



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

**SISTEMA DE AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ESPACIAL DO PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO NO SERIDÓ POTIGUAR E PARAIBANO, SEMIÁRIDO  
BRASILEIRO**

RICARDO DA CUNHA CORREIA LIMA

Campina Grande, PB

Abril, 2017

RICARDO DA CUNHA CORREIA LIMA

**SISTEMA DE AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ESPACIAL DO PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO NO SERIDÓ POTIGUAR E PARAIBANO, SEMIÁRIDO  
BRASILEIRO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais.

**Área de Concentração:** Sociedade e Recursos Naturais.

**Linha de Pesquisa:** Gestão de Recursos Naturais.

**Orientador:** Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi

Campina Grande - PB

Abril, 2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

L732s

Lima, Ricardo da Cunha Correia.

Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó Potiguar e Paraibano, Semiárido Brasileiro / Ricardo da Cunha Correia Lima.– Campina Grande, 2017.

150 f. il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi".

Referências.

1. Desertificação. 2. DPSIR. 3. Análise de Decisão Multicritério – Sistema de Informações Geográficas. 4. GIS-MCDA. 5. Desertificação – Ações para Enfrentamento. I. Curi, Wilson Fadlo. II. Título.


CDU 504.5(81)(043)

**RICARDO DA CUNHA CORREIA LIMA**

SISTEMA DE AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO ESPACIAL DO PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO NO SERIDÓ POTIGUAR E PARAIBANO, SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**APROVADO EM:** 26/04/2017

**BANCA EXAMINADORA**



**Dr. WILSON FADLO CURI**

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



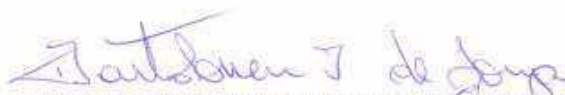
**Dr. GESINALDO ATAÍDE CÂNDIDO**

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**Dr. SÉRGIO MURILO SANTOS DE ARAÚJO**

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**Dr. BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA**

Universidade Federal da Paraíba – UFPB



**Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA**

Universidade Federal da Paraíba-UFPB

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho de pesquisa à memória do **Prof. Ignacio Hernán Salcedo**, diretor do Instituto Nacional do Semiárido, com quem tive inúmeras oportunidades de diálogo, aprendizado e crescimento profissional e pessoal. Saudades, meu amigo!*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Antônio e Maria, por terem fixado em nós, filhos, a ideia dos estudos como melhor caminho para o sucesso pessoal e profissional;

Aos meus filhos Rafael, Fabio e Flavia, eternas motivações para o meu crescimento como ser humano;

À minha amada Ana Paula, pelo carinho, companhia, paciência e pelo exemplo de luta, determinação, compromisso e dedicação a tudo o que faz;

Aos meus irmãos, tantos, que sempre me incentivaram a seguir em frente e superar mais esse desafio;

Ao meu orientador Wilson Fadlo Curi, por ter dedicado seu tempo e emprestado seu conhecimento e experiência, indispensáveis ao desenvolvimento dos meus estudos;

Ao Instituto Nacional do Semiárido, nas pessoas de Salcedo, Salomão, Tinoco, Fabiane, Geovergue, João Macêdo, entre muitos, pelo apoio científico, material e humano;

Ao grupo de geoprocessamento do INSA, nas pessoas de Josilene, Talita e Cícero, pelo apoio nas discussões e tarefas técnicas de processamento de imagens, análise multicritério e sistemas de informações geográficas;

Aos professores Eduardo Rodrigues Viana de Lima, Bartolomeu Israel de Souza, Iana Alexandra Alves Rufino e Gesinaldo Ataíde Cândido, pela colaboração, ainda na fase de qualificação, e pelas recomendações para a conclusão dos estudos;

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, em especial ao professor Carlos Antônio e à secretária Cleide, pelos esclarecimentos, paciência e amizade;

Aos especialistas em desertificação consultados, sem os quais parte importante dos estudos não poderia ser conduzida;

Aos amigos e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram com palavras e exemplos animadores para a conclusão desse meu processo de qualificação profissional.

A todos, o meu muito obrigado!

LIMA, R. C. C. **Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó potiguar e paraibano, semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017, 150 f.

## RESUMO

A desertificação é um fenômeno de escala global caracterizado pela degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas para o qual concorrem fatores de ordem ambiental, social, econômica e institucional. Definir um conjunto de ações para seu enfrentamento requer o conhecimento das complexas relações estabelecidas entre a sociedade e o meio ambiente de modo a identificar e monitorar as causas e consequências do processo. A modelagem dessa realidade permanece um desafio para pesquisadores em todo o mundo, especialmente no Brasil, em virtude da grande quantidade de aspectos a serem considerados para os quais nem sempre há informações confiáveis e disponíveis. Procurando reduzir essa lacuna, o presente estudo estruturou um sistema de avaliação e comparação espacial da desertificação para os 32 municípios das microrregiões geográficas do Seridó paraibano e potiguar a partir de um conjunto de 27 indicadores recomendados na literatura relacionada, organizados segundo o modelo conceitual DPSIR - força motriz, pressão, estado, impacto e resposta. Os indicadores, discretos ou continuamente distribuídos, foram calculados, normalizados, ajustados à relação direta ou inversa com a desertificação, ponderados por especialistas de diferentes áreas do conhecimento e organizados em planos de informação do tipo raster. Técnicas de análise de decisão multicritério incorporadas a um sistema de informações geográficas foram utilizadas para desenvolver índices multicriteriais de desertificação, para cada categoria DPSIR, como instrumentos de avaliação das causas estruturais, causas diretas, susceptibilidade, consequências e respostas da sociedade para o problema. Os resultados apontaram que causas estruturais do processo, entre elas a concentração de terra, desigualdade social e cultura do consumo, mantêm 49,7% da área estudada em níveis de severidade moderado, forte ou muito forte de desertificação. Já as causas diretas, representadas pelo desmatamento e manejo inadequado da terra, afetam 19,7% da área com a mesma gravidade. Quanto à susceptibilidade ambiental, econômica e social, 83% da área está sujeita a iniciar ou agravar processos de desertificação em níveis de severidade moderado, forte e muito forte. Os impactos do processo, observados pela migração do campo para a cidade e pelo declínio da participação da agropecuária no PIB municipal, ocorrem com igual gravidade em 73,5% da área. Por fim, apenas 19,9% da área está relativamente preparada para enfrentar o problema através da organização do poder público e da sociedade civil em virtude dos níveis baixo e muito baixo de desertificação registrados. Numa avaliação global, considerando simultaneamente os 27 descritores do problema, observou-se que 59,7% da região está submetida a níveis moderado, forte ou muito forte de desertificação. Diante dos resultados alcançados, o estudo em questão sugere a promoção de ações governamentais e da sociedade civil para ampliar o acesso da população rural, nas áreas mais afetadas, à terra, à programas de geração ou transferência de renda, à educação básica universalizada, à assistência técnica agroecológica, à programas de recomposição da vegetação nativa, à serviços de proteção social dos contingentes que migram para as cidades, entre outras iniciativas, visando o enfrentamento do processo de desertificação e mitigação de suas consequências.

**Palavras-chave:** Desertificação. Indicadores. DPSIR. Análise de decisão multicritério. Sistema de informações geográficas. GIS-MCDA.

LIMA, R. C. C. **Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó potiguar e paraibano, semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017, 150 f.

## ABSTRACT

Desertification is a global phenomenon characterized by the degradation of land in the arid, semi-arid and dry sub-humid areas for which environmental, social, economic and institutional factors compete. Define a set of actions to address it requires knowledge of the complex relationships established between society and the environment to identify and monitor the causes and consequences of the process. The modeling of this reality remains a challenge for researchers worldwide, especially in Brazil, due to the large number of aspects to be considered for which there is not always reliable and available information. To reduce this gap, this study structured a system of evaluation and spatial comparison of desertification for the 32 municipalities of Seridó geographical microregions in Paraíba and Rio Grande do Norte from a set of 27 indicators recommended in the related literature, organized according to the conceptual model DPSIR - forces, pressures, state, impacts, and responses. The indicators, either discrete or continuously distributed, were calculated, normalized, adjusted for the direct or inverse relationship with desertification, weighted by experts from different areas of knowledge and organized into raster type information plans. Multicriteria decision analysis techniques incorporated into a geographic information system were used to develop multicriteria desertification indexes for each DPSIR category as instruments for assessing the structural causes, direct causes, susceptibility, consequences and society's responses to the problem. The results pointed out that the structural causes of the process, including land concentration, social inequality and consumption culture, hold 49.7% of the area in a moderate, strong or very strong level of desertification. Direct causes, represented by deforestation and inadequate land management, affect 19.7% of the area in the same way. Regarding environmental, economic and social susceptibility, 83% of the area is subject to initiate or aggravate desertification processes at moderate, strong and very strong levels. The impacts of the process, observed by migration from the countryside to the city and by the decline of agriculture and livestock's contribution to local GDP, occur equally in 73.5% of the area. Finally, only 19.9% of the area is relatively prepared to tackle the problem through the organization of government and civil society. In an overall assessment, 59.7% of the region is subjected to moderate, strong or very strong levels of desertification, considering all the 27 descriptors of the problem. Most of the region, according to the study, demand actions of governments and society to expand rural population access to land, income generation or transfer programs, universal basic education, agroecological technical assistance, native vegetation recovery programs, social protection services for the contingents that migrate to the cities, among other initiatives, aiming to confront the desertification process and mitigate its consequences.

**Keywords:** Desertification. Indicators. DPSIR. Multicriteria decision analysis. Geographic Information System. GIS-MCDA.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas susceptíveis à desertificação e áreas afetadas por processos de desertificação. ....	24
Figura 2 – Pirâmide de informação.....	27
Figura 3: Representação dos Índices de Preferências Globais do método PROMETHEE. ....	47
Figura 4: Localização da área de estudo e imagem Landsat 8/OLI de 25/07/15 em falsa cor R6G5B4.....	54
Figura 5: Unidades de solo do Seridó. ....	58
Figura 6: Hipsometria do Seridó. ....	59
Figura 7: Fluxograma das etapas metodológicas. ....	65
Figura 8: Organização dos indicadores em árvore hierárquica. ....	76
Figura 9. GIS-MCDA para tomada de decisão em grupo: a) agregação de preferências a priori e b) agregação de preferências a posteriori. ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ = critérios, $DM_1, DM_2, \dots, DM_z$ = tomadores de decisão). ....	78
Figura 10: Nível de escolaridade dos entrevistados. ....	83
Figura 11: Tipos de atuação profissional dos entrevistados. ....	83
Figura 12: Áreas de formação profissional dos entrevistados. ....	84
Figura 13: Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal no Seridó. ....	85
Figura 14: Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade no Seridó. ....	86
Figura 15: Analfabetismo no Seridó. ....	87
Figura 16: População abaixo da linha de pobreza no Seridó. ....	88
Figura 17: Influência da população urbana no Seridó. ....	89
Figura 18: Avanço da fronteira agropecuária no Seridó. ....	94
Figura 19: Cobertura vegetal no ano 2015 no Seridó.....	96
Figura 20: Cobertura vegetal no ano 1990 no Seridó.....	96
Figura 21: Mudança na cobertura vegetal no Seridó.....	97
Figura 22: Carga animal no Seridó.....	98
Figura 23: Recorrência de incêndio no Seridó.....	99
Figura 24: Índice de aridez no Seridó.....	104
Figura 25: Índice de seca no Seridó.....	105
Figura 26: Grau de fertilidade do solo no Seridó.....	106
Figura 27: Declividade no Seridó.....	107
Figura 28: Risco de erosão por tipo de textura da classe de solo no Seridó.....	108
Figura 29: Risco de erosão hídrica.....	109
Figura 30: Renda per capita rural no Seridó.....	110
Figura 31: Produtividade das principais culturas temporárias – feijão, no Seridó.....	111
Figura 32: Produtividade das principais culturas temporárias – milho, no Seridó.....	112
Figura 33: Densidade de população rural no Seridó.....	113
Figura 34: Estabelecimentos rurais gerenciados por mulheres no Seridó.....	114
Figura 35: Taxa de migração do campo para a cidade no Seridó.....	119
Figura 36: Variação do valor adicionado da agropecuária no PIB do Seridó.....	120
Figura 37: Organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.....	124
Figura 38: Domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água no Seridó.....	125
Figura 39: Organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.....	126
Figura 40: Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.....	127

Figura 41: Variação da participação das transferências governamentais de renda no Seridó.....	128
Figura 42: Nível de proteção por unidade de conservação no Seridó.....	130

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1: IMD-F: Índice Multicriterial de Desertificação das Forças motrizes .....	92
Mapa 2: IMD-P Índice Multicriterial de Desertificação dos elementos de Pressão .....	101
Mapa 3: IMD-E Índice Multicriterial de Desertificação do Estado atual .....	116
Mapa 4: IMD-I Índice Multicriterial de Desertificação dos Impactos .....	122
Mapa 5: IMD-R Índice Multicriterial de Desertificação das Respostas .....	132
Mapa 6: IMD Índice Multicriterial de Desertificação.....	136

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resumo dos Indicadores de Propensão e de Desertificação.....	31
Quadro 2. Indicadores propostos para escala nacional do Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul.....	33
Quadro 3. Indicadores utilizados no projeto Desertlinks/DIS4ME/ESI.....	36
Quadro 4. Desempenho dos métodos MCDA frente aos indicadores relacionados à sustentabilidade. (+ Bom desempenho, - Fraco desempenho, ± Desempenho mediano)	42
Quadro 5. Tipos de Função de Preferência do método PROMETHEE .....	46
Quadro 6. Municípios pertencentes à área de estudo.....	55
Quadro 7. Indicadores das forças motrizes e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi).....	90
Quadro 8. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-F.....	93
Quadro 9. Indicadores das pressões e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi).....	100
Quadro 10. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-P .....	103
Quadro 9. Indicadores de estado e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi) .....	115
Quadro 12. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-E .....	118
Quadro 13. Indicadores de impacto e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi) .....	121
Quadro 14. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-I.....	123
Quadro 15. Indicadores de resposta e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi) .....	131
Quadro 16. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-R .....	133
Quadro 17. Indicadores de desertificação e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi).....	135
Quadro 18. Área ocupada pelas diversas classes do IMD .....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADESE - Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó  
AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
AHP - *Analytic Hierarchy Process*  
ANA - Agência Nacional de Águas  
APP - Área de preservação permanente  
ASA - Articulação Semiárido Brasileiro  
ASD - Áreas susceptíveis a desertificação  
CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos  
DDP - *Dryland Development Paradigm*  
DESERTLINKS - *Combating Desertification in Mediterranean Europe: Linking Science with Stakeholders*  
DIS4ME - *Desertification Indicator System for Mediterranean Europe*  
DPSIR - *Driving Forces, Pressures, State, Impacts, Responses*  
DRSA - *Dominance-based rough set approach*  
DWE - *DesertWatch Extension*  
EEA – *European Environment Agency*  
ELECTRE - *Elimination and Choice Translating Reality*  
EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte  
ESA - *Environmentally Sensitive Areas*  
ESI - *Environmental Sensitivity Index*  
GDOS - *Global Drylands Observing System*  
GIS-MCDA - *Geographic Information System based on Multicriteria Decision Analysis*  
GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*  
GTDN – Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICW - *Interval Criterion Weights*  
IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte  
IDHM – Índice de desenvolvimento humano municipal  
IGARN - Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte  
IMD – Índice multicriterial de desertificação  
IMD-E – Índice multicriterial de desertificação do estado atual  
IMD-F – Índice multicriterial de desertificação das forças motrizes  
IMD-I – Índice multicriterial de desertificação dos impactos  
IMD-P – Índice multicriterial de desertificação das pressões  
IMD-R – Índice multicriterial de desertificação das respostas  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INSA – Instituto Nacional do Semiárido  
MAUT - *Multi-attribute Utility Theory*  
MAVT - *Multi-Attribute Value Theory*  
MCDA – *Multicriteria Decision Analysis*  
MDS – Ministério do Desenvolvimento Social  
MEDACTION - *Policies for Land Use to Combat Desertification*  
MEDALUS - *Mediterranean Desertification and Land Use*  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*  
OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*  
PAE - Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

PAN-Brasil - Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca  
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento  
PR - *Pareto Race*  
PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*  
PSR - *Pressures, State, Responses*  
QGIS – *Quantum Geographic Information System*  
RDI – *Regional Desertification Indicators*  
SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*  
SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SIMSAB - Sistema de Monitoramento do Semiárido Brasileiro  
SIRGAS - O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SMART - *Simple Multi-Attribute Rating Technique*  
SMCDA - *Spatial Multicriteria Decision Analysis*  
SPI - *Standard Precipitation Index*  
SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas  
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*  
STEM - *Step Method*  
SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente  
TOPSIS - *Technique for the Order of Prioritisation by Similarity to Ideal Solution*  
UNCCD - Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca  
UNEP - *United Nations Environment Programme*  
USGS - *United States Geological Survey*  
UTM - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	<b>Objetivos</b>	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Principal	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	<b>O fenômeno da desertificação</b>	<b>16</b>
2.1.1	Conceito, causas e consequências	16
2.1.2	A degradação das terras no mundo	18
2.1.3	A degradação das terras no semiárido brasileiro	21
2.1.4	O arcabouço legal e institucional brasileiro	25
2.2	<b>Indicadores e índices</b>	<b>26</b>
2.2.1	Indicadores da desertificação	27
2.3	<b>Análise de decisão multicritério</b>	<b>38</b>
2.3.1	Escolha do método MCDA	41
2.3.2	O método PROMETHEE	44
2.4	<b>Análise de decisão multicritério espacial</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>54</b>
3.1	<b>Localização</b>	<b>54</b>
3.2	<b>Aspectos físicos</b>	<b>56</b>
3.3	<b>Aspectos sociais</b>	<b>59</b>
3.4	<b>Aspectos econômicos</b>	<b>60</b>
3.5	<b>Aspectos institucionais</b>	<b>60</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>62</b>
4.1	<b>Materiais</b>	<b>62</b>
4.2	<b>Métodos</b>	<b>63</b>
4.2.1	Seleção e cálculo dos indicadores	65
4.2.2	Enquadramento no modelo conceitual DPSIR e Árvore Hierárquica	73
4.2.3	Consulta aos especialistas e agregação de suas preferências	76
4.2.4	Cálculo dos Índices Multicriteriais Parciais de Desertificação	79
4.2.5	Cálculo do Índice Multicriterial de Desertificação	80
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>82</b>
5.1	<b>Consulta aos especialistas sobre grau de adequação dos indicadores</b>	<b>82</b>
5.2	<b>Índices multicriteriais parciais de desertificação e seus respectivos indicadores</b>	<b>84</b>
5.2.1	IMD-F: Índice Multicriterial de Desertificação das Forças motrizes	84
5.2.2	IMD-P: Índice Multicriterial de Desertificação dos elementos de Pressão	94
5.2.3	IMD-E: Índice Multicriterial de Desertificação do Estado atual	103
5.2.4	IMD-I: índice multicriterial de desertificação dos impactos	118
5.2.5	IMD-R: índice multicriterial de desertificação das respostas	123
5.3	<b>Índice Multicriterial geral de Desertificação</b>	<b>134</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>143</b>
	<b>Apêndice 1 – Quadros resumos das características dos indicadores</b>	<b>A1-1</b>
	<b>Apêndice 2 - Questionário para coleta dos pesos a serem atribuídos a cada indicador</b>	<b>A2-1</b>

<b>Apêndice 3 – Respostas ao questionário de coleta dos pesos a serem atribuídos a cada indicador .....</b>	<b>A3-1</b>
<b>Apêndice 4 – Planos de informação, vetores de pesos e comandos GRASS para cálculo dos índices multicriteriais de desertificação .....</b>	<b>A4-1</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é definida pelos municípios do Nordeste brasileiro, exceto Maranhão, e norte de Minas Gerais que atendem a pelo menos um dos seguintes critérios: índice de aridez menor que 0,50, precipitação pluviométrica média anual menor que 800 mm e risco de seca maior que 60% (BRASIL, 2005). Área de atuação do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), a região está contida no polígono brasileiro de clima semiárido e subúmido seco susceptível ao processo de desertificação, de acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (UNCCD). Representante científico brasileiro nesta convenção e uma das instituições nacionais preocupadas com o avanço do fenômeno, o INSA vem reunindo esforços para melhor entender os processos de desertificação na região e organizar um sistema de monitoramento capaz de oferecer aos gestores públicos uma ferramenta de acompanhamento e avaliação das ações de combate à desertificação e, assim, auxiliar na definição de políticas públicas de convivência com o semiárido.

Por meio de uma equipe multidisciplinar da qual o autor do presente estudo é membro, o INSA executa nesse momento um projeto de pesquisa intitulado Sistema de Monitoramento do Semiárido Brasileiro (SIMSAB) que possui, entre suas metas, a concepção de um sistema de monitoramento do processo de desertificação através de indicadores ambientais, sociais, econômicos e institucionais capaz de indicar as áreas mais críticas e as principais causas e consequências.

Sempre na tentativa de caracterizar o fenômeno, medir sua extensão e oferecer um mecanismo de apoio à tomada de decisão para enfrentamento do problema, diversos estudos apresentaram metodologias de avaliação da desertificação a partir de um conjunto de indicadores, com definições, formas e periodicidade de medição, classificação em níveis de severidade, agrupamento por temas etc. Outros organizaram os indicadores em potenciais e reais, ou baseados em modelos conceituais dos tipos PSR (*Pressures, State, Responses*) da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2003) ou sua extensão DPSIR (*Driving Forces, Pressures, State, Impacts, Responses*) da *European Environment Agency* (EEA, 1999).

No Brasil, Vasconcelos Sobrinho (1978), Ferreira *et al.* (1994), Viana e Rodrigues (1999), Matallo Júnior (2001), Sampaio *et al.* (2003), entre outros, publicaram propostas nas quais procuraram agrupar os indicadores em categorias (físico, biológico, ambiental, clima, uso da terra, social, demográfico, econômico, agropecuário, institucional etc), e em potenciais (que medem a propensão à ocorrência do fenômeno) ou reais (que indicam a

degradação das terras em si). Apresentaram também arranjos lógicos, matemáticos e estatísticos para manipular os indicadores de modo a constituir indicadores sínteses e, assim, oferecerem um meio para comparar a severidade do fenômeno entre regiões.

Na Europa, a Comissão Europeia vem desenvolvendo sucessivos programas de combate à desertificação ao longo da costa do mar Mediterrâneo, iniciado pelo *Mediterranean Desertification and Land Use* (MEDALUS, 1999), seguido pelo *Policies for Land Use to Combat Desertification* (MEDACTION, 2000) e finalizado pelo *Combating Desertification in Mediterranean Europe: Linking Science with Stakeholders* (DESERTLINKS, 2004). Os programas vêm estruturando bases de dados ambientais e socioeconômicos, concebendo sistemas de suporte à decisão baseados em sistemas de informações geográficas e desenvolvendo *frameworks* com a participação de agentes de governo, pesquisadores e *stakeholders* locais para planejamento e execução de ações de combate à desertificação.

Percebe-se um grande esforço mundial para estruturar sistemas de avaliação da desertificação, pois se trata de um fenômeno complexo de natureza ambiental, social e econômica que envolve a análise simultânea de diversos indicadores para uma caracterização satisfatória, monitoramento eficiente e acompanhamento dos resultados das ações de intervenção.

No entanto, poucos estudos avançaram com uma metodologia capaz de definir uma escala de importância para as dimensões do fenômeno e seus indicadores, de modo a priorizar determinados aspectos do problema e assim auxiliar o processo de tomada de decisão. Muitas iniciativas limitaram-se a definir um conjunto de indicadores que pudesse descrever o fenômeno sob diversos pontos de vista, sem oferecer um método de integração, deixando para o tomador de decisão a difícil tarefa de analisar a enorme quantidade de informação. As iniciativas de desenvolver índices para avaliar uma determinada área ou conjunto de unidades administrativas (distritos, municípios, estados), limitaram-se a classificar os riscos de ocorrência do fenômeno, ou fazendo uso de uns poucos indicadores, normalmente ambientais, para os quais foram aplicados métodos subjetivos de composição, ou utilizando vários descritores do problema para os quais foram aplicadas técnicas de agregação por combinação linear ponderada de modo a obter um índice representativo do processo, abordagem sujeita aos indesejáveis efeitos de compensação inter-critérios.

Persiste ainda a dificuldade de reunir os diversos indicadores propostos na literatura numa metodologia capaz de auxiliar os tomadores de decisão quanto às medidas necessárias para reduzir ou reverter o processo de desertificação e não apenas para



determinar o risco, susceptibilidade ou sensibilidade de uma determinada área. Entender e sistematizar as múltiplas relações entre a sociedade e a natureza, especialmente na região semiárida brasileira, de modo a identificar as causas e efeitos do processo e, conseqüentemente, as medidas essenciais ao seu enfrentamento, constitui-se num problema de pesquisa que, sob a ótica do autor do presente estudo, mereceu ser investigado.

O estudo aqui apresentado procurou, então, estruturar um sistema de indicadores com o auxílio de métodos de análise de decisão multicritério para, dessa maneira, ordenar e ponderar os indicadores em função da importância dada a cada um deles por um grupo de especialistas para, em seguida, permitir a avaliação e comparação espacial do processo de desertificação através de índices, em escala municipal. Foi utilizado um método que emprega a abordagem da classificação/subordinação, na qual as preferências do decisor são construídas a partir da comparação par a par das alternativas. Deste modo, os efeitos de compensação inter-critérios foram minimizados e a modelagem do problema da desertificação pôde ser conduzida de maneira mais próxima da realidade. Ainda, por se tratar de um processo que se manifesta de maneira distribuída no espaço, o método de análise de decisão multicritério selecionado está integrado a um sistema de informações geográficas e foi utilizado como ferramenta principal de modelagem do sistema.

Indicadores já consolidados na literatura foram utilizados e organizados num sistema de análise espacial multicritério segundo as categorias do modelo DPSIR para, desta forma, possibilitar o entendimento da cadeia de causalidades e respostas da sociedade. Índices foram desenvolvidos para orientação dos tomadores de decisão na tarefa de confrontar o problema e mitigar seus efeitos. Desta maneira, espera-se estar contribuindo de maneira inovadora para a melhor compreensão e enfrentamento do processo de desertificação.

Ainda, por se tratar de um estudo que propôs a modelagem de um sistema de avaliação do processo de desertificação a partir de um conjunto de indicadores ambientais, sociais, econômicos e institucionais, todos definidos por extensas pesquisas conduzidas por especialistas das mais variadas formações científicas, espera-se também estar oferecendo uma ferramenta de análise multidisciplinar do problema para, assim, auxiliar o processo de tomada de decisão por parte de gestores públicos e organizações sociais que lidam com as questões de convivência com o semiárido e seu desenvolvimento sustentável.

## **1.1 Objetivos**

Para enfrentar o problema de pesquisa descrito anteriormente, os seguintes objetivos foram perseguidos:

### **1.1.1 Objetivo Principal**

Estruturar um sistema de indicadores e índices em escala municipal para avaliar e comparar o processo de desertificação no Seridó paraibano e potiguar através de técnicas de análise de decisão multicritério integradas a sistema de informações geográficas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar um conjunto de indicadores ambientais, econômicos, sociais e institucionais, recomendados por pesquisadores nacionais e por projetos internacionais dos quais o Brasil tenha participado;
- Verificar a disponibilidade de dados recentes e confiáveis para os indicadores, organizá-los em árvore hierárquica e segundo as categorias DPSIR e submetê-los à apreciação de especialistas;
- Estruturar um sistema de informações geográficas (SIG) com os indicadores selecionados, efetuando as devidas operações de transformação e normatização dos planos de informação, de modo a permitir uma análise integrada;
- Analisar a gravidade da desertificação na área de estudo através de índices obtidos por meio da aplicação de técnicas de análise de decisão multicritério entre os diversos planos de informação do SIG.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

A primeira etapa da revisão de literatura procurou alcançar o estado atual do conhecimento sobre os processos de desertificação, suas causas, consequências, ocorrência no mundo e no país, e as iniciativas legais e institucionais de combate ao fenômeno no Brasil. Em seguida, efetuou-se uma revisão dos estudos sobre sistemas de indicadores para o processo e as iniciativas de análise simultânea dos indicadores e de geração de índices. Num terceiro momento, foram abordadas as técnicas de análise de decisão multicritério e suas aplicações em estudos de avaliação de sustentabilidade, de gestão e uso da terra, entre outros, com o objetivo de relacionar as necessidades de análise simultânea de indicadores do presente estudo aos avanços obtidos em pesquisas correlatas. Por fim, restringindo o foco às técnicas de análise de decisão multicritério integradas a sistemas de informações geográficas, procurou-se avaliar os resultados obtidos pelo emprego de tais técnicas em estudos similares e suas contribuições para

definição da metodologia a ser empregada para construção do sistema de avaliação e comparação da desertificação aqui apresentado.

## **2.1 O fenômeno da desertificação**

### **2.1.1 Conceito, causas e consequências**

A desertificação é um fenômeno de escala global caracterizado pela degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas. Tais zonas submetidas ao risco da desertificação são definidas pela relação entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial compreendida entre 0,05 e 0,65. Por sua vez, a degradação das terras nessas áreas é entendida como a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica das terras agrícolas de sequeiro e irrigadas, das pastagens naturais e plantadas, das florestas e matas nativas devido aos sistemas de utilização da terra ou a processos que resultam da atividade do homem e das suas formas de ocupação do território, entre eles a erosão do solo, a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e a destruição da vegetação por longos períodos (NAÇÕES UNIDAS, 1997).

A desertificação, portanto, é um processo que culmina com a perda ou redução da capacidade do solo de servir como suporte para a manutenção dos elementos bióticos. Onde não há flora, conseqüentemente, não há fauna, recursos hídricos disponíveis e, por conseguinte, condições de vida satisfatórias para populações humanas.

Há controvérsias sobre as causas da desertificação quando, para alguns, as variações climáticas assumem papel fundamental na degradação das terras e, para outros, as atividades humanas definem as condições necessárias para o início e manutenção do processo. Fato incontestável é que se trata de um processo complexo e dinâmico para o qual concorrem fatores interdependentes de natureza política, social, econômica e ambiental, que se reforçam reciprocamente, promovendo um ciclo vicioso que acelera o processo (GLANTZ, 1983).

Dentre as causas diretas aceitas pela maioria dos pesquisadores e citadas na UNCCD, estão a retirada da vegetação, o sobrecultivo, o sobrepastoreio, a irrigação mal conduzida e o manejo inadequado dos recursos florestais e minerais. Entre as causas indiretas são citadas a desigualdade na distribuição do bem-estar; as falhas nos mercados, nas instituições e nas políticas públicas; a concentração de terra; a sobrevalorização da

cultura do consumo com a conseqüente superexploração dos recursos naturais; e, especialmente, a pobreza que obriga suas vítimas a destruir no curto prazo os mesmos recursos que necessitarão no futuro (REGO, 2012).

A retirada da vegetação, por si só, não contribui significativamente para o processo de degradação da terra. A deterioração da sua capacidade produtiva está ligada às práticas inadequadas adotadas, tais como: retirada total da vegetação para exploração do solo e subsolo, como são os casos de extrativismo mineral, o corte da vegetação para lenha e carvão sem o adequado manejo florestal através de talhões e pousio; a abertura de áreas para cultivo e pastagem através do corte total da vegetação e da queima da galhada; e a substituição da vegetação nativa por culturas temporárias que expõe o solo à insolação excessiva e à erosão da chuva e do vento, reduzindo sua fertilidade e alterando suas propriedades físicas (SAMPAIO *et al.*, 2003).

A agricultura praticada ano após ano na mesma área da propriedade promove a perda progressiva da fertilidade dos solos. A incorporação de esterco de rebanhos domésticos, prática comum de agricultores familiares, não assegura a reposição dos nutrientes contidos nos produtos agrícolas e, conseqüentemente, não impede a redução da produtividade ao longo do tempo. A adubação química, uma atividade onerosa que resolveria o problema, não é praticada na agricultura de sequeiro em razão do alto risco de perda da safra em decorrência das variações pluviométricas (SAMPAIO *et al.*, 2003).

Embora detentores de conhecimentos tradicionais e adaptados às limitações do bioma, os pequenos agricultores passaram a lidar com uma nova realidade: a divisão da terra por herança reduziu drasticamente o tamanho das propriedades. Sem acesso à novas terras por ausência de reforma agrária ou, quando esta ocorre, assentadas em porções de terras já degradadas ou aquém do módulo fiscal, as famílias adotaram novos hábitos de produção para garantirem sua sobrevivência. Avançaram sobre as vertentes sem o conhecimento da técnica de plantio em curva de nível, pois só plantavam nos baixios, desmataram para auferir renda com a venda da lenha e do carvão, aventuraram-se em pequenas irrigações mal conduzidas, salinizando as poucas terras que dispunham (DUQUE, 2006).

Ao lado da perda de fertilidade do solo, a erosão é uma das principais causas da desertificação. Agravada pela retirada da vegetação, especialmente nas áreas de maior declive, a erosão da camada superficial do solo pela ação de chuvas intensas pode chegar a perdas da ordem de 100 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Embora se trate de grande quantidade, representa uma redução de poucos milímetros por ano na espessura do solo, algo difícil de perceber se não formar sucros ou voçorocas (SAMPAIO; SALCEDO, 1997).

A prática da pecuária em pastos naturais na Caatinga, com densidade de cabeças de gado bovino, caprino ou ovino acima da capacidade de suporte do bioma, é considerada também uma das fortes causas do processo de degradação da cobertura vegetal e da compactação do solo. Embora essas pastagens tenham capacidade de suporte variável, esta vem sendo ultrapassada em quase todas as propriedades no semiárido (GIULIETTI *et al.*, 2004).

A agricultura malconduzida em diversos perímetros irrigados, especialmente naqueles à base de açude, também contribui para o processo de desertificação na medida em que a água com alto teor de sais ou a ausência de sistemas de drenagem acabam por salinizar o solo e, assim, reduzir drasticamente sua produtividade. Tal degradação só não se manifesta de maneira mais extensa pela baixa disponibilidade de água, elemento limitante para a agricultura irrigada nas regiões semiáridas (SAMPAIO *et al.*, 2003).

Como se pode perceber, as causas físicas aqui apontadas fazem parte de uma cadeia de causalidades que se inicia pela retirada da vegetação e o manejo inadequado do solo, avança para a perda ou redução da produtividade agrícola, provoca a redução da renda auferida pela atividade rural e, finalmente, promove a deterioração das condições sociais da população residente na área afetada e sua provável migração. Portanto, ao analisar o processo de desertificação, deve-se atentar para a existência dessas quatro fases, em sequência. Evidentemente, o processo não é estritamente linear, como sugere essa abordagem, mas sujeito a interferências externas na medida em que o processo avança da degradação ambiental à deterioração das condições sociais. Como exemplo dessa complexidade, diversas podem ser as causas da redução da produtividade agrícola, da diminuição da renda do trabalho rural e da deterioração da qualidade de vida no campo sem que tais fenômenos tenham relação direta com a degradação das terras (SAMPAIO *et al.*, 2003).

### **2.1.2 A degradação das terras no mundo**

A desertificação, conforme definição adotada pela UNCCD, atinge países dos cinco continentes, especialmente, Austrália, China, Mongólia, Índia, países africanos, da Europa mediterrânea, Estados Unidos, México e parte da América do Sul. Afeta, assim, tanto países desenvolvidos como emergentes. Estes, diretamente, em função da existência de áreas susceptíveis a desertificação (ASDs) em seus territórios e da situação de pobreza e forte dependência econômica de seus recursos naturais. Aqueles, também de forma direta, pela existência de ASDs, embora suas economias não dependam das terras afetadas e haja recursos financeiros disponíveis para combate e mitigação de seus efeitos, e de forma

indireta, por conta dos processos migratórios dos países pobres afetados pelo fenômeno (REGO, 2012).

Na América do Sul o fenômeno se manifesta na região de Guajira (Venezuela e Colômbia), na diagonal seca do Cone Sul (Bolívia, Peru, Equador, Chile e Argentina) e nos sertões do Nordeste do Brasil (REGO, 2012). A Argentina possui cerca de 75% de suas terras afetadas por processos de desertificação, especialmente na região do Chaco (MORALES, 2005). Na Patagônia e áreas no centro-oeste, onde as práticas agropastoris são responsáveis pelo uso inadequado do solo, a população atingida alcança nove milhões de habitantes (ABRAHAM *et al.*, 2011). No Chile, as ASDs ocupam cerca de 45% do território e afetam 1,5 milhões de habitantes (BEEKMAN, 2006). Nessas áreas, o processo de migração é intenso, especialmente para as cidades do norte do país, onde a atividade mineradora absorve grandes contingentes masculinos, e para a capital Santiago, preferência do fluxo migratório feminino (MORALES, 2005). Na Bolívia, a desertificação atinge cerca de 40% do território, especialmente nas regiões do Chaco, altiplano montanhoso e vales de Yunjos, onde habitam 5 milhões de pessoas (BEEKMAN, 2006). Na Colômbia, 15% do território é susceptível à desertificação, além de extensas áreas afetadas por diversos processos de degradação da terra, tais como a erosão, salinização e sodificação. Desmatamento, pecuária, agricultura, queimadas e mineração estão entre as principais causas da degradação (COLÔMBIA, 2005).

No México, as terras áridas, semiáridas e subúmidas secas ocupam mais da metade de seu território, e encontram-se nos desertos Sonorense e Chihuahuanense e na região central influenciada pela sombra orográfica provocada pelas serras Madre Oriental e Ocidental. Cerca de 10 milhões de pessoas (30% da população total) habitam essas regiões, acomodadas majoritariamente nas zonas urbanas (82%). Das terras secas, cerca de 43% estão afetadas por algum grau de desertificação (SEMARNAT, 2013). Nos Estados Unidos, a degradação das terras teve sua fase crítica na segunda metade do século XIX e primeira do século XX, causada pelo pastoreio excessivo nas regiões desérticas e semidesérticas, a salinização nas terras irrigadas do oeste árido e a erosão eólica nas grandes planícies meridionais, origem do episódio conhecido como *Dust Bowl* (DREGNE, 1977).

Na Europa Mediterrânea, os processos de desertificação são históricos, seculares e decorrentes do uso intenso das terras para a agricultura. Na Península Ibérica (Espanha e Portugal), três fases de degradação das terras são nítidas: a primeira, por volta dos séculos XVI e XVII, associada à expansão colonialista do Novo Mundo, que levou as práticas da agricultura de sequeiro e a ovinocultura para as regiões ao sul próximas do litoral; a

segunda, no início do século XX, vinculada ao excesso de contingente nas zonas rurais; e a terceira, por volta dos anos 1960, decorrente das mudanças tecnológicas, sociais, culturais e econômicas na vida rural (JUNTTI e WILSON, 2005).

A desertificação no Sahel (África subsaariana) agravou-se nos últimos 50 anos com a mudança nos modos de produção: do pastoreio transumante para a agricultura e pecuária sedentárias. Associado à severas secas, ao crescimento populacional descontrolado, à pobreza e à exploração colonialista inglesa e francesa, o processo de degradação das terras ganhou proporções continentais e promoveu gigantescas migrações das áreas afetadas. A Etiópia é o exemplo mais característico da região: 85% da população sobrevive de uma agricultura predatória, associada ao desmatamento, a uma sobrevivência difícil, ao rápido crescimento da população e à expansão dos cultivos por terras inapropriadas para a agricultura (REDA, 2007).

Na Ásia, as terras áridas e semiáridas ocupam aproximadamente um terço da área, principalmente no Oriente Médio, Afeganistão, Paquistão, Índia, Mongólia e China. Estima-se que, desse total, 33% sejam afetados por processos de desertificação causados, sobretudo, pela elevada densidade demográfica, uso inadequado do solo, desigualdade na distribuição da terra e de seus recursos naturais (UNEP, 2002). A China e a Índia representam bem os processos de degradação das terras ocorridos na região. A Índia possui 12% de seu território coberto por terras secas, concentradas no estado de Rajastão e seus vizinhos, onde o crescimento populacional humano e animal, a degradação da cobertura vegetal, a erosão eólica e hídrica e a salinização de áreas irrigadas são as principais causas da desertificação no país. Estima-se que 57% das terras secas são afetadas por processos de erosão (NOVAES, 2002). A China é considerada um dos países com maior índice de desertificação, processo que afeta cerca de 34% de suas terras, onde habitam aproximadamente 400 milhões de pessoas. O problema é mais grave nas regiões noroeste, norte e nordeste, onde cerca de 1,1 milhões de quilômetros quadrados, ou 11,4% de sua área total, estão desertificados, em razão do sobrecultivo, do sobrepastoreio e do desmatamento. Frutos da erosão eólica, as tempestades de areia são frequentes no norte e oeste do país, provocando transtornos não só na China, mas na Coreia, Japão e até na costa oeste dos Estados Unidos (BROWN, 2003).

Na Austrália, 74% de seu território é coberto por terras áridas e semiáridas, onde o processo de desertificação se manifesta desde 1880, fruto da combinação entre sobrecultivo, sobrepastoreio, com destaque para os rebanhos de ovelhas e coelhos, erosão e salinização, agravada pela baixa condição econômica da população (JAIN, 1986).

### **2.1.3 A degradação das terras no semiárido brasileiro**

A desertificação na região Semiárida brasileira vem ocorrendo desde a ocupação dos sertões, no período colonial, até os dias atuais. Trata-se de um processo socialmente construído de degradação das terras, que culmina com a perda de fertilidade dos solos e a subsequente redução da produtividade agrícola, empobrecimento do agricultor e êxodo da população para as cidades.

Ainda no século XVI, os colonizadores portugueses iniciaram a ocupação das terras além da fronteira agrícola da zona da mata nordestina com a implantação de fazendas de gado e a policultura no agreste, com o objetivo de consolidar o domínio português naqueles horizontes e fornecer animais de transporte e tração, além de alimento (carne), para os habitantes da faixa litorânea do Nordeste onde se desenvolvia a cultura canavieira (FURTADO, 2005).

Até a primeira metade do século XVII, as terras secas dos sertões de Pernambuco ao Ceará ainda constituíam domínio dos povos indígenas que lá desenvolviam seus modos de vida em sintonia com as limitações do ambiente, em especial com os períodos anuais de seca, quando assumiam hábitos nômades em busca de alimento (MEDEIROS FILHO, 1988). A partir dessa época, a ocupação dos sertões ocorreu com a instalação das grandes fazendas de gado, inicialmente nas margens dos rios São Francisco e Parnaíba, com a concessão, pelo poder colonial, de grandes porções de terra em forma de sesmarias em favor de famílias influentes na corte portuguesa, dando origem aos grandes latifúndios ainda hoje existentes na região (ANDRADE, 1970). Posteriormente, um segundo movimento ocorreu, particularmente nos sertões do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, em função da fuga dos colonizadores para o interior, motivada pela guerra entre portugueses e holandeses no litoral (ALVES, 1982).

Com a necessidade de tornar produtivas as terras recebidas e assim honrar o pagamento de tributos impostos pela Coroa, os colonizadores iniciaram um contínuo processo de desmatamento e substituição da vegetação nativa (a Caatinga) por pastagens para criação de gado bovino. Nessa época foram registrados os grandes conflitos com os povos originalmente ocupantes das terras, redundando na morte ou expulsão de enormes contingentes de indígenas, miscigenação e destruição de seus estilos de vida (ANDRADE, 2000).

O desenvolvimento alcançado pela região constituiu o conhecido Complexo Econômico Sertanejo, limitado, no entanto, à formação de uma classe dominante que concentrou terras e renda em detrimento da população atraída pelas fazendas de gado.



Fora dado início, assim, ao processo de degradação das terras, uma consequência do modelo colonial de ocupação dos sertões nordestinos.

A partir de meados do século XVIII, em função de oportunidades do mercado externo, descobriu-se a vocação da região semiárida nordestina para a cultura do algodão arbóreo (*Gossypium hirsutum*) que, nesse período, assumiu o status de um dos principais produtos da exportação brasileira. Desenvolvida como uma atividade complementar à prática da criação de gado, dando ocupação aos trabalhadores na época da estiagem e fornecendo alimento em forma de torta de sementes para os animais, a cultura do algodão conquistou grandes áreas por todo o sertão.

Mais uma vez, com a ação determinante do poder político e econômico, um novo ciclo de suposto desenvolvimento da região foi iniciado. Sem a condicionante ambiental hoje presente nas tomadas de decisão de governo, grandes incentivos foram oferecidos para substituição da Caatinga por plantios de algodão para produção de fibra, inicialmente para as indústrias têxteis inglesas, estas em franco desenvolvimento em decorrência da revolução industrial, e posteriormente para atendimento das inúmeras fábricas de tecido e fiação instaladas na região Nordeste.

O processo de degradação das terras foi potencializado, portanto, pela ação governamental que promovia, além de danos ao bioma Caatinga, um falso desenvolvimento da região caracterizado pela ampliação das desigualdades sociais e concentração de renda numa classe dominante cada vez mais urbana.

A partir dos anos 1940, importantes passos foram dados para a fase desenvolvimentista colocada em prática na região. Foram criados o Banco do Nordeste do Brasil e a Companhia Hidrelétrica do São Francisco, como instrumentos para promover o crédito produtivo e o fornecimento de energia elétrica para as futuras atividades industriais recomendadas, no final dos anos 1950, pelo GTDN – Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste, dirigido pelo economista Celso Furtado. A industrialização passou a ser vista como a única saída para que no Nordeste fosse desenvolvida uma atividade capaz de promover um crescimento endógeno e de irradiar-se para as outras atividades. Com a criação da Sudene, deu-se início à construção de polos industriais concentrados, no entanto, nas capitais e regiões metropolitanas. Para o semiárido, deslocaram-se as indústrias de transformação de produtos minerais.

Com o declínio da cultura do algodão na região em decorrência do crescente uso de fibras sintéticas, do avanço da fronteira agrícola no centro-oeste brasileiro e do aparecimento da praga do bicudo (*Anthonomus grandis*) em 1983, grandes contingentes perderam sua fonte de trabalho e renda, liberando, assim, uma mão de obra ociosa para

ser ocupada por outras atividades econômicas, entre elas a pecuária, a mineração e as indústrias de gesso, cal, caulim e cerâmica, estas grandes consumidoras de lenha como fonte energética em seus processos produtivos. Iniciava-se mais um movimento em prol do desenvolvimento do Semiárido brasileiro com a constituição do polo gesseiro, em Pernambuco, e dos polos cerâmicos dispersos pela região com forte concentração no Seridó paraibano e potiguar, todos fornecedores de materiais de construção para a expansão dos aglomerados urbanos no Nordeste e no Brasil.

Atualmente, além da prática da pecuária de bovinos, caprinos e ovinos, com taxas de exploração acima da capacidade de suporte do bioma, e dos perímetros irrigados públicos e privados, que provocam a salinização de áreas agrícolas com manejos inadequados e deficiências nos sistemas de drenagem, a derrubada da Caatinga para alimentar os fornos das olarias, indústrias cerâmicas e gesseiras tornou-se uma das mais agressivas práticas de degradação das terras na região.

Diversos estudos foram realizados para quantificar as áreas em processo de desertificação no semiárido brasileiro. O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil, 2004) reuniu alguns desses estudos e apresentou um resumo no qual as áreas comprometidas em estado muito grave, grave e moderado representam, respectivamente, 5,7%, 27,7% e 40,8% da região, totalizando 74% da área definida como região semiárida pelo Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste.

Os estudos de Vasconcelos Sobrinho (1971) e SEMA (1986) indicam a existência de diversas áreas em avançado estado de desertificação, denominadas núcleos, onde o processo atingiu sua amplitude máxima e a maioria dos seus indicadores pode ser observada (Figura 1). Tais regiões são constituídas pelos seguintes municípios e, segundo os autores, configuram áreas prioritárias para estudos detalhados do processo de desertificação:

- Núcleo de Gilbués/PI: região fitogeográfica Caatinga/Cerrado, municípios de Gilbués, Simplício Mendes, Cristino Castro, Ribeiro Gonçalves, Corrente e municípios vizinhos.
- Núcleo de Irauçuba/CE: região fitogeográfica dos Inhamuns, municípios de Tauá, Arneiroz, Mombaça, Aiuaba, Catarina, Saboeiro, Irauçuba e municípios vizinhos.
- Núcleo do Seridó/RN: região fitogeográfica do Seridó, municípios de Currais Novos, Acari, Parelhas, Equador, Carnaúba dos Dantas, Jardim do Seridó e municípios vizinhos.

- Núcleo do Cariri/PB: região fitogeográfica Cariris Velhos, municípios de Juazeirinho, São João do Cariri, Serra Branca, Cabaceiras, Camalaú e municípios vizinhos.
- Núcleo de Cabrobó/PE: região fitogeográfica do Sertão Central, municípios de Salgueiro, Parnamirim, Cabrobó, Itacuruba, Belém do São Francisco, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e municípios vizinhos.
- Núcleo Sertão de São Francisco/BA: região fitogeográfica do Sertão do São Francisco, municípios de Uauá, Macururé, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Glória, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos.

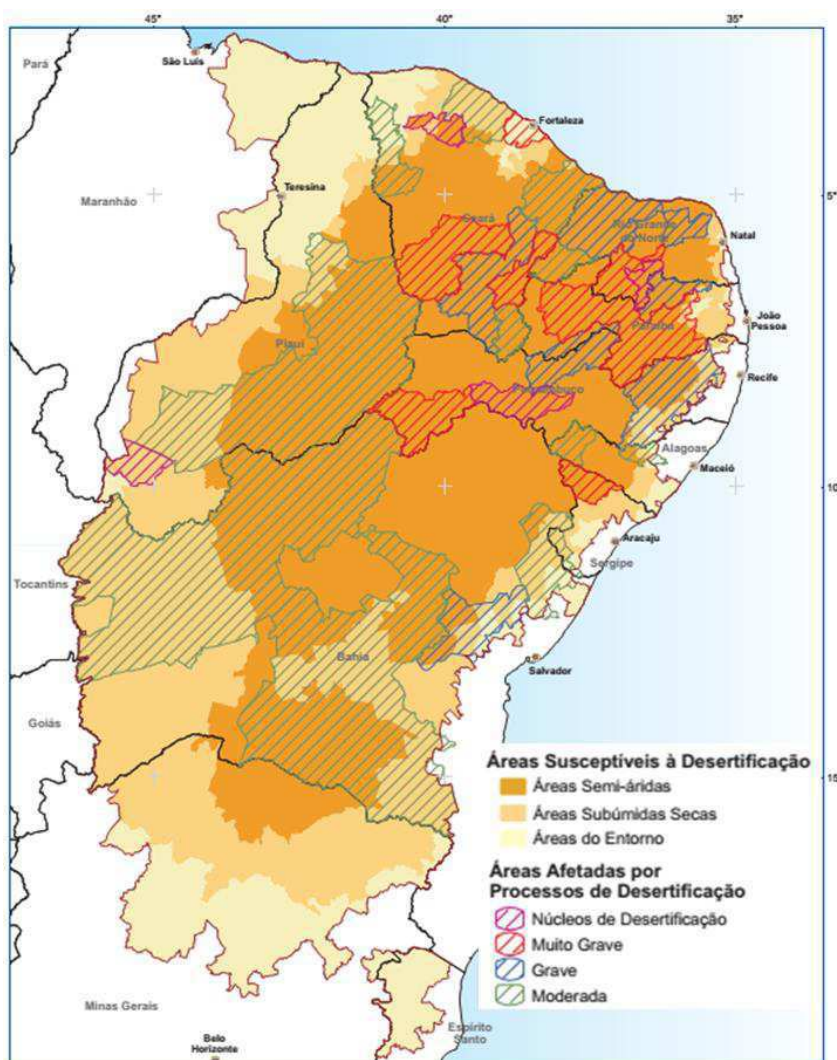


Figura 1: Áreas suscetíveis à desertificação e áreas afetadas por processos de desertificação.  
Fonte: Brasil (2007a)

Sá e Angelotti (2009) apresentaram uma atualização das áreas em processo de desertificação no bioma Caatinga, classificadas em níveis de severidade, a partir do mapeamento da vegetação em escala 1:250.000, como passo inicial para a avaliação do processo. Os autores identificaram, como próximas etapas da atualização do processo, o

cruzamento dos resultados obtidos com informações sobre solos, ações antrópicas, clima, e aspectos da socioeconomia.

#### **2.1.4 O arcabouço legal e institucional brasileiro**

O Estado brasileiro é signatário da UNCCD. Ao assinar o tratado e promulgá-lo através do Decreto 2.741, de 20/08/1998, o país assumiu compromissos de desenvolver políticas e mecanismos para combater e monitorar o fenômeno nas ASDs, localizadas nas regiões semiáridas e subúmidas secas dos estados do Nordeste e do norte de Minas e do Espírito Santo. Passados seis anos de sua adesão à UNCCD, foi elaborado o PAN-Brasil (2004) que, embora tardio como resposta brasileira à UNCCD, constituiu-se num marco orientador da ação governamental, propondo a organização dos esforços em quatro eixos temáticos: Combate à Pobreza e à Desigualdade; Ampliação Sustentável da Capacidade Produtiva; Preservação, Conservação e Manejo Sustentável de Recursos Naturais; e Gestão Democrática e Fortalecimento Institucional. Analisando o conjunto de ações propostas em cada eixo temático, constata-se que se trata de um programa transversal aos diversos planos, programas e projetos dos variados ministérios e secretarias estaduais e municipais de desenvolvimento agrário e social, de saúde, educação, meio ambiente, reforma agrária, além de incluir a participação das inúmeras organizações sociais que atuam na região com o tema da convivência com o semiárido. Por tais características, torna-se complexa a tarefa de identificar as ações em curso nas várias esferas de governo, que tenham vinculação direta ou indireta com o combate à desertificação, e acompanhar sua evolução.

Como estratégia de implementação do PAN-Brasil, cada um dos estados citados foi apoiado na elaboração do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE. Alvo dos esforços das equipes estaduais e de consultores externos, os programas foram concluídos no período de 2010 a 2014, apresentando em maior ou menor detalhe o diagnóstico ambiental, social, econômico e político em cada estado, e um conjunto de proposições para combater o fenômeno, consubstanciadas em propostas, programas já em execução e até mesmo políticas públicas implementadas através de lei. Em nível nacional, a coordenação dos esforços brasileiros está a cargo do Ministério do Meio Ambiente, através da Comissão Nacional de Combate à Desertificação, instituída inicialmente por Decreto Presidencial em 21 de julho de 2008 e, posteriormente, formalizada pela Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, Lei 13.153 de 30 de julho de 2015 (BRASIL, 2015).

Em nível estadual, apenas os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia mantêm grupos organizados, embora pequenos e quase informais, inseridos na estrutura geral da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Secretaria de Recursos Hídricos e Superintendência de Recursos Hídricos, respectivamente, dedicados ao estudo e combate à desertificação. No âmbito municipal, não se conta com qualquer estrutura de auxílio às atividades de combate à desertificação, cabendo à Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), através de centenas de organizações não governamentais reunidas em rede, o papel de difundir experiências positivas e colaborar na elaboração de políticas públicas de convivência com o semiárido (CARVALHO,2009).

## **2.2 Indicadores e índices**

Indicadores oferecem informação de uma maneira quantitativa, simples, de fácil compreensão, e são construídos a partir de modelos e/ou conjunto de conceitos que descrevem um determinado fenômeno. A realidade, normalmente complexa e resultado de diversas inter-relações, é reduzida a um modelo para que suas principais características possam ser percebidas e comunicadas aos formuladores de políticas públicas, tomadores de decisão e sociedade em geral. A concepção deste modelo segue o esquema da Pirâmide de Informação (Figura 2), onde dados primários descritores de um determinado fenômeno são processados, analisados e agregados em forma de indicadores que representam, de forma simples e de fácil entendimento, embora limitada, as principais dimensões do processo em análise. Por fim e com o principal objetivo de sintetizar todas as informações e permitir comparações entre situações semelhantes, os indicadores podem ser agregados na forma de um índice capaz de caracterizar e quantificar o fenômeno como um todo (HAMMOND *et al.*,1995).



Figura 2: Pirâmide de informação.  
Fonte: Hammond *et al.* (1995).

Para o propósito do presente estudo, qual seja, desenvolver um sistema de avaliação da desertificação para fins de auxílio à elaboração de políticas públicas e tomada de decisão, os indicadores deve atender a duas funções básicas: quantificar a informação, de modo a tornar seu significado mais visível, e simplificar a informação relativa a fenômenos complexos, de maneira a melhorar a qualidade da comunicação social entre as partes envolvidas. Além dessas, outras características devem ser observadas para que um indicador seja utilizado com sucesso em políticas públicas: precisa transmitir informações que sejam significativas e prontamente compreensíveis aos tomadores de decisão e sociedade em geral, possa refletir os objetivos que se procura alcançar com a implementação da política em questão e, por fim, seja altamente agregado, preferencialmente na forma de índice, sob pena do público alvo não o absorver prontamente (HAMMOND *et al.*, 1995).

### **2.2.1 Indicadores da desertificação**

Com o objetivo de compreender o processo de desertificação e, assim, auxiliar na elaboração de políticas públicas de combate e mitigação de seus efeitos, inúmeros estudos foram desenvolvidos no mundo, na América Latina e no Brasil, em particular, para sua caracterização, quantificação e monitoramento através de indicadores. Vasconcelos Sobrinho (1978) foi o precursor no território brasileiro ao lançar um estudo, após sua participação na Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, em Nairóbi, Quênia, 1977, no qual definia um conjunto de 36 indicadores divididos em seis categorias:

- Físicos (10): profundidade do solo, salinização e alcalinização do solo, crostas no solo, matéria orgânica no solo, tormentas de pó e areia, sedimentos nas águas, turbidez nas águas, qualidade das águas, profundidade de águas subterrâneas e albedo.
- Biológicos agrícolas (5): cobertura vegetal, biomassa acima da superfície, corte da cobertura vegetal, espécies vegetais chaves, espécies animais chaves,
- Uso da terra (9): populações de animais domésticos, composição de rebanhos, pastoreio, agricultura por irrigação, agricultura de sequeiro, produção, rendimento, mineração e instalações de turismo.
- Assentamento das populações (4): assentamento recente, expansão do assentamento, diversificação do assentamento e abandono do assentamento.
- Biológicos humanos (2): situação da nutrição e índice de saúde pública.
- Processo social (6): esquema de distribuição de renda, circulação de dinheiro, estrutura da população e taxas demográficas, migração, marginalização e conflito.

Embora o autor reconhecesse que os indicadores eram muitos abrangentes e com diferentes graus de dificuldade de serem obtidos, como trabalho inicial, teve o mérito de dividir os indicadores por categoria e apresentar vários indicadores para cada categoria, indicando a tentativa de caracterizar a complexidade do processo de desertificação. Absteve-se, como também será visto em outros estudos, de apontar os diferentes graus de importância de cada indicador, de modo a auxiliar o processo de tomada de decisão, e a maneira analítica de organizá-los para fins de obtenção de indicadores síntese, ou seja, índices.

Ferreira *et al.* (1994), dezesseis anos após Vasconcelos Sobrinho, publicaram estudo elencando um conjunto de 19 indicadores para o processo de desertificação, a saber: razão precipitação/evapotranspiração, presença de salinização, qualidade da água, presença de erosão, perda de fertilidade, área de preservação, pecuarização, presença de bovinos, presença de ovinos, presença de caprinos, área com agricultura, tratores por área, defensivos agrícolas, presença de mineração, tempo de ocupação, sistema fundiário, estagnação econômica, densidade demográfica e evolução demográfica.

Os autores utilizaram como área mínima de observação as microrregiões homogêneas avaliando, para cada um dos indicadores, sua presença/ausência ou seu valor diante de um certo limiar de decisão. A partir daí e para cada microrregião homogênea, somavam-se quantos indicadores apontavam para desertificação, organizando o resultado

em classes de degradação: muito grave (15 a 19 indicadores), grave (11 a 14) e moderada (6 a 10).

Considerou-se, na época, a proposta mais importante de mensuração da desertificação, a ponto de ser utilizada pelo Ministério do Meio Ambiente como uma das medidas oficiais. Embora representasse um avanço no modo de organizar analiticamente os indicadores, a proposta trazia em seu âmago limitações importantes tais como misturar indicadores de desertificação potencial e real, não indicar grau de impacto de cada indicador, desconsiderar os diferentes tamanhos das microrregiões homogêneas e somar aritmeticamente os indicadores sem considerar diferentes pesos em função de sua importância (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Viana e Rodrigues (1999) publicaram uma proposta de um indicador síntese da desertificação potencial para o estado do Ceará, ou seja, um índice de propensão à desertificação para os municípios cearenses. Foram utilizadas 65 variáveis das quais derivaram 46 razões para cada município, organizadas em quatro grupos:

- Naturais (7): inverso da precipitação, razão precipitação/evapotranspiração, relação aridez/umidade, disponibilidade de água, disponibilidade de águas subterrâneas e proporção de área antropizada.
- Agrícolas e econômicos (24): densidade de bovinos, de caprinos e de ovinos, área irrigada, área com culturas temporárias, área com pastagens naturais, área com algodão, com feijão e com milho, produtividade de carvão, de madeira e de lenha, rendimento do algodão, do feijão, do milho, da mandioca e do arroz, razão entre valor da produção da pecuária/agrícola, tratores por área, uso de fertilizantes, consumo de energia por área e por pessoa, área média da propriedade e razão área explorável/aproveitável.
- Demográficos (5): densidade de habitantes, taxa de crescimento da população, razão população rural/total, razão imigrantes/população total e razão imigrantes/população nativa.
- Sociais (9): razão alunos/professor, razão alunos/salas de aula, razão habitantes/leitos hospitalares, razão habitantes/médicos, consumo de água por pessoa, razão domicílios desocupados/total, razão população indigente/total, produtores em cooperativas e índice de desenvolvimento humano.

O trabalho mantém a tendência de agrupar os indicadores por classe, apontar vários indicadores para cada dimensão da desertificação (ambiental, econômico e social), separar os aspectos potencial e real da desertificação e, por último, aplicar um tratamento



matemático e estatístico para constituição de um indicador síntese, denominado pelos autores de Índice de Propensão à Desertificação.

As variáveis derivadas (razões) foram transformadas matematicamente e, estatisticamente, centralizadas em torno da média, padronizadas e normalizadas de modo que se tornaram valores adimensionais. Para reduzir essa quantidade de variáveis, foram aplicadas técnicas de análise fatorial com o objetivo de identificar um pequeno conjunto de fatores comuns ortogonais ou independentes que sintetizassem as informações contidas nas múltiplas variáveis e distribuísse-as em grupos. As informações, uma vez concentradas em fatores, foram correlacionadas às variáveis de aridez e antropização, de modo a relacioná-las ao processo de desertificação, sintetizadas em índices globais para cada um dos municípios e esses, finalmente, classificados em níveis de propensão à desertificação.

O método avançou na formulação matemática de indicadores e índices mas apresentou limitações inerentes à análise fatorial e à escolha das variáveis. Como exemplo, o fator que explica a maior parte da variabilidade com a propensão à desertificação foi a deficiência de infraestrutura elétrica, fator esse fortemente influenciado pelas variáveis consumo de energia elétrica por área e por pessoa, uma conclusão difícil de explicar sem passar por uma série de causas intermediárias. Por outro lado, as variáveis ligadas às ciências naturais foram forçadas a entrar no modelo mesmo não satisfazendo aos critérios estatísticos, como por exemplo a proporção de área antropizada no município e seu crescimento. Tal comportamento inesperado do modelo denota a ausência de determinação prévia de cadeias de causalidades (SAMPAIO *et al.*, 2003).

Matallo Júnior (2001) apresentou, como anexo ao seu livro, a proposta discutida e aprovada na IV Reunião Regional da América Latina e Caribe, realizada em Antigua e Barbuda em 1998, da qual participou. Partindo das premissas de que um indicador deve ter um significado próprio, ser claro, simples, mensurável e sensível a mudanças, mostrando tendências ao longo do tempo, e sua medição, por sua vez, deve estar disponível e ser fácil de coletar, os participantes da reunião propuseram uma nova abordagem ao classificar os indicadores em Indicadores de Situação e Indicadores de Desertificação.

Na primeira categoria foram enquadrados aqueles relativos ao clima e a socioeconomia, indicadores que apontam os riscos de se iniciarem ou agravarem processos de desertificação, mas não medem a desertificação per si. São eles: precipitação, insolação, evapotranspiração, estrutura de idades, taxa de mortalidade infantil, nível educacional, renda per capita e uso do solo agrícola. Já na categoria dos Indicadores de Desertificação, foram incluídos aqueles que medem os aspectos biológicos e físicos do meio ambiente além de características agrícolas da área, tais como: cobertura

vegetal, estratificação da vegetação, composição específica, espécies indicadoras, índice de erosão, redução da disponibilidade hídrica, uso do solo agrícola, rendimento dos cultivos, rendimento da pecuária e densidade demográfica. Desta maneira, os autores consolidaram uma relação de 18 indicadores e a forma de medi-los. Não houve avanços, no entanto, na maneira de organizar os indicadores em um sistema capaz de ponderar a importância de cada um e, assim, auxiliar no processo de tomada de decisão ou consolidar um indicador síntese para o processo.

Sampaio *et al.* (2003), de maneira análoga, propuseram a construção de dois índices, um para avaliar a susceptibilidade ou propensão à desertificação e outro para estimar a ocorrência propriamente dita da desertificação. Tal separação definiria com maior propriedade a desertificação real da potencial. Em função da disponibilidade de dados, os autores sugerem o município como área mínima de observação do processo de desertificação, cujos indicadores são resumidos no Quadro 1.

O índice de propensão é composto de cinco subíndices: situação da cobertura vegetal, propensão à degradação ambiental, situação da produção agropecuária e extrativista, situação econômica e situação social da população. O subíndice da cobertura vegetal é obtido a partir do percentual de área coberta por vegetação temporária. O subíndice de susceptibilidade à degradação ambiental é construído a partir dos riscos de erosão, compactação e salinização do solo. Os três subíndices da condição socioeconômica são elaborados a partir da comparação com médias da região onde o município está inserido.

No caso do índice de desertificação, são definidos quatro subíndices, à semelhança do índice de propensão, incluindo-se a cobertura vegetal no conjunto de indicadores que tratam da degradação ambiental. Os autores entendem que a ausência de vegetação permanente, por si só, não caracteriza uma área como desertificada, devendo este aspