impactos ambientais no pólo gesseiro da mesorregião do Araripe-PE. **Revista Biologia e Farmácia**, v. 2, n. 1, 2008.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in human geography**, v. 20, p. 529-539, 1996.

CYSNE, A. P. **Proposta de um modelo robusto de governança adaptativa para os recursos hídricos utilizando cenários climáticos**. 2012. 159 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2009.

DANFENG, S.; DAWSON R.; BAOGUO L. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. **Journal of Environmental Management**, 79, p. 348- 356, 2006.

DARKOH, M. B. K. The Human Dimension of Desertification in the Drylands of Africa. **Journal of Social Development in Africa**, v. 11, n. 2, p. 89-106, 1996.

DARKOH, M. B. K. The nature, causes and consequences of desertification in the drylands of Africa. **Land Degradation & Development**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 1998.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da mata atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

DELWAULLE, J. C. Désertification de l'Afrique au sud du Sahara. **Revue de Bois et forêts de tropiques**. n. 149, p 3-20, mai-juin 1973.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. DNPM. **Mineração no Semiárido brasileiro**. Brasília: 2009.

DIAS, L. M. C.; CLÍMACO, J. N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. **Journal of the Operational Research Society**, p. 1070-1082, 2000.

DIAS, L. M. C. 2000. 269 f. **A informação imprecisa e os modelos multicritério de apoio à decisão: identificação e uso de conclusões robustas**. Tese (Doutorado em

Organização e Gestão de Empresas) – Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, 2000.

DIEGO-GONÇALVES, C.; RIBEIRO, M. J.; MENDES-VÍCTOR, L. A. Cidades litorais vulnerabilidade e resiliência no âmbito da sociologia do risco e incerteza. **Anais do VII Congresso Português de Sociologia**. Universidade do Porto, 2012.

DILL, P. R. J. **Gestão ambiental em bacias hidrográficas**. 2007. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria. 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba; Roma: FAO, 1994. 306 p.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria decision aid classification methods**. Springer, 2002.

DOWNING, T. E.; LÜDEKE, M. Social geographies of vulnerability and adaptation. In: **Global Desertification-Do Humans cause Deserts?**, 2002.

DREGNE, H. E. **Desertification of arid lands**. 1986. Disponível em <<http://www.ciesin.columbia.edu/docs/002-193/002-193.html>>. Acesso em: 16 out. 2012.

DREGNE; H. E.; CHOU; N. T. **Global desertification dimensions and costs**. In **Degradation and restoration of arid lands**. 1992. Disponível em <<http://www.ciesin.org/docs/002-186/002-186.html>>. Acesso em: 10 fev. 2012

DRUMOND, M. A. *et al.* Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. Seminário para avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. **Anais**. Petrolina, 2000.

DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. 4. ed. Fortaleza: DNOCS, 1973.

EAKIN, H.; BOJORQUEZ-TAPIA, L. A. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 112-127, 2008.

EMBRAPA. 2012. **Nossa História**, disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/a_unidade/historico>. Acesso em: 08 out.2012.

ENSSLIN, L. *et al.* Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão-constructivista. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 125-152, 2010.

FALCÃO, E. C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB**. 2013. 126 f. Tese

(Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. 2013.

FARIA, R. C.; NOGUEIRA, J. M.; MUELLER, B. Políticas de precificação do setor de saneamento urbano no Brasil: as evidências do Equilíbrio de Baixo Nível. **Estudos Econômicos**, v. 35, n. 3, p. 481-518, 2005.

FEITOSA, P. H. C. *et al.* Estudo comparativo das vulnerabilidades no cenário seca/desertificação em municípios do semiárido brasileiro e norte de Portugal. **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2010.

FEOLI, E. *et al.* Monitoring desertification risk with an index integrating climatic and remotely-sensed data: an example from the coastal area of Turkey. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 14, n. 1, p. 10-21, 2003.

FERNANDES, M. F.; BARBOZA, M. P. Aplicações dos Indicadores Socioeconômicos e Ambientais no Modelo DPSIR (*Força Motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta*) e Influências na Desertificação nos Municípios de Araripina-PI, Crato e Barbalha-CE e Marcolândia-PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 04, 2011, p. 722-737

FIGUEIRÊDO, A. F. R.; CALASANS, N. A. Risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio colônia-sudeste da Bahia/Brasil. **Engevista**, v. 10, n. 1, 2010.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. **Método de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais, considerando o conceito de ciclo de vida e a vulnerabilidade ambiental**: Ambitec-ciclo de vida. 2008. 424 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 2008.

_____, M. C. B. *et al.* Métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais. **Revista Espacios**, v. 31, n. 4, 2010.

FRASER, E.D.G. *et al.* Assessing vulnerability to climate change in dryland livelihood systems: conceptual challenges and interdisciplinary solutions. **Ecology and Society**, v. 16, n. 3, p. 3, 2011.

FROTA, P. V. **Potencial de erosão na bacia de drenagem do Açude Orós – CE**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FUCHS, S.; KUHLCHE, C.; MEYER, V. Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards—the challenge of integration. **Natural Hazards**, v. 58, n. 2, p. 609-619, 2011.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. 27ª edição. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1998.

GAGNOL, L. La mobilité: symptôme d'inadaptation des sociétés sahéliennes ou stratégie adaptative?. **Science et changements planétaires/Sécheresse**, v. 23, n. 3, p. 240-247, 2012.

GALINDO, I. C. L. et al. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, 2008.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 293-303, 2006.

GARCIA, M.; FERNÁNDEZ, N.; DELIBES, M. Ecosystems resilience to drought: indicators derived from time-series of Earth Observation data. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2013.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Dynamic causal patterns of desertification. **Bioscience**, v. 54, n. 9, p. 817-829, 2004.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. _____. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 41-56, 2002.

GIRÃO, R. Evolução Histórica Cearense, **Fortaleza: ETENE- BNB, 1986. 446 p.**

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, p. 48-90, 2004.

GLANTZ, M. H.; ORLOVSKY, N.S. Desertification: A review of the concept. **Desertification Control Bulletin**, n. 9, p.15-22, 1983.

GOMES, G. M. **Velhas secas em novos sertões**: continuidade e mudanças na economia do semi-árido e dos cerrados nordestinos. Ipea, 2001.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial** Enfoque Multicritério. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2006.

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C. **Áreas Frágeis no Brasil**: Subsídios à Legislação Ambiental. EMBRAPA Meio Ambiente. 2011.

GONDIM, R. S. *et al.* Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1657-1664, 2008.

GONDIM, R. S. **Mudanças Climáticas e Impactos na Demanda de Água para Irrigação na Bacia do Jaguaribe**. 2009. 209 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2009.

GRAU, J. B. *et al.* An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control (Chaco Area—Salta Province—Argentina). **Biogeosciences**, v. 7, n. 11, p. 3421-3433, 2010^a.

_____. Territorial planning in a river basin with high erosion level using multicriteria decision methods in cordoba province (argentine). In: World Automation Congress (WAC), p. 1-6, IEEE, 2010^b..

HINKEL, J. "Indicators of vulnerability and adaptive capacity": Towards a clarification of the science–policy interface. **Global Environmental Change**, v. 21, n. 1, p. 198-208, 2011.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual. Rev. Ecol. Syst.* 4:1-23, 1973.

HULME, M. Recent climatic change in the world's drylands. **Geophysical Research Letters** 23, n. 1, p.61-64, 1996.

HULME, M.; KELLY, M. Exploring the links between desertification and climate change. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 35, n. 6, p. 4-45, 1993.

HUSS. D. Papel del ganado domestico em el controle de la desertification. FAO. Santiago, 1993.

I(AVAZZO, P. *et al.* The role of climate change and erosion processes in desertification process in a sub-Saharan peri-urban area (Ouagadougou, Burkina Faso). In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2013. p. 2238.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Saneamento** 2011. Rio de Janeiro, 2011.

_____. SIDRA. 2012. Banco de Dados Agregados. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2012.

IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis." Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

IPECE. 2012. **Síntese dos principais indicadores econômicos do Ceará 2000-2012** <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/indicadores-economicos/1_Produto_Interno_Bruto_PIB_Tab1.pdf>. Acesso em 12/06/2012.

JANSSEN, R.; NIJKAMP, P. **A multiple criteria evaluation typology of environmental management problems**. Springer. Berlin Heidelberg, 1985.

JUN, K. S. et al. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 24, p. 5228-5242, 2011.

KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, v. 30, n. 2, p. 115-128, 1995.

KELLY, P. M.; ADGER, W. N. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. **Climatic change**, v. 47, n. 4, p. 325-352, 2000.

KHAN, A. S. CAMPOS, R. T. **Efeitos das secas no setor agrícola do Nordeste**. Desenvolvimento sustentável no nordeste. Rio de Janeiro: IPEA, 1995, p. 175-193.

KIENBERGER, S.; LANG, S.; ZEIL, P. Spatial vulnerability units-expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 9, n. 3, p. 767-778, 2009.

KIKER, G. A. *et al.* Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. **Integrated environmental assessment and management**, v. 1, n. 2, p. 95-108, 2005.

KROHLING, R. A.; SOUZA, T. T. M. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 1, n. 8, p. 31-35, 2011.

LADA. Land Degradation Assessment in Drylands. **Project findings and recommendations**. United Nations Environment Programme Food and Agriculture. ONU: Rome, 2011.

LE HOUÉROU, H. N. Climate change, drought and desertification. **Journal of Arid Environments** 34, n. 2, p. 133-185, 1996.

LEAL, I. R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**. v. 1, n. 1, p. 139-146, Julho 2005.

LEITE BARBOSA, A. P. L. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UECE, 2001.

LEITE, F. R. B.; SOARES, A. M. L.; MARTINS, M. L. R. **Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no estado do Ceará – 2ª aproximação**. Fortaleza: FUNCEME, 1993.

LEMOS, J. J. S. Níveis de Degradação no Nordeste Brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 32, n. 3 p. 406-429, jul-set. 2001.

LEMOS, J. J. S.; BOTELHO, D.C. **Efeito da Precipitação de Chuvas na Evolução da Produção de Alimentos no Ceará**: Desdobramento por Períodos Históricos Recentes. V Encontro de Economia do Ceará em Debate. 2009. 21 p.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançados** 14, n. 40, p. 231-250, 2000.

LINDOSO, D. *et al.* **Mudanças Climáticas, vulnerabilidade e governança adaptativa em territórios do Semiárido**. 2ª. Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas ICID +18, Fortaleza, CE, agosto de 2010.

LOPES, H. L. *et al.* Modelagem de parâmetros biofísicos para desenvolvimento de algoritmo para avaliação e espacialização de risco a desertificação. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 4, 2009.

_____. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB**, v. 14, n. 11, p. 1210-1219, 2010.

LUCENA, L. F. L. **A análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais**. Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, v. 13, 1999.

LUNA, R. M. **Desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica (IPH) para o Semiárido Brasileiro**. 2007. 138 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2007.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, v. 13, n. 147, p. 52-55, 1987.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 2006.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no Semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (Org.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, 1ed., Cap. 13, p. 384-422, Campina Grande, PB: INSA, 2011.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC)**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). n. 8, maio de 2009.

_____. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 1, n. 27, p. 149-176, 2008.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MASHAYEKHAN, A.; HONARDOUST, F. B. Multi-criteria evaluation model for desertification hazard zonation mapping using GIS (Study Area: Trouti Watershed, Golestan, Iran). **J. Rangeland Sci**, v. 1, n. 4, p. 331-339, 2011.

MATALLO JUNIOR, H. Methodological Approach to Estimate In-Site Costs of Desertification When Empirical Data Are Not Available. In: **Developments in Soil Classification, Land Use Planning and Policy Implications**. Springer Netherlands, p. 691-701, 2013.

_____. Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. Edições UNESCO: Brasil, 2001, 80p.

MATZENAUER, H. B. **Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2003. 669 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

MEDEIROS, A. A. A. *et al.* Cotonicultura no Estado do Rio Grande do Norte: Aspectos históricos e perspectivas. **Redige**. V. 3, no. 2, 2012.

MEDEIROS, S. S. Avaliação do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.80-84, 2003.

MELO R.O. *et al.* Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um neossolo sob vegetação de caatinga. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.21, n.5 (Número Especial), p.12-17, 2008.

METZGER, M. J. *etal.* The vulnerability of ecosystem services to land use change. **Agriculture, Ecosystems&Environment**, v. 114, n. 1, p. 69-85, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Informativo sobre a Estiagem no Nordeste** - nº 9. 2012. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Homepage/Combate%20a%20Seca/Informativo%20sobre%20a%20Estiagem%20no%20Nordeste%20n%209.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Grupo de Trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. **Relatório Final**. Brasília, janeiro de 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p.

MIRANDA, C.; TIBURCIO, B. **A Nova Cara da Pobreza Rural: desafios para as políticas públicas**. VOLUME 16. Série Desenvolvimento rural sustentável. IICA. Brasília – maio/2012.

MOISSEAU, V. Analyse et classification de la littérature retraisant de l'importance relative des critères en aide multicritère à la décision. **Revue française d'automatique et de recherche opérationnelle**. tomo 26, n. 4, p. 367-389, 1992.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental (AIA)**. Rio de Janeiro, FEEMA, 1985.

MOTA, L. H. S. *et al.* Risk of land salinization in baixo Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1203-1210, 2012.

MOTA, S.; AQUINO, M. D. **Proposta de uma matriz para avaliação de impactos**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.

MUÑOZ, S. I. S. *et al.* **Revisão sistemática da literatura e metanálise: noções básicas sobre seu desenho, interpretação e aplicação na área de saúde.** Anais do 8º Simpósio Brasileiro de Comunicação em Enfermagem, p. 2-3, 2002.

NELSON, D. R. 2005. 217 f. **The public and private sides of vulnerability to drought, an applied model of participatory planning in Ceará, Brazil.** Tese (PhD) – Departamento de Antropologia, Universidade do Arizona, 2005.

NELSON, D. R.; ADGER, W. N.; BROWN, K. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. **Annual review of Environment and Resources**, v. 32, n. 1, p. 395, 2007.

NELSON, D. R.; SOUZA FILHO, F. A.; FINAN, T. J. **Técnica, cultura e meio ambiente para pensar o Semiárido.** Revista Homem, Espaço e Tempo, v. 2, p. 1-15, setembro de 2011.

NELSON, R. R. Theory of the Low-Level Equilibrium Trap in Under developed Economies. **The American Economic Review**, Vol. 46, v. 5 pp. 894-908. 1956. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/1811910>. Acesso em: 01 ago. 2012.

NEVES, F. C. Getúlio e a seca: políticas emergenciais na era Vargas. **Revista Brasileira de História**, v. 21, n. 40, p. 107-129, 2001.

NEVES, F. C. **Seca, Estado e Controle Social: as políticas públicas de combate às secas no Ceará.** América Latina: transformações econômicas e políticas. Fortaleza: Editora UFC, 2003.

NIASSE, M.; AFOUNDA, A.; AMANI, A. **Reducing west Africa's vulnerability to climate impacts on water resources, wetlands and desertification** Elements for a regional strategy for preparedness and adaptation. The World Conservation Union, UK, 2004.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Modelos ecológicos y resilientes de producción agrícola para El Siglo XXI. **Agroecología**, n. 6, p. 28-37, 2011.

NICHOLSON, S. E.; TUCKER, C. J.; BA, M. B. Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 5, p. 815-829, 1998.

NIJKAMP, P. Multicriteria analysis: a decision support system for sustainable environmental management. In: **Economy and Ecology: Towards Sustainable Development.** Springer Netherlands, 1989. p. 203-220.

NUNES, A. B. A. **Avaliação ex-post da sustentabilidade hídrica e da conservação ambiental de perímetros irrigados implantados – o caso do perímetro irrigado Jaguaribe – Apodi (DIJA).** 2006. 177 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2006.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiáridondestino. *Revista Caatinga*, v.19, n.2, p.200-208, abril/junho 2006.

OCAMPO-MELGAR, A. **Participatory multi-criteria assessment for monitoring actions and supporting decision making to combat desertification in the San Simon Watershed (Arizona)**. 2013. 52 f. Tese (PhD) – Graduate Interdisciplinary Program in Arid Lands Resource Sciences. Universidade do Arizona, 2013.

OLIVEIRA, F. F. G.; MEDEIROS, W. D. A. Bases teórico-conceituais de métodos para avaliação de impactos ambientais em EIA/RIMA. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 06, número 11, 2007.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. **Reconhecimento da susceptibilidade ao desenvolvimento de processos de desertificação no Nordeste brasileiro, a partir da integração de indicadores ambientais**. 2001. 298 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

OUÉDRAOGO, L. *et al.* Localisation des zones d'accès à l'eau em saison sèche par analyse multicritère dans Le bassin versant Du Goudébo (région de Yakouta, Burkina Faso). *Physio-Géo. Géographie, physique, et environnement*, v. 7, p. 49-66, 2013.

OZER, P. **Processus de désertification**. 2011. Disponível em <<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/105983>>. Acesso em: 24 jan. 2014.

PAIM, G. F.; OLIVEIRA, F. F. Análise multicritério para construção de cenários de risco à desertificação: Qual a relação destes ambientes com a diversidade de abelhas?. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15 (SBSR)**, p. 3135-3141, 2011.

PARREIRAS, R. O. **Algoritmos evolucionários e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério**. 2006. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

PARRY, M. *et al.* Climate change and world food security: a new assessment. **Global environmental change**, v. 9, p. S51-S67, 1999.

PEREIRA, E. P. *et al.* **Sistema de tratamento de esgotos como uma medida mitigadora à desertificação no Semiárido pelo uso de madeira para produção de blocos cerâmicos no Rio Grande do Norte**. ICID+18, Fortaleza, CE, 2010.

PIMENTEL, G.; PIRES, S. H. Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites. *Rev. Adm. púb.*, Rio de Janeiro, 26 (1), p. 56-68, jan./mar.1992.

POMPEU SOBRINHO, T. **História das Secas Século XX**. Coleção Mossoroense, 1982. 677 p.

PRADO JÚNIOR, C. **História econômica do Brasil**. 43ª edição. São Paulo: Brasiliense, 1998.

PRESTON, B. L.; WESTAWAY, R. M.; YUEN, E. J. Climate adaptation planning in practice: an evaluation of adaptation plans from three developed nations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 16, n. 4, p. 407-438, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002.

PROJETO ÁRIDAS. **Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste**. Políticas de desenvolvimento sustentável no nordeste: semi-árido. Relatório Final, 1994.

QUEIROZ, J. C. B. **Modelos e métodos para de tomada de decisão para apoio à gestão estratégica em empresas**. 2009. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

RAMANATHAN, R. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 63, n. 1, p. 27-35, 2001.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5, 49-134. 2007.

REYES, D. A. **Metodologia multiobjetivo e multicritério de auxílio à outorga de recursos hídricos: aplicado ao caso da bacia de Rio Preto**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

REYNOLDS J.F., STAFFORD SMITH D.M. Do humans cause deserts? In: **Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?** p. 1-21, 2002.

REYNOLDS, J. F. *et al.* Global desertification: building a science for dryland development. **Science**, v. 316, n. 5826, p. 847-851, 2007.

RIBEIRO, E. R.; TEIXEIRA, B. A. N.; FERNANDES, A. C. A. **Variáveis ambientais incidentes no processo de avaliação do impacto urbano: proposta metodológica para aplicação de matrizes**. Anais: Encontros Nacionais da ANPUR, v. 8, 2013.

RIBOT, J. C., MAGALHÃES, A. R., PANAGIDES, S. **Climate variability, climate change and social vulnerability in the semi-arid tropics**. Cambridge University Press, 2005.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. Prentice Hall, 2003.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. **Environmental Impact Assessment Review**, 23, 2, 219-244, 2003.

ROUDIER, P. et al. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?. **Global Environmental Change**, v. 21, n. 3, p. 1073-1083, 2011.

ROY, B., *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers, London, 1996.

RUBIO, J. L.; BOCHET, E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. **Journal of Arid Environments**, v. 39, n. 2, p. 113-120, 1998.

SÁ, I. I. S. et al. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe Pernambucana. **Mercator**, v.9, número 19, mai./ago 2010. P. 143-163.

SAGAN, C.; TOON, O. B.; POLLACK, J. B. Anthropogenic albedo changes and the earth's climate. **Science**, v. 206, n. 4425, p. 1363-1368, 1979.

SALVATI, L. *et al.* Desertification Risk, Long-Term Land-Use Changes and Environmental Resilience: A Case Study in Basilicata, Italy. **Scottish Geographical Journal**, v. 129, n. 2, p. 85-99, 2013.

SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Ed. Universitária da UFPE, 2003.

SÁNCHEZ. L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANCHEZ, A. L. **Análise de risco ecológico para o diagnóstico de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos continentais tropicais**. 2012. 215 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

SANTANA, V. L.; ARSKY, I. C.; SOARES, C. C. S. Democratização do acesso à água e desenvolvimento local: a experiência do Programa Cisternas no semiárido brasileiro. **Anais do I circuito de debates acadêmicos**, IPEA, 2011.

SANTINI, M. *et al.* A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index. **Applied Geography**, v. 30, n. 3, p. 394-415, 2010.

SANTOS, A. S. Social and Environmental Vulnerabilities in the Face of Climate Change for the Semi-arid Area of Bahia – Brazil. In **Climate change and disaster impact reduction**. ARYAL K. R.; GADEMA, Z. (Org.), Northumbria University, UK, p 79-85. 2008a.

_____. **Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semi-árido da Bahia.** 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008b.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. **Paisagens, condicionantes e mudanças.** Vulnerabilidade ambiental. Brasília, DF, Brasil. Ministério do Meio Ambiente, p. 13-22, 2007.

SCHÄRLIG, A. **Décider sur plusieurs critères:** panorama de l'aide à la décision multicritère. PUR presses polytechniques, 1985.

SCHOLZ, R. W.; BLUMER, Y. B.; BRAND, F. S. Risk, vulnerability, robustness, and resilience from a decision-theoretic perspective. **Journal of Risk Research**, v. 15, n. 3, p. 313-330, 2012.

SCHRÖTER, D. *et al.* Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. **Science**, v. 310, n. 5752, p. 1333-1337, 2005.

SEPEHR, A.; EKHTESASI, M. R.; ALMODARESI, S. A. Development of Desertification Indicator System Base on DPSIR (Take advantages of Fuzzy-TOPSIS). **Geography and Environmental Planning**, v. 23, n. 1, p. 33-50, 2012.

SEPEHR, A.; ZUCCA, C. Ranking desertification indicators using TOPSIS algorithm. **Natural hazards**, v. 62, n. 3, p. 1137-1153, 2012.

SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações.** 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2006.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade.** Campinas v. X, n. 2, p. 137-148, jul-dez. 2007.

SILVA, B. K. N.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Índices de vulnerabilidade para o Rio Grande do Norte. **Anais do Congresso de matemática aplicada e computacional.** CMAC Nordeste, 2012.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** UFSC, Florianópolis, 4ª. edição, 2005.

SILVA, F. O. E. **Plano de águas municipal como instrumento de política pública para universalização do abastecimento de pequenas comunidades rurais do semiárido cearense.** 2011. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, 2011.

SILVA, M. B. F. A. **Formulação de um modelo de remoção de barragens sob um enfoque multicritério.** 2012. 188 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. 2009.

SILVA, V. D. P. *et al.* Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 17(2), 180-189, 2013.

SILVA, R.M.A. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido: políticas públicas e transição paradigmática. *Revista Econômica do Nordeste*. Fortaleza, v. 38, nº 3, p. 466 - 485, 2007.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, n. 2, p. 143-155, 2007.

SMIT, B; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability, *Global Environmental Change* 16, p. 282–292, 2006.

SMITH, K. *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge, 2013. Disponível em: http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=A6_N3ACsQgEC&oi=fnd&pg=PP2&dq=CLIMATE+CHANGE+AND+DISASTER+IMPACT+REDUCTION&ots=51xJJLzSR9&sig=abx0MkCUqKX3nMM7L7_6cifzztw#v=onepage&q=CLIMATE%20CHANGE%20AND%20DISASTER%20IMPACT%20REDUCTION&f=false. Acesso em: 24 jul. 2014.

SOARES, S. R. **Análise Multicritério e Gestão Ambiental**. In: PHILIPPI JR., A. et al. *Curso de Gestão Ambiental*. Barueri: Ed. Manole, p. 971-1000, 2004.

SOUSA FILHO, F. A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (Org.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. 1ed. Campina Grande, PB: INSA, 2011, v. 1, Cap 1. p. 2-26..

SOUSA, R. F.; FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P. Vulnerabilidades, semi-aridez e desertificação: cenários de riscos no cariri paraibano. **OKARA: Geografia em debate**, v. 2, n. 2, 2008.

SOUZA FILHO, F. A.; MOURA, A.D. **Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2006, 332p.

SOUZA, B. I. **Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. 2008. 198 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A. Desertificação: considerações sobre o estado atual do conhecimento e a repartição do processo. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 30, n. 1. 2006

SOUZA, J. G. **O Nordeste brasileiro** uma experiência de desenvolvimento regional. Fortaleza: BNB, 1979.

SPILLER, P. T.; SAVEDOFF, W. D. Government opportunism and the provision of water. In: SAVEDOFF, W. D.; SPILLER, P. T. **Spilled water**: institutional commitment

in the provision of water services. Washington, D. C.: Inter American Development Bank, 1999.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: A experiência na Bacia Experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8.2 (2003): 56-72.

STRINGER, L. C. *et al.* Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. **Environmental science & policy**, v. 12, n. 7, p. 748-765, 2009.

SUERTEGARAY, D. M. A. *et al.* Projeto arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: gênese, dinâmica e espacialização. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, n. 287, 2001.

SULTAN, B. *et al.* Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. **Agricultural and forest meteorology**, v. 128, n. 1, p. 93-110, 2005.

SUZUKI, L. E. A. S. *et al.* Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T. Uso do método multicritério ELECTRE TRI para classificação de estoques na construção civil. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, p. 625-648, 2006.

TARAPANOFF, **Técnicas para a tomada de decisão nos sistemas de informação**. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 1995. 163 p.

TEZZA, R.; ZAMCOPÉ, F. C.; ENSSLIN, L. A metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista para a identificação e avaliação de habilidades para o setor de estampa têxtil. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 1, p. 125 - 142, 2012.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, p. 55-94, 1948.

TÜRKEŞ, M. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, v. 23, n. 5, p. 363-380, 1999.

VALLADARES, G. S. *et al.* Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação**: Manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1978.

VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga**. 2002.

VERDUM, R. Tratados internacionais e implicações locais: a desertificação. **GEOgraphia**, v. 6, n. 11, 2009.

VERÓN, S.R.; PARUELO J.M.; OESTERHELD M. Assessing desertification. **Journal of Arid Environments**, n. 66, p. 751-763, 2006.

VIANA, C. F. G. **Da seca como episódio à desertificação como processo**: uma questão (não) institucionalizada. 2013. 244 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

VIANA, M. O. L.; RODRIGUES, M. I. V. Um índice interdisciplinar de propensão à desertificação (IPD): instrumento de planejamento. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 30, n. 3, p. 264-294, 1999.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de risco em recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH– Coleção ABRH, v. 10, 2005.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, n. 8, p. 7-17, abr/jun 2003.

VILAS BOAS, C. L. **Análise da Aplicação de Método Multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos**. Brasília: UnB/FACH, 2006.

VINCKE, P. **Multiattribute utility theory as a basic approach**. In: Multiple criteria decision methods and applications. Springer Berlin Heidelberg, 1985. p. 27-40.

WESTMAN, W. E. **Ecology impact assessment and environmental planning**. John Wiley & Sons, 1985.

XIAO, J. et al. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 12, p. 2411-2422, 2006.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 1998. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

APÊNDICE A – ATIVIDADES ECONÔMICAS NO SEMIÁRIDO E IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES

São apresentadas considerações sobre as atividades econômicas de maior relevância no Semiárido, assim como os impactos econômicos, ambientais e sociais, potencialmente relacionados ao aumento da vulnerabilidade à desertificação.

a. Pecuária

A pecuária pode ser considerada a mais representativa das atividades econômicas desenvolvidas no Semiárido desde a colonização, com destaque à criação do gado bovino ou vacum.

A introdução do gado bovino no Brasil se deu nos primeiros anos após o descobrimento, com a chegada à Capitania de São Vicente, em 1534, de exemplares de oriundos da ilha de Cabo Verde. O governador Tomé de Souza trouxe em sua caravela, algumas cabeças, que foram introduzidas no litoral baiano.

Na região semiárida, em função das sérias restrições climáticas e ambientais, a pecuária constitui uma das atividades que, aparentemente, melhor se adapta, quando não há disponibilidade hídrica suficiente à irrigação; no entanto, a atividade é altamente vulnerável ao fenômeno das secas (KHAN; CAMPOS, 1995).

As atividades pastoris tendem a ocupar a caatinga tipo arbustivo-árboreo, enquanto a agricultura utiliza áreas antes ocupadas pela caatinga do tipo arbóreo (ARAUJO FILHO; CRISPIM, 2002)

Prado Júnior (1998) observa que houve, entre as décadas de 1940 e 1960, um incremento da atividade pecuária no Brasil, com destaque para o gado vacum de corte e leiteiro, em função do aumento da demanda de alimentos nos centros urbanos. A expansão das pastagens se deu, em parte, nas terras antes desocupadas. No entanto, o grande aumento das áreas de pastagens representou uma substituição da agricultura pela pecuária, em função do esgotamento da fertilidade natural do solo.

Segundo ainda Prado Júnior (1998), a pecuária consegue apresentar uma relativa viabilidade econômica, pois não exige mão de obra numerosa, além de poder ser explorada em solos de baixa fertilidade, e mesmo em solos exauridos.

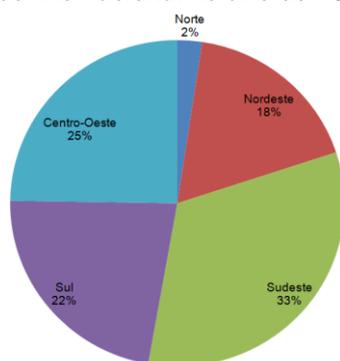
Portanto, a pecuária passa a representar uma atividade ideal nas terras cansadas, erodidas e desgastadas onde os rendimentos agrícolas se tornaram excessivamente baixos (PRADO JÚNIOR, 1998).

No entanto, por utilizar pouca mão de obra, a pecuária tender a contribuir na geração de impactos sociais, a partir da diminuição dos empregos no campo, assim também, por substituir as tradicionais lavouras de subsistência, influenciam na diminuição da oferta de alimentos (PRADO JÚNIOR, 1998), contribuindo para o aumento dos níveis de pobreza e do êxodo da população.

Conforme os dados do IBGE (2012), a bovinocultura no Brasil apresentou um crescimento de 130% nas últimas quatro décadas, atingindo, em 2011, o total de 212,8 milhões de cabeças.

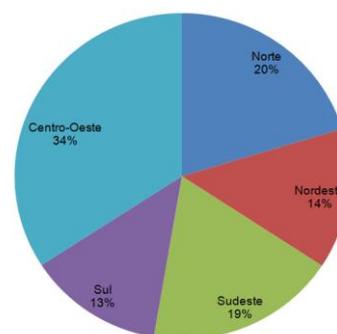
As Figuras 60 e 61 mostram, respectivamente, a participação de cada Região na composição do rebanho nacional, nos anos de 1974 e 2011. Observa-se que as participações das regiões Sul, Sudeste e Nordeste caíram, enquanto as regiões Norte e Centro-Oeste passaram a contribuir com mais de 50% do total nacional.

Figura 60 – Participação regional na composição do rebanho bovino nacional no ano de 1974.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 61 – Participação regional na composição do rebanho bovino nacional no ano de 2011.



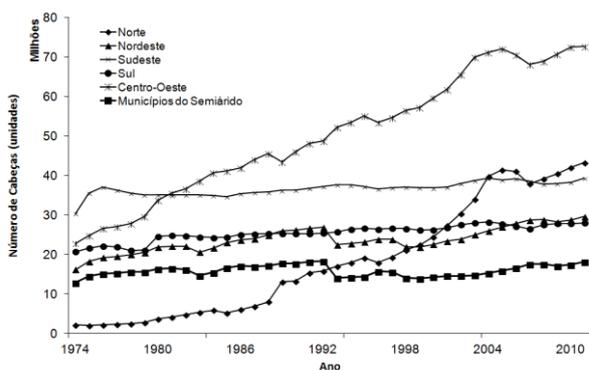
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

No comparativo regional (FIGURA 62), destacam-se as regiões Norte e Centro-Oeste, com um incremento nos rebanhos de 1856% e 217%, respectivamente, entre os anos de 1974 e 2011. Nas Regiões Sul e Sudeste observa-se uma estabilização do quantitativo dos rebanhos.

Na Região Nordeste, na última década, observa-se um comportamento ascendente, com relativa variação (FIGURA 62), o que pode ser atribuída às

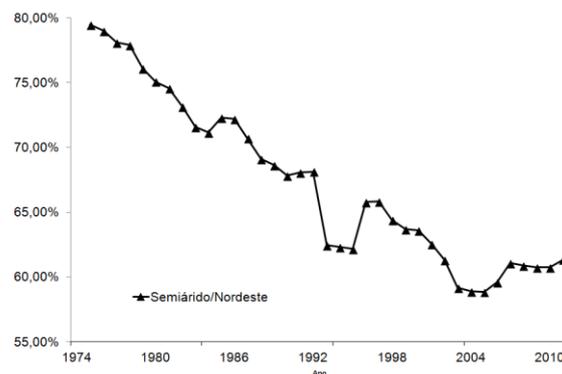
variações climáticas ocorridas na Região. Já nos municípios do Semiárido Nordeste, há uma estabilização do quantitativo dos rebanhos.

Figura 62 – Rebanho bovino (número de cabeças), por região brasileira e no Semiárido, entre os anos de 1974 e 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 63 – Participação (%) da bovinocultura do Semiárido em relação ao Nordeste.



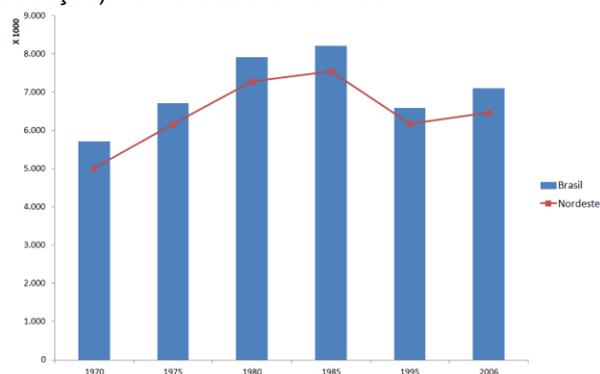
Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

A participação dos municípios do Semiárido nordestino, na composição do rebanho bovino da região Nordeste vem caindo ao longo dos anos analisados (FIGURA 63). É observada uma maior queda nos anos de seca. Passado o período de estiagem, observa-se uma relativa recomposição dos rebanhos. Comparando com a Figura 62, considera-se que a expansão da atividade ocorre nas outras áreas da região Nordeste, pois nos municípios do Semiárido Nordeste há uma estabilização no quantitativo dos rebanhos.

Bastante expressiva, na Região, é a criação de caprinos e ovinos. Como pode ser observado (FIGURA 64), o rebanho de caprinos no Nordeste representa mais de 90% do rebanho nacional, e cresceu 30% em relação ao ano de 1970; no entanto, houve uma queda no quantitativo em relação a 1985.

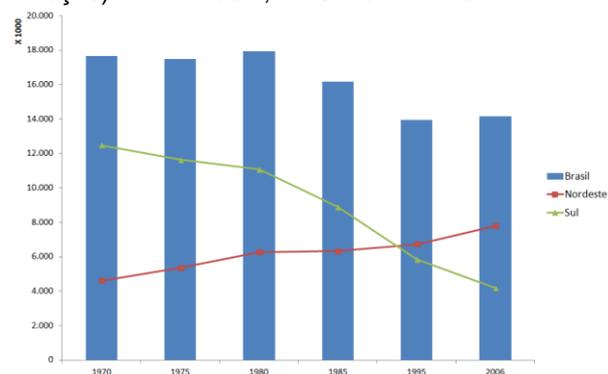
Por sua vez, o rebanho de ovinos (FIGURA 65) apresenta uma tendência de crescimento nas últimas décadas no Nordeste e uma queda acentuada no Sul. As duas regiões representam cerca de 90% do efetivo dos rebanhos no Brasil.

Figura 64 – Rebanho de caprinos (número de cabeças) no Nordeste e no Brasil.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 65 – Rebanho de ovinos (número de cabeças) no Nordeste, no Sul e no Brasil.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Conforme Huss (1993), conceitos importantes para a atividade pecuária referem-se a:

- A **taxa de ocupação**, que representa o número de animais que ocupam uma unidade de terra, por um período de tempo determinado;
- A **capacidade de carga**, cujo sentido original referia-se a animais silvestres, e significa o número máximo de indivíduos, que podem sobreviver durante o período de maior estresse de uma área por ano. Isto é, quando a ocupação excede, em muito, a oferta de alimentos, alguns animais morrem, garantindo, dessa forma, a manutenção do equilíbrio ao ecossistema.
- A **capacidade de pastoreio**, referente a animais domésticos, definida como a taxa de ocupação máxima possível, compatível com a manutenção ou melhoria da vegetação, e demais recursos relacionados. Tal capacidade pode variar entre os anos em uma mesma área, em função da variação da produção forrageira, por sua vez, função das variações climáticas.
- O **sobrepastoreio** indica a situação em que a taxa de ocupação excede a capacidade de pastoreio. A situação inversa é definida como **subpastoreio**.

O rebanho bovino exige 12 ha de caatinga por unidade animal (UA) por ano; no entanto, com manejo adequado, a capacidade de pastoreio pode aumentar para entre 3,5 e 4,5 hectares para a manutenção anual de uma cabeça de gado bovino e de 0,5 a 0,7 de hectares para cada caprino ao ano. Estudos realizados na Região revelaram que em propriedades com tamanho médio de cerca de 500 ha, eram criados 64 bovinos, 67 caprinos e 107 ovinos, resultando em uma carga animal média de 4,4 ha/UA/ano (ARAUJO FILHO; CRISPIM, 2002).

O sobrepastoreio apresenta efeitos marcantes para as populações de plantas nativas, alterando a composição das comunidades vegetais, havendo uma grande pressão e conseqüente redução das populações das espécies mais palatáveis e, por outro lado, as populações das espécies não consumidas pelos rebanhos podem aumentar bastante. São consideradas tanto as espécies herbáceas quanto as arbustivas e arbóreas que podem ter seus indivíduos jovens consumidos pelos animais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

A redução da cobertura vegetal tende a deixar o solo susceptível à erosão, diminuindo a infiltração de água e tornando-o mais predisposto a compactação, maiores taxas de evaporação e maior perda de nutrientes, diminuindo, conseqüentemente, a capacidade de suporte e a produtividade econômica.

Ainda segundo Araújo Filho e Crispim (2002), bovinos, caprinos e ovinos exercem impactos diferenciados sobre a vegetação da caatinga em função das distinções tanto na composição botânica de suas dietas, como nos hábitos de pastejo.

O pastoreio combinado entre as espécies é indicado como uma alternativa de uso de pastagens nativas da caatinga, oferecendo a possibilidade da manutenção da diversidade florística da vegetação da pastagem, e estabilidade da produção e produtividade. Entretanto, em condições de superpastejo, ovinos e caprinos podem induzir mudanças substanciais na florística da caatinga, quer pelo anelamento dos troncos das árvores e arbustos, causando-lhes a morte, quer pelo consumo das plântulas impedindo a renovação do estoque de espécies lenhosas.

Araújo e Crispim (2002) comentam que mais de 90% dos criadores nordestinos criam bovinos, caprinos e ovinos associados em caatinga nativa. Os índices de produção e produtividade da pastagem e dos animais são muito baixos em virtude do uso aleatório das combinações e do manejo inadequado da pastagem.

Quase a totalidade da vegetação herbácea da caatinga é consumida pelos animais criados em regime extensivo, na própria estação chuvosa ou mesmo nos períodos secos, em função da sua alta resiliência da vegetação. O impacto da eliminação sistemática na composição de espécies da flora é desconhecido (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

A Figura 66 ilustra o aspecto da pecuária extensiva praticada do Semiárido, onde os animais se alimentam da forragem produzida naturalmente na caatinga.

Figura 66 – Pecuária extensiva no Semiárido.



Fonte: arquivo pessoal.

Embora os pastos nativos sejam considerados menos produtivos que os pastos plantados, os primeiros são economicamente mais viáveis, em função do baixo custo de implantação e manutenção, além de grande resiliência, especialmente em épocas de seca (HUSS, 1993).

A resiliência, do ponto de vista econômico, é denotada no Semiárido (FIGURA 63), que demonstra a relativa estabilidade dos rebanhos, mesmo nos períodos de seca, como observados em 1993 e 2003. É prática comum a transferência de gado para áreas úmidas em tais períodos, como nos Estados do Piauí e Ceará, nos quais os maiores pecuaristas possuem propriedades ou alugam áreas para manter o gado durante os períodos de estiagem. Cessando a seca, retorna o gado para a Região e recomeça novo período. Os criadores de menor porte, que por não terem condições financeiras para efetuar tais transferências, perdem ou vendem o seu rebanho durante a estiagem por preços menores, são mais vulneráveis. Entretanto, passando a estiagem, é hora de recompor seus pequenos rebanhos, recomeçando, também eles, um novo ciclo.

b. Atividade agrícola: sequeiro e irrigada

Desde a colonização do Semiárido, a exploração agrícola está ligada à subsistência da população local, com exceção ao algodão, que representou um dos principais itens das exportações.

Como a cana de açúcar era explorada nas áreas litorâneas do Nordeste, houve, inclusive, a proibição oficial para a implantação de lavouras alimentares nas áreas da cana de açúcar (PRADO JÚNIOR, 1998), e as lavouras de subsistência passaram a ser exploradas no Agreste e Sertão.

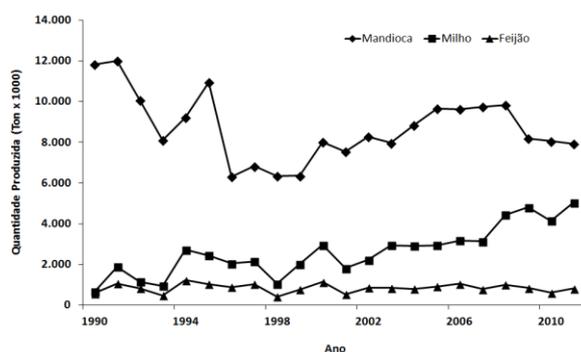
Na região sertaneja, e mesmo na área de transição do agreste, com as constantes adversidades climáticas, como a pouca disponibilidade de água no solo, a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano e temperaturas elevadas tendem a comprometer a atividade agrícola, resultando na sua elevada vulnerabilidade e baixa produtividade, levando à adoção da agricultura itinerante.

A agricultura itinerante representou um passivo de áreas degradadas, em função das práticas relacionadas à mesma: desmatamento, coivaras e redução dos períodos de pousio, que tendem a diminuir a produtividade e cedido lugar principalmente para a pecuária.

A Figura 67 apresenta as quantidades produzidas para as culturas de milho, feijão e mandioca, na Região Nordeste, ao longo de duas décadas (1990 a 2011). Tais culturas, que constituem a base da agricultura familiar na Região, são cultivadas, preferencialmente, em regime de sequeiro. Os resultados mostram uma maior estabilidade para o feijão, enquanto houve o crescimento do milho, possivelmente induzido pela expansão da irrigação. Já em relação às áreas dedicadas ao plantio (FIGURA 68), não houve variação nas áreas dedicadas aos cultivos de feijão, milho e mandioca, no Brasil e no Nordeste ao longo do período analisado.

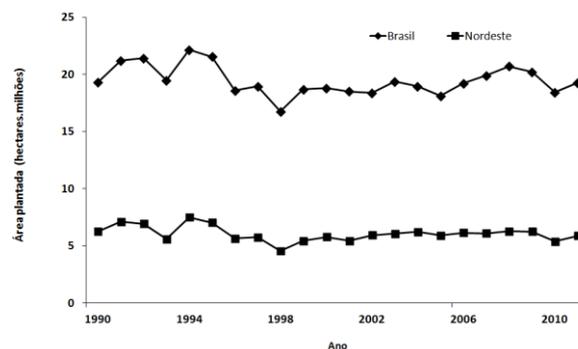
No caso do Brasil, com o aumento da produtividade das safras, há, conseqüentemente, o aumento da produção, em função das áreas de plantio permanecer constantes, o mesmo não ocorrendo no Nordeste, acentuando-se a vulnerabilidade. Com o aumento de demanda por tais gêneros, ocorre a alta de preços e a não formação de estoques, ficando a Região cada vez mais dependente de fornecedores externos – nacionais e internacionais, acentuando-se nas secas, cujo custo logístico tende a encarecer ainda mais tais produtos.

Figura 67 – Quantidades produzidas na Região Nordeste, das culturas de milho, feijão e mandioca, entre 1990 e 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Figura 68 – Área (milhões de hectares) do Brasil e da Região Nordeste destinadas ao plantio das culturas de milho, feijão e mandioca, entre 1990 e 2011.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Em áreas com irregularidade no regime pluviométrico, a exemplo do Semiárido, recorre-se à irrigação corrigir a distribuição natural das chuvas. A irrigação representa o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

Estima-se que a agricultura irrigada seja responsável pelo consumo de quase 70% da água doce do Planeta, sendo, portanto, a maior consumidora de tal recurso. Entretanto, a atividade representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos.

Verifica-se, portanto, que a irrigação apresenta grande impacto na oferta hídrica dos mananciais de água, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, onde se verificam altas concentrações de áreas irrigadas (MEDEIROS *et al.* 2012). Além da alta demanda hídrica, a maioria dos projetos envolvendo recursos hídricos, de modo geral, não alcança os níveis desejados de produtividade em função, basicamente, das dificuldades operacionais encontradas no campo, não levadas em consideração durante a etapa de planejamento (CARVALHO, 1985).

O Nordeste, por apresentar grande área de clima semiárido, é a região brasileira que mais necessita da promoção da agricultura irrigada; no entanto possui apenas 17 % da área nacional irrigada (AMARAL, 2011).

Observa-se no Brasil, que a irrigação não tem sido feita de maneira adequada, podendo levar a aplicação excessiva de água, o que resulta em prejuízos ambientais, consumo desnecessário de energia elétrica e de água, lixiviação de nutrientes e salinização, repercutindo na diminuição da produção, produtividade e vida útil do solo, levando-o à degradação.

Dentre os impactos ambientais relacionados às práticas agrícolas, incluindo sequeiro e irrigação, evidencia-se a perda de biodiversidade, que pode ser considerada muito grave, quando as áreas de vegetação nativa são reduzidas a ponto de comprometer o equilíbrio necessário à manutenção de espécies animais e vegetais.

Segundo Amaral (2011), por falta de uma classificação de terras adaptada as condições brasileiras, que se basearam na metodologia americana da *Bureau of Reclamation (BUREC)*, não se conhecia o verdadeiro potencial para irrigação, induzindo ao desgaste dos recursos ambientais ou abrindo-se mão da maximização do retorno econômico. Tal situação é acentuada no Semiárido, uma vez que frente à urgência das políticas públicas, principalmente nos projetos públicos de irrigação, não foram levadas em consideração as características locais, podendo potencializar os impactos ambientais adversos, como o processo de salinização dos solos.

A salinidade do solo é um fator da degradação físico-química, que limita a produção agrícola, e que pode ser um processo natural ou resultante das atividades antrópicas, definido como salinização secundária (AMARAL, 2011).

Nas regiões semiáridas, os baixos índices pluviométricos, as altas taxas de evapotranspiração, a baixa eficiência da irrigação e drenagem insuficiente contribuem para o processo de salinização secundária. Portanto, a salinização está relacionada a uma ou mais das seguintes causas: 1. Acumulação da água com alto teor de sais, proveniente da irrigação; 2. elevação do nível de água subterrânea; 3. Falta ou ineficiência dos sistemas de drenagem; 4. Utilização de fertilizantes com elevado índice salino, como cloreto de potássio, nitrato de sódio e nitrato de amônio.

A salinidade do solo pode ser comprovada pelo fenômeno da seca fisiológica, no qual mesmo o solo apresentando umidade, as plantas não conseguem absorver a água em função dos sais presentes. Ainda observa-se que íons como sódio, boro e cloreto podem ser tóxicos às plantas.

A adubação dos solos, seja a partir de compostos naturais ou artificiais, tem sido utilizada de forma intensa no manejo dos mesmos, modificando

quimicamente sua composição, objetivando atender a crescente demanda de produtos agrícolas. Além de contribuir para a salinização dos solos, os fertilizantes podem causar a eutrofização de mananciais devido à lixiviação de compostos aplicados nos solos (BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 1999).

É observado que no Semiárido, o maior problema da irrigação está relacionado à captação da água proveniente dos poços artesianos e de pequenos reservatórios superficiais, que apresentam elevada salinidade – classes C3S3 ou C3S4; já nos perímetros irrigados pelas grandes bacias, a exemplo do São Francisco, o risco é baixo em função da qualidade da água (AMARAL, 2011).

Segundo o PAN Brasil (BRASIL, 2004), estima-se que nos perímetros irrigados implantados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), 2.887 ha (aproximadamente 6,1% da área irrigada) estão salinizados ou apresentam tendência à salinização. Já nas regiões do Vale do São Francisco, há um mínimo de 50.000 ha (aproximadamente 15% da área irrigada) com teores médios e altos de salinização.

Os principais impactos da irrigação são a introdução intensiva de espécies exóticas de frutas e hortaliças, necessitando de constante tratamento fitossanitário, com o uso de agrotóxicos, a erosão laminar dos solos; a intensificação da urbanização causada pela atividade das áreas de economia dinâmica; o lançamento de esgotos sanitários sem prévio tratamento nos rios e a poluição causada pelo descarte de resíduos, incluindo urbanos (NUNES, 2006).

Atribui-se à prática de coivaras como uma das principais ações antrópicas relacionadas ao quadro de degradação ambiental observado no Semiárido. Segundo Leonel (2000), a roça de coivara é também chamada de roça itinerante ou rotativa, sendo descrita na literatura anglo-saxônica como *slash and burn* (corte e queima) ou *shifting cultivation* (agricultura itinerante), e consiste na escolha do local onde se abrirá uma clareira, a partir da derrubada da mata nativa, e da limpeza prévia do local, formando-se a coivara, onde será ateado o fogo.

A chama funciona como uma ferramenta, um item de capital físico, reduzindo-se a quantidade de esforço humano e do tempo necessário para preparo do meio, aumentando-se, portanto, a produtividade.

Verifica-se ainda o aumento da fertilidade do solo com as cinzas da vegetação queimada e da baixa presença de ervas daninhas. Entretanto, logo a fertilidade decresce e a infestação aumenta; e, geralmente após 3 a 5 anos, tal área

tende a ser abandonada, para pousio ou regeneração da vegetação nativa, resultando em um modelo de agricultura itinerante (NUNES, ARAÚJO FILHO, 2006; SAMPAIO *et al.* 2003). No entanto, o descanso do solo, que, em geral, deveria durar entre 10 e 15 anos, é frequentemente encurtado, por necessidade de áreas para os sistemas agropecuários, ainda que resulte em decréscimo da produtividade.

Leonel (2000) ainda discute que, apesar de ser uma técnica herdada dos povos indígenas, a mesma era realizada de modo sustentável, que permitia a manutenção do equilíbrio do ecossistema; e somente com a chegada do homem branco, que passou a adotar amplamente tal técnica, é que a mesma passou a contribuir efetivamente para a degradação ambiental.

Warren (1986), no livro “A ferro e a fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica”, cuja central do título aborda o ferro, que representa o machado europeu e o fogo, representando as coivaras dos índios sobre a devastação da mata atlântica, no enfoque da “história ambiental”, também partilha da ideia de que o avanço civilizatório foi o responsável pela destruição dos ecossistemas naturais brasileiros.

Além da degradação dos solos provocada pelo uso do fogo, há o risco de incêndios florestais e emissão de gases de efeito estufa, com impactos de caráter local, regional ou mesmo global sobre a degradação/ desertificação.

Segundo Sampaio *et al.* (2003) em áreas abertas de caatinga, pode-se acumular uma grande massa de capins que secam na época de estiagem. Por conta de tais massas, as queimadas naturais são mais frequentes que nos trechos de caatinga mais fechada, onde a massa dos arbustos e árvores, mais distribuída no espaço, impede ou retarda a propagação do fogo, tornando raras as queimadas naturais. Logo a diminuição da cobertura vegetal contribui para a propagação de incêndios florestais.

A Figura 69 mostra o aspecto ambiental da preparação de uma área para implantação de uma cultura agrícola. A técnica utilizada consistiu na destoca, isto é, retirada do material lenhoso pelo corte raso das árvores seguido da queima da área. Como no período correspondeu a um ano de grande estiagem (2013), não houve a implantação o plantio, sendo a área degradada abandonada para regeneração natural.

Figura 69 – Preparação de área para implantação de cultura agrícola.



Fonte: Arquivo pessoal.

A retirada da vegetação, além de alterar a paisagem, contribui para o enfraquecimento do solo, pois o mesmo fica descoberto e sujeito à erosão. Ressalta-se que a prática de desmatamento está, usualmente, associada à queima da vegetação – coivara, sendo, portanto, analisado em conjunto neste item. A Figura 9 ilustra o processo erosivo no Semiárido.

A perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial, com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material. A desagregação de coloides do solo pela ação das chuvas e a diminuição da rugosidade da paisagem fazem com que a ação do escoamento superficial, nas encostas e nos leitos dos cursos de água, desequilibre os processos erosivos naturais das bacias hidrográficas.

Com os desmatamentos e queimadas, as áreas cobertas com vegetação nativa têm uma erosão pequena, enquanto áreas desnudas e com cultivos agrícolas apresentam erosão de 10 a 100 vezes maiores. Além disso, refletem no assoreamento dos reservatórios e na regularização dos fluxos de água (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Figura 70 – Erosão em antiga área agrícola do Semiárido.



Fonte: Arquivo pessoal.

Impactos relacionados à diminuição da cobertura vegetal ainda incluem efeitos sobre a fauna, pois os animais ficam sem abrigo e alimento, e sobre a redução da quantidade e tipos de espécies da flora nativa.

A utilização de fertilizantes artificiais e agrotóxicos nas áreas de agricultura irrigada acarretam impactos aos meios natural e antrópico. O comportamento dos agrotóxicos no meio ambiente é em função da ação e degradação de cada ingrediente ativo nos compartimentos ambientais. A lixiviação e escoamento superficial favorecem a contaminação das águas subterrâneas.

Os fertilizantes agrícolas, assim como e a queima de resíduos agrícolas, liberam gases como CH_4 , CO_2 , CO , N_2O e NO_x , que contribuem para a poluição atmosférica, e contribuem para o efeito estufa. Também se inclui a queimada para a limpeza de novas áreas e queima de restos de culturas que liberam CO_2 para a atmosfera (IPCC, 2007).

As mudanças climáticas devido ao aumento da emissão de gases pelo homem causam modificações nos regimes pluviométrico e hídrico, e na temperatura global. Simulações sugerem que nas regiões de clima tropical haverá reduções mais acentuadas na produção agrícola (IPCC, 2007).

c. Exploração florestal

A exploração de recursos vegetais do bioma caatinga se configura em importante atividade econômica para o Semiárido, sendo utilizada na geração de energia a partir da biomassa, que representa a segunda fonte na matriz energética na Região, na comercialização de produtos florestais madeireiros e não madeireiros e ainda para o fornecimento de forragem para a pecuária.

A supressão da vegetação, relacionada a diversas atividades econômicas, sendo usual que a área explorada para retirada de lenha seja aproveitada para plantio de culturas agrícolas ou pastagem.

A supressão vegetal é mencionada na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (BRASIL, 2004), como uma forma de degradação da terra pela destruição da vegetação por períodos prolongados.

A retirada da vegetação nativa tem por objetivos: 1) a substituição da cobertura vegetal por construções ou sua retirada contínua para a manutenção de áreas descobertas; 2) a retirada da vegetação para utilizar material do solo ou subsolo; 3) a destruição periódica por fogo para facilitar a caça ou manter uma cobertura baixa; 4) a retirada das plantas para lenha; e 5) a substituição da vegetação original por outra de melhor produção agrícola ou melhor uso como pastagem (BRASIL, 2004).

A exploração os recursos florestais madeireiros é voltada ao atendimento de necessidades energéticas da população: lenha e carvão de residências, olarias, pequenas indústrias e padarias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Na maior parte da caatinga, de porte da vegetação é limitado pelas condições ambientais menos favoráveis e pela pressão antrópica. As alturas máximas das árvores pouco ultrapassam os 10 m e as arvoretas esgalhadas e os arbustos são mais abundantes. As densidades dos indivíduos com mais de 3 cm de diâmetro ficam entre 1000 e 3000 por hectare; as áreas basais entre $10\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ e $30\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, e a biomassa entre $20\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $80\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

A supressão da vegetação, relacionada a diversas atividades econômicas, sendo usual que a área explorada para retirada de lenha seja aproveitada para plantio de culturas agrícolas ou pastagem. A produção de lenha, que antes representava um subproduto da abertura de áreas da agricultura

itinerante, passou a ser uma atividade independente, principalmente no entorno dos grandes centros consumidores. E o extrativismo, incluindo a produção de mel, colabora para a manutenção de áreas de vegetação nativa principalmente no Piauí e no Ceará (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Segundo dados do IBGE (2012), a produção de carvão vegetal na Região do Nordeste, que em 2011, representou aproximadamente 45% da produção nacional, foi de 616 mil toneladas; a extração de lenha foi de 23 milhões de m³ – cerca de 60% do total nacional. Já na produção de madeira, a Região Nordeste contribuiu com 10% no cenário nacional.

Nos municípios da Chapada do Araripe, no Estado de Pernambuco, onde se localizam indústrias de gesso, a lenha é o principal recurso energético (73%), e seu consumo atinge valores de 30.000 m³/mês, a maioria de origem do extrativismo sem reposição, o que resulta em um desmatamento de aproximadamente 25 ha/dia, sendo a produção de vegetação nativa da região da ordem de 40m³/ha (CUNHA *et al.* 2008).

Segundo o IBGE (2012), em 2011, no Nordeste, a produção de cera de carnaúba foi de 2,6 mil toneladas, enquanto a de pó de carnaúba foi de 18,6 mil toneladas, e de fibras 1,6 mil toneladas. A produção oficial de pequi foi de 4,6 mil e a de umbu 9,1 mil toneladas, comprovando a geração de renda na Região ligada à exploração florestal.

d. Mineração

A exploração de recursos minerais é uma atividade econômica, que compreende a lavra e o tratamento de minérios, sendo fornecedora de insumos às outras cadeias produtivas, e que pode provocar significativos impactos ambientais sobre, por exemplo, a superfície do terreno e a qualidade do ar e das águas.

De acordo com o Projeto Áridas (BRASIL, 1994) a Região Nordeste possui significativo potencial mineral, tendo sua base em minérios industriais, visto que 51% de suas reservas são não metálicos, enquanto que os 39% restante pertencem à classe dos metálicos, além das gemas que constituem segmento importante para a indústria de artesanato e joalheria. O Estudo ainda considera que o setor mineral do Nordeste, por não ser dependente das condições climáticas,

como a agricultura e pecuária, apresenta historicamente maior desenvolvimento nos períodos prolongados de estiagem, onde as populações afetadas recorrem à atividade de garimpagem.

Observa-se uma expressiva ocorrência de minerais na Província Borborema-Seridó, localizada entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, onde foi delimitado o Núcleo de Desertificação do Seridó, podendo-se atribuir à exploração mineral como uma das causas relacionadas aos processos de degradação ambiental do mesmo (OLIVEIRA-GALVÃO, 2001).

Localiza-se na Região do Seridó, em uma área de aproximadamente 20.000 km², o Distrito Scheelitífero do Seridó ou província schelitífera do Seridó, onde se obtém a o mineral Scheelita (WO₃), de onde se extrai o Tungstênio. A Região possui um dos principais depósitos de ocorrência do mineral no Brasil, tendo sido descoberta em 1942, e explorada intensivamente ao longo de quatro décadas (BRASIL, 2009).

Dentre os recursos minerais metálicos com ocorrência na Região, pode-se citar o minério de ferro, embora não seja definida nenhuma mina importante, somente merecendo algum destaque o depósito de Porteirinha (MG) e a Mina do Bonito, em Jucurutu (RN), que começou a operar em 2005. Já dentre os minerais metálicos não ferrosos pode-se citar a jazida de manganês localizada na região de Caetitê/ Licínio de Almeida (BA). Ainda no Estado da Bahia, dentro da delimitação do Semiárido, encontram-se as maiores reservas de cromo do País, sendo ainda a principal produtora, responsável por mais de 90 % da produção nacional (BRASIL, 2009).

Ainda segundo Brasil (2009), o Brasil possui a sexta maior reserva geológica de urânio do mundo, com os dois principais depósitos localizados na região semiárida da Bahia (Distrito Uranífero de Lagoa Real) e no Ceará (Itatiaia).

Na produção de gemas de cor na região semiárida podem ser citadas: água-marinha, no sul da Bahia; água-marinha, turmalina bicolor e verdelita, na região central do Ceará; água-marinha, no extremo oeste do Rio Grande do Norte; e água-marinha e turmalina azul, conhecida como Turmalina Paraíba, no sertão do Seridó (BRASIL, 2009).

No segmento de rochas ornamentais, o Semiárido, embora não seja o maior produtor nacional, possui a maior geodiversidade, com grande variedade de

litologias padrões e cores, tendo a Bahia, seguido do Ceará e Paraíba como os maiores produtores da Região.

Na Região da Chapada do Araripe localiza-se o Pólo Gesseiro do Araripina, onde se concentram grandes depósitos de gipsita, principalmente no Estado de Pernambuco, sendo as reservas cubadas são de aproximadamente 290.000.000 toneladas, distribuídas entre os municípios de Ipubi, Araripina, Trindade, Ouricuri e Bodocó. Sendo a lenha o principal insumo da matriz energética, a indústria do gesso é responsável por elevadas taxas de desmatamento da caatinga.

O panorama mineral da Região Semiárida, incluindo demais classes de minerais, aspectos gerais e informações detalhadas, pode ser visualizado no documento *Mineração no Semiárido Brasileiro* (BRASIL, 2009) elaborado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM).

O setor de mineração, que em 2007 respondeu por cerca de 20 milhões de toneladas de minério bruto (BRASIL, 2009) ocorre de forma dispersa, com grande informalidade, sem nenhum controle por parte dos órgãos governamentais, podendo representar uma atividade com reflexos na degradação ambiental, em função da falta de estudos e planos de controle que viabilizem a sua exploração de modo sustentável.

O licenciamento ambiental relacionado à exploração mineral exige, conforme a Resolução nº 09, de 06 de dezembro de 1990, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), os estudos ambientais e o Plano de Controle Ambiental (PCA), que conterà os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais relacionados à exploração (BRASIL, 1990).

Dentre as principais ações envolvidas nos processos de exploração mineral cita-se a supressão da vegetação para retirada de material do solo ou subsolo, incluindo desde areia de construção nos aluviais de beira de rio e a remoção de camadas de terra para acesso a veios de minério.

As áreas afetadas diretamente pela mineração são, em geral, pequenas, raramente ultrapassando a faixa das dezenas de hectares; no entanto, considerando-se as áreas do entorno, incluindo as de empréstimo e de deposição de resíduos da atividade, em muitos casos tóxicos, pode-se formar uma área de maiores dimensões. A mineração de diamantes tem sido proposta como uma das

causas de desertificação no núcleo de Gilbués e a retirada de argila para fabricação de telha uma das causas no núcleo do Seridó (SAMPAIO *et al.*, 2003).

Dentre os aspectos importantes para que a produção mineral ocorra de maneira a minimizar seus impactos ressaltam-se o controle absoluto dos resíduos da extração, tratamento e beneficiamento; uso de tecnologias adequadas; regulamentação dos empreendimentos a partir de dispositivos constitucionais, legais e jurídicos (BRASIL, 1994).

A Figura 71 lustra a exploração de uma jazida de gnaiss, para produção de brita no Semiárido cearense.

Figura 71 – Exploração de Gnaiss em área rural do Semiárido.



Fonte: Arquivo pessoal.

e. Exploração de recursos hídricos

De acordo com Sampaio *et al.* (2003), apesar das modificações ambientais causadas pela expansão de metrópoles, complexos industriais e estradas, as mesmas não apresentam impacto significativo no Semiárido.

Já a construção de reservatórios artificiais, necessários ao abastecimento, relacionada também à urbanização, que dentre as ações incluem a supressão da cobertura vegetal, necessária à inundação de grandes áreas, inclusive com culturas implantadas, pode, segundo Sampaio *et al.* (2003) originar impactos ambientais, econômicas e sociais de maior magnitude, com o deslocamento de populações e

degradação ambiental; no entanto, em geral, tais obras representam muito mais benefícios que prejuízos, conforme demonstram os estudos ambientais.

As obras hidráulicas, apesar de também fornecer água como insumo produtivo, seja para indústria, agricultura, pode ser também pode ser analisada sob o enfoque da urbanização, em função de ser condição estrutural para o abastecimento humano e demais atividades relacionadas ao meio urbano.

No Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (BRASIL, 2004) foram identificados 44 impactos nas fases de planejamento, construção e operação, sendo avaliados quanto à sua natureza em 11 impactos positivos e 12 como negativos (FIGURA 72). Foram listados o impacto direto de início ou aceleração dos processos de desertificação (item 41), assim como impactos relacionados à desertificação como erosão e carreamento de sedimentos (item 35).

Apesar de considerar que o projeto poderá provocar uma pressão de uso dos recursos naturais, principalmente na área de influência direta próxima ao canal, podendo levar ao estágio de desertificação, e considera que o projeto possibilitará a recuperação de áreas degradadas, fazendo o uso da pequena irrigação, diminuindo assim o tempo de recomposição vegetal.

Dentre as medidas mitigadoras apresentadas no RIMA incluem-se a conscientização do manejo correto da agricultura irrigada e do uso sustentável das terras, assim como a realização de Programa de Apoio ao Controle de Processos de Desertificação. O Programa proposto, voltado à prevenção da desertificação inclui ação de reflorestamento e criação de áreas de preservação.

Entretanto, na análise do EIA da transposição pelo MMA (BRASIL, 2005), contrariando a explanação defendida pelo estudo de impacto, no qual os autores afirmam que o principal fator de desertificação está relacionado à salinização, os aspectos relacionadas à composição química dos solos e altura de lençol freático não parecem ter influenciado a definição de áreas sujeitas à desertificação causada por processo de salinização referente ao empreendimento em questão.

Na construção do Açude Castanhão, no Ceará, houve a inundação da Cidade de Jaguaribara, sendo necessária a construção de uma nova cidade – Nova Jaguaribara para reassentamento da população, envolvendo aspectos técnicos, ambientais, socioeconômicos, além da consulta popular (CAMPOS, 2006).

Segundo o DNOCS (2007), o açude com cerca de 7 mil hectares de espelho de água, capacidade para 6,7 bilhões de m³, sendo 4,5 bilhões para acumulação de 2,2 bilhões para volume de espera e de controle de cheias. A barragem gerou suporte hídrico suficiente para uma vazão de 22 m³/s (com 90% de garantia) que adicionada à vazão remanescente de 7,0 m³/s do açude Orós, permitirá o aproveitamento hidroagrícola de cerca de 30.000 ha na região do Baixo Jaguaribe, além do abastecimento humano em áreas metropolitanas, inclusive da Grande Fortaleza. Entretanto, tal projeto apresentaria uma série de efeitos negativos sobre o quadro natural e socioeconômico das áreas de influência, ligados à salinização dos solos de irrigação, perda da biomassa florestal, assim como erosivos, tendo uma relação direta com a desertificação e que não foram contemplados na avaliação.

No Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe (CEARÁ, 1997), foram analisados os estudos de impactos ambientais, inclusive referente ao projeto do Açude Castanhão; entre as observações consta a de que a bacia hidráulica do Açude inundaria boa parte da mata ciliar preservada. O estudo ainda analisa os processos de degradação ambiental e de áreas desertificadas nos municípios da Bacia; entretanto, não há uma correlação entre os projetos em relação ao risco de desertificação.

A urbanização como uma das possíveis causadoras do processo de desertificação no semiárido nordestino, pode-se citar Oliveira-Galvão (2001), que propôs indicadores ambientais relacionados às atividades humanas: pecuária, agricultura, irrigação, exploração dos recursos florestais, mineração e, inclusive, urbanização, associando-os ao risco de processos de degradação ambiental. Foi observada a influência das atividades antrópicas relacionadas à urbanização sobre a susceptibilidade à desertificação.

No entanto, ao contrário de Sampaio *et al.* (2003), que não considera significativos os impactos da urbanização sobre o Semiárido, poderia considerar o descarte inadequado de resíduos sólidos resultantes das atividades humanas nos centros urbanos, que tendem a reduzir a qualidade ambiental de grandes áreas, os lixões, com impactos significativos sobre aspectos bióticos e abióticos.

Na Região Nordeste concentra uma população de aproximadamente 53 milhões de habitantes e 1.794 municípios, e possuía, em 2008, 1.655 lixões e 166 aterros controlados (IBGE, 2011), ou seja, descarte irregular que comprometia

grandes áreas, com impactos locais e mais abrangentes, a exemplo da contaminação dos recursos hídricos e a geração de gases de efeito estufa.

Com o crescimento das cidades e o aumento da densidade demográfica, inclusive nas cidades de menor porte do Semiárido, aumenta-se a geração de resíduos sólidos, podendo-se, portanto, convergir para a análise de processos de degradação ambiental. No entanto, como as áreas de lixões encontram-se dispersas, e já que a desertificação seja evidenciada como um processo em vastas proporções seria necessário definir-se de modo mais claro a extensão mínima de uma área para que a mesma seja considerada desertificada, podendo-se atribuir os conceitos de desertificação concentrada ou difusa ao processo relacionado ao descarte de resíduos sólidos.

A expansão das taxas de urbanização potencializa o crescimento da indústria da construção civil, seja em projetos de infraestrutura e mesmo das construções residenciais. Tal indústria, ao utilizar recursos de transformação que demandam a exploração de recursos naturais: cimento, areia, brita, argila, madeira, lenha para queima dos fornos cerâmicos, pode também contribuir para a geração de um passivo ambiental que no Semiárido pode desencadear processos de desertificação.

Figura 72 – Impactos relacionados à de Transposição do Rio São Francisco identificados no Estudo de Impactos Ambientais (EIA/RIMA).

IMPACTOS	FASE DE PLAN*	FASE DE CONSTR.	FASE DE OPERAÇÃO	NATUREZA POSITIVO/NEGATIVO
01	x	x		-
02	x			-
03		x	x	-
04		x		-
05		x	x	-
06		x	x	-
07		x		-
08		x		-
09		x		-
10	x	x		-
11		x		+
12		x	x	+
13		x	x	-
14	x	x		-
15		x	x	-
16			x	+
17			x	+
18			x	+
19			x	+
20			x	+
21			x	+
22			x	+
23			x	+
24		x	x	-
25		x	x	-
26		x		-
27			x	-
28			x	-
29			x	-
30			x	-
31			x	-
32			x	-
33			x	-
34			x	-
35		x		-
36		x	x	-
37		x	x	-
38		x	x	-
39			x	+
40		x	x	+
41			x	-
42			x	-
43			x	-
44			x	-

Fonte: Brasil (2004).

f. Atividade industrial

O setor industrial do Semiárido foi constituído, até meados do século XX, por atividades ligadas à industrialização de pescados, beneficiamento da cera de carnaúba e do óleo de oiticica, beneficiamento do algodão e pequenas indústrias

metalúrgicas. Além disso, a industrialização da carne, as charqueadas, teve papel na economia entre os séculos XVIII e XIX. Nas últimas décadas do século XX houve um incremento do setor industrial, incentivadas pelo Fundo Constitucional do Nordeste (FNE) e de demais políticas industriais voltadas ao desenvolvimento, que ainda provocaram uma mudança do perfil dos empreendimentos.

O parque produtivo existente na Região ainda é preponderantemente formado por indústrias tradicionais, com baixa incorporação de inovação, além das baixas produtividade e competitividade. A falta de inovação tecnológica influencia na necessidade de utilização de uma maior quantidade de recursos naturais de entrada (*input*), contribuindo para acelerar os processos de degradação.

Tais indústrias, devido à baixa tecnologia, também são desprovidas de sistemas de tratamento de resíduos e efluentes que garantam o menor passivo ambiental, podendo contribuir para a diminuição da qualidade ambiental.

Pereira *et al.* (2010), contextualizando o que funcionamento de olarias no semiárido nordestino ocasiona múltiplos impactos, desde a utilização da lenha da caatinga utilizada na queima da massa cerâmica, até a disposição desregulada de resíduos, propõem a construção de sistema *wetland* de tratamento de esgoto, através do uso dos rejeitos na construção, que também viabiliza o reuso de água para irrigação contribuindo na recomposição de áreas desmatadas e enfrentamento ao processo de desertificação.

Lima (2010) observou que na extração da argila vermelha utilizada como matéria-prima nas olarias, em virtude da ausência de planejamento e acompanhamento da lavra, há um aproveitamento ineficiente e abandono precoce da mina, levando à abertura de novas frentes de exploração e, conseqüentemente, expandem-se as áreas degradadas.

Dependendo do tipo e do porte da atividade industrial, podem-se relacionar diversos impactos ambientais. No Semiárido, destaca-se o setor industrial atrelado ao setor agropecuário – agroindústria e ao setor mineral, que fornecem insumos à produção industrial. Portanto, os impactos ambientais estariam associados aos impactos das demais fornecedoras de matérias-primas, incluindo desmatamento, queimadas, dentre outros, ou seja, a atividade industrial, ao demandar suprimentos, induz às ações antrópicas de outras atividades, ligadas diretamente aos processos de degradação ambiental.

Outro aspecto crucial da atividade industrial está relacionado à demanda de água, que é um recurso escasso na região, e que passa a concorrer com outros usos. A geração de resíduos sólidos e de efluentes e a geração de gases, também podem contribuir para a degradação ambiental, seja por mecanismos diretos ou indiretos, como, por exemplo, o aquecimento global.

No entanto, impactos positivos podem advir da atividade industrial como a geração de renda, inovação tecnológica, aumento do nível educacional e melhoria da infraestrutura que poderão contribuir para a recuperação da qualidade ambiental.

Núcleos de desertificação

Como resultado da exploração econômica no Semiárido, aliada às condições naturais, observa-se o quadro de degradação ambiental intensa. Os núcleos de desertificação, que foram delimitados a fim de tornarem-se pilotos nos estudos, programas e políticas governamentais relacionados à desertificação. Tais núcleos, cujas extensões e atividades econômicas consideradas como responsáveis pelos altos níveis de degradação ambiental (Quadro 8).

Quadro 8 – Núcleos de desertificação reconhecidos no Nordeste e causas da desertificação.

Núcleo	Superfície (Km²)	Causas principais da degradação/desertificação
Gilbués	6.131	Mineração
Irauçuba	4.000	Ocupação desordenada do solo
Seridó	2.341	Extração de argila e lenha em solos aluviais
Cabrobó	18.431	Agricultura e pecuária em taxas elevadas

Fonte: BRASIL (2004).

APÊNDICE B – EXEMPLOS DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO PARA AS PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS DO SEMIÁRIDO

Quadro 9 – Exemplos de medidas mitigadoras a serem observadas na introdução de atividades econômicas no Semiárido Brasileiro.

Atividade econômica	Medidas mitigadoras
Agricultura de sequeiro	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Escolha da cultura adequada ao ecossistema da propriedade; ▫ Conservação da reserva legal e das áreas de preservação permanente; ▫ Utilização de práticas de cultivo conservacionistas, a exemplos de plantio em curvas de nível e plantio direto; ▫ Rotação de culturas; ▫ Pousio; ▫ Controle biológico de pragas para redução do uso de agrotóxicos; ▫ Uso de quebra-ventos; ▫ Integração de árvores e arbustos; ▫ Não utilização da prática de queimadas; ▫ Cobertura do solo; ▫ Adubação orgânica.
Irrigação	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Manejo eficiente da água de irrigação; ▫ Efetuar drenagem das áreas; ▫ Evitar desperdício do sistema de irrigação; ▫ Escola do sistema de irrigação mais eficiente; ▫ Escolha da cultura adequada ao ecossistema da propriedade; ▫ Conservação da reserva legal e das áreas de preservação permanente; ▫ Utilização de práticas de cultivo conservacionistas, a exemplos de plantio em curvas de nível e plantio direto; ▫ Rotação de culturas; ▫ Pousio; ▫ Controle biológico de pragas para redução do uso de agrotóxicos; ▫ Uso de quebra-ventos; ▫ Integração de árvores e arbustos; ▫ Não utilização da prática de queimadas;

	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Cobertura do solo; ▫ Adubação orgânica.
Pecuária	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Conservação da reserva legal e das áreas de preservação permanente; ▫ Obedecer ao número máximo de unidades animais (UA) por área; ▫ Utilização de práticas de cultivo conservacionistas; ▫ Integração de pecuária, agricultura e vegetação nativa (agrossilvopastoril); ▫ Integração de bovino, caprino e ovinocultura; ▫ Plantio e produção de forragens; ▫ Evitar desmatamentos e queimadas. ▫ Rotação de pastos; ▫ Efetuar medidas de controle da erosão; ▫ Gestão eficiente dos recursos hídricos para garantir o suprimento ao rebanho.
Exploração mineral	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Planejamento e estudos de impactos para exploração; ▫ Recuperação de áreas degradadas; ▫ Tratamento e disposição dos resíduos; ▫ Controle do uso de explosivos;
Exploração de recursos florestais	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Manejo florestal; ▫ Reflorestamento de áreas degradadas; ▫ Conservação da reserva legal e das áreas de preservação permanente;
Exploração de recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Estudos prévios à implantação do projeto, incluindo a localização; ▫ Planos de desmatamento e realocação de espécies; ▫ Plano de reassentamento da população.
Agroindústria	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Evitar a implantação da unidade industrial em área frágil ou ecologicamente importante; ▫ Atender aos critérios técnicos e legais estabelecidos nos estudos de impactos potenciais; ▫ Controlar a qualidade e disposição final dos efluentes sólidos, líquidos e gases, obedecendo aos critérios legais estabelecidos; ▫ Utilizar matérias-primas e demais insumos de cadeias de suprimentos de aspectos e padrões conservacionistas.

Fonte: Adaptado de Banco do Nordeste do Brasil (1999).

APÊNDICE C – ASPECTOS HISTÓRICOS DA OCUPAÇÃO DO SEMIÁRIDO E REFLEXOS NA VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO

Ao Sul do Amazonas, entre os rios Parnaíba e São Francisco, estende-se uma zona periodicamente flagelada por secas. Quando as estações correm regularmente há leves chuvinhos, chamados de caju, à passagem do sol para o Sul; chuvas maiores caem antes ou depois do equinócio de março; São João é já fins d'água. No caso contrário secam os rios, exceto em alguns poços e depressões, murcham os pastos, permanecem nuas as árvores, sucumbe o gado à sede ou à inanição, e a gente morre à fome quando só dispõe dos recursos locais. A necessidade de lutar contra a calamidade inspirou a construção de açudes, a cultura das vazantes, a retirada do gado, a distribuição de ramas para alimentá-lo, as grandes levadas de retirantes (ABREU, 1907, p. 5)

A atual região semiárida brasileira recebeu várias denominações ao longo do tempo, o “Sertão” para se referir a uma terra distante, longínqua, sendo tal denominação já observada nos primeiros registros sobre a descoberta da nova terra. Nesse caso, o Sertão refere-se a toda região que não fosse o litoral, e não apenas o Nordeste, sendo bastante utilizada até os dias atuais; houve ainda a denominação de nordeste das secas; e em 1936, foi de polígono das secas. A denominação de Semiárido passou a ser utilizada a partir de 1988, com a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988).

A delimitação do Polígono das Secas como espaço oficial de ocorrência das secas no Nordeste, foi efetuada a partir da Lei nº 175, de 07 de janeiro de 1936, regulamentando um dispositivo constitucional, e estabelecia o plano sistemático da defesa contra os efeitos das secas nos Estados da área incluiria obras e serviços de natureza permanente, obras de emergência e serviços de assistência às populações, durante as crises climáticas que exigissem imediato socorro (CARVALHO, 2006).

Inicialmente, a colonização do Nordeste ficou restrita ao litoral, onde se desenvolveu a cultura açucareira. No Semiárido, em função das características naturais, desenvolveu-se, a partir do século XVII, a introdução da pecuária, principalmente do gado bovino, para abastecimento dos mercados de Pernambuco, Bahia e Rio de Janeiro, dando início ao período econômico conhecido como o ciclo do couro. As populações das zonas canavieiras eram mantidas com a pecuária e dos excedentes da lavoura de subsistência produzidos no sertão.

As áreas secas do interior do Nordeste, de Pernambuco ao Ceará, constituíam domínio dos índios até a primeira metade do século XVII. A

ocupação dos portugueses foi lenta, seguindo a implantação e o desenvolvimento da pecuária, única atividade que era possível instalar nas regiões das caatingas” (ALVES, 1982, p 16).

No entanto, a pecuária, apesar de sua importância para a colonização e ocupação dos territórios, é nitidamente uma atividade secundária, de subsistência, estando sempre em segundo plano em relação à cultura exportadora da cana-de-açúcar, assim como as lavouras agrícolas da mandioca, milho, feijão e arroz (PRADO JUNIOR, 1998).

A seca, evento histórico e constante na região, encontra-se registrada desde o século XVI; no ano de 1583, há o relato de uma grande seca na região de Pernambuco, tendo sido responsável pela migração forçada de 4.000 a 5.000 índios do Sertão para escapar da fome (ALVES, 1982). A narrativa demonstra que mesmo ainda não tendo enfrentado pressões antrópicas, que levariam a degradação dos ecossistemas naturais, a seca já causava transtornos à população nativa (CAMPOS, 2009).

O povoamento da capitania hereditária, de 275 léguas, onde se encontra a atual região semiárida, não prosperou inicialmente; o processo de povoamento foi retardado em função da presença de índios, da esterilidade da terra e da dificuldade de locomoção (ALVES, 1982).

Com a consolidação e rápida expansão da indústria açucareira nas regiões litorâneas no Nordeste, de alta produtividade e rentabilidade, e elevado grau de especialização, havia a geração de recursos para garantir a defesa da Colônia e justificar a existência de outras atividades econômicas. A alta rentabilidade induzia à especialização, justificando, do ponto de vista econômico, que os empresários do setor não quisessem desviar seus fatores de produção para atividades secundárias, como a produção de alimentos, incluindo a carne e as duas principais fontes de energia dos engenhos – a lenha e os animais, assim como a madeira para a construção.

Com a devastação das florestas litorâneas e os conflitos gerados com a criação de gado nessas faixas, e o próprio governo português proibindo a sua exploração, surgiu a necessidade de adentrar-se para o interior do Nordeste, a fim de suprir a economia açucareira com alguns dos insumos produtivos necessários. Portanto, a colonização do Sertão esteve atrelada à indústria açucareira, como fornecedora de insumos.

Segundo ainda Furtado (1998), o regime das águas e distâncias entre os mercados exigiam periódicos deslocamentos da população animal, sendo inexpressiva a fração de terras ocupadas permanentemente. A acumulação de capital dentro da “economia criatória” induzia à sua constante expansão, independente da demanda do mercado, mas baseando-se na existência de extensões de terra que pudessem ser ocupadas; tais características da economia criatória foram fundamentais para a expansão da pecuária no interior brasileiro.

Sendo a condição fundamental para a expansão da economia criatória a disponibilidade de terras, e com a capacidade de suporte no sertão nordestino extremamente baixa, os rebanhos cruzaram o São Francisco, chegando ao Tocantins e ao Maranhão. Conseqüentemente, como os pastos se distanciavam do litoral, seus custos aumentavam, em função das distâncias e dificuldades envolvidas nas operações de transporte.

A descoberta de ouro no território de Minas Gerais no Século XVIII provocou o aumento da demanda de gado para os campos auríferos, e, conseqüentemente, dos preços, que influenciou no crescimento da pecuária no semiárido. Prosperavam assim as fazendas, grandes e pequenas, predominantemente voltadas à pecuária bovina, onde a agricultura era destinada ao suprimento das necessidades básicas dos moradores. O Sertão era composto por uma rede de fazendas, onde o proprietário assumia a autoridade absoluta sobre a própria família e dos moradores e agregados, assemelhando-se a feudos, dando origem ao coronelismo rural (CARVALHO, 1985).

Foi na rota do gado, que se formaram as povoações do interior do Nordeste.

Por maior cuidado na condução das boiadas, transviavam-se algumas reses, outras por fracas ficavam incapazes de continuar a marcha. Contando com isso, alguns moradores se estabeleceram nos caminhos e por pouco preço compravam este gado depreciado que mais tarde cediam em boas condições. Além disso, faziam uma pequena lavoura, cujas obras vendiam aos transeuntes; alguns, graças aos conhecimentos locais, melhoraram e encurtaram as estradas; fizeram açudes, plantaram canas, proporcionaram ao sertanejo uma de suas alegrias, a rapadura. No rio S. Francisco, desde a barra do Salitre até São Romão, descobriram-se jazidas de sal na detenção de três graus geográficos, que preparado com algum trabalho provou excelente. Graças a estas circunstâncias, formou-se no trajeto do gado uma população relativamente densa, tão densa como só houve igual depois de descobertas as minas, nas cercanias do Rio (ABREU, 1907, p. 74).

Segundo Girão (1986), em 1723, no Ceará, um fazendeiro, em seu espólio, declarava-se proprietário de mais de 8.000 cabeças de gado bovino; outro, em 1740, declarou-se dono de 2.260 cabeças, demonstrando-se, já no século XVIII, a formação dos latifúndios rurais.

Com a constatação da distância entre os mercados produtores e os consumidores, que tornava complexa e onerosa a venda do gado vivo, desenvolveu-se, inicialmente no Ceará, antes de 1740, a industrialização da carne, a partir da salga, instaurando-se a indústria da charqueada. As charqueadas eram montadas nos próprios portos, para onde o gado era enviado e abatido, sendo então transportados pelos navios que faziam a cabotagem entre os portos da colônia. Posteriormente, a indústria avançou no Rio Grande do Norte e Piauí, chegando até o Rio Grande do Sul, que após a grande seca ocorrida entre 1790 e 1793, que praticamente aniquilou os rebanhos do Ceará, passou a dominar o mercado no Brasil. Apesar da recuperação dos rebanhos, algumas charqueadas ainda permaneceram funcionando no Piauí, no século XIX, entretanto, as secas recorrentes tinham encerrado o ciclo das charqueadas.

Em meados do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, desponta-se um novo ciclo econômico no Semiárido, a partir da cultura do algodão. Em função de ser uma cultura que se desenvolve melhor em clima seco, a mesma encontrou no Semiárido uma região bastante propícia à sua exploração. No Brasil, o Maranhão foi como o primeiro grande produtor, tendo, inclusive, sido o primeiro exportador para o mercado europeu (PRADO JUNIOR, 1998). A cultura então se expandiu Brasil, desde o atual Estado do Pará até o Rio Grande do Sul. A guerra da independência dos Estados Unidos e a Revolução Francesa no final do século XVIII determinaram condições de mercado favoráveis às exportações nordestinas.

Pelos portos do Ceará embarcaram entre os anos de 1816 e 1819, cerca de 1.600 toneladas de algodão (GIRÃO, 1986). Entretanto, com a retomada da produção americana após a independência, de questões políticas internas, além da influência das oscilações médias de precipitação das chuvas sobre a quantidade produzida, as exportações de algodão caíram. Entretanto, com a Guerra Civil americana, a cultura tomou novo impulso. Houve a expansão da fronteira agrícola, a partir da derrubada das matas nativas; no ano de 1866, foram comercializadas, na cidade de Fortaleza, mais de 2.000 toneladas do produto.

Passada a época do “ouro branco”, onde o enfoque era a exportação, as lavouras de algodão mocó, consorciadas com o milho e associadas à pecuária, constituiu-se na principal atividade geradora de renda para pequenos produtores do semiárido até a década de 1980. No entanto, a disseminação da praga do bicudo (*Anthonomus grandis Boheman*), foi um dos principais determinantes para o declínio da atividade.

Portanto, observa-se que a ocupação da Região Semiárida está relacionada às culturas pecuária e algodoeira, vulneráveis à ocorrência das secas, que chegaram muitas vezes a dizimar a produção e provocar êxodo das populações famintas à procura de alimentos nas zonas úmidas e no litoral do Nordeste, assim como para as outras regiões do Brasil.

Segundo Souza Filho (2011), a ocupação do Semiárido, baseado na exploração do gado e depois associado ao algodão, está vinculado ao processo de degradação ambiental devido ao manejo da terra realizado através de coivaras. Dessa forma, as coivaras, até hoje utilizadas, expõem os solos rasos à erosão, principalmente na área de Depressão Sertaneja, e, conseqüentemente, reduz-se a produtividade agrícola, contribuindo para o atraso da Região.

APÊNDICE D – AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO BRASIL

Enquanto em países desenvolvidos, a institucionalização da AIA ocorreu em função de pressões sociais e ao avanço da consciência ambientalista, no Brasil ela foi adotada por exigência dos organismos multilaterais de financiamento.

Os primeiros estudos ambientais realizados no Brasil contemplaram projetos financiados pelo Banco Mundial – as Barragens de Sobradinho (1972) e de Tucuruvi (1977). Tais avaliações serviram como critérios na tomada de decisão do Banco Mundial, não tendo sido submetidos à avaliação governamental, uma vez que não existia, à época, instrumento legal no Brasil que condicionasse a aprovação em função de critérios ambientais (SÁNCHEZ, 2008).

A exigência da realização de estudos ambientais, e, conseqüentemente, a avaliação de impactos, foi instituída no Brasil, a partir da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, definindo a Política Nacional de Meio Ambiente, que apresenta, dentre os seus objetivos: A compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico (art. 4, inc. I), e como alguns dos seus instrumentos o zoneamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais (art. 9, inc. II e III).

A Resolução nº 01, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 23 de janeiro de 1986, definiu, em seu artigo 1º, o impacto ambiental como sendo:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:
I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
II - as atividades sociais e econômicas;
III - a biota;
IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
V - a qualidade dos recursos ambientais.”

Tal definição de impacto tem por objetivo atribuir um caráter sempre negativo a alteração; entretanto, observa-se que o impacto pode resultar em um efeito benéfico. A Resolução CONAMA 01/86 ainda definiu a necessidade da realização do estudo ambiental (EIA) e do respectivo relatório (RIMA) para o licenciamento do órgão ambiental competente de algumas atividades modificadoras do meio ambiente, tais como: ferrovias, portos, aeroportos, exploração de madeira

ou lenha em áreas maiores do que 100 ha, ou menores dependendo da sua importância ambiental.

A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, revisou os procedimentos do licenciamento ambiental, definindo a sistemática dos processos, atividades, competências e tipos de estudos ambientais.

Nas esferas estaduais e municipais, os requisitos legais, relacionados à avaliação de impactos ambientais, têm evoluído ao longo dos últimos anos na maioria dos Estados, embora prioritariamente, ligados a empreendimentos e atividades, e não relacionado às avaliações estratégicas, e nem aos requisitos de zoneamento ecológico-econômico (ZEE).

Metodologias e sistemas de avaliação com múltiplos critérios de impactos ambientais têm sido desenvolvidos no Brasil. Cita-se o trabalho de Rodrigues, Campanhola e Kitamura (2002), que criaram o sistema de avaliação de impacto ambiental (Ambitec-Agro) na EMBRAPA, composto por oito indicadores para composição do Índice de Impacto Ambiental para avaliar a introdução de uma inovação tecnológica agropecuária. Posteriormente, Figueirêdo (2008) desenvolveu o Ambitec-Ciclo de Vida para avaliar o impacto de uma inovação em relação a um produto ou processo substituto, considerando o conceito de ciclo de vida e de vulnerabilidade ambiental.

Na Região Nordeste, e em particular no Semiárido, cujas características naturais demandam uma avaliação de impactos ambientais das atividades focando também em critérios associados aos riscos de degradação/ desertificação, tem-se desenvolvido estudos, tanto para implantação de projetos específicos, como contribuições acadêmicas voltadas à questão.

Nunes (2006) desenvolveu uma sistemática de avaliação ex-post objetivando avaliar a sustentabilidade hidroambiental de perímetros irrigados, através de metodologia de avaliação de impactos ambientais e de riscos associados. O estudo foi conduzido na área do Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), no Estado do Ceará.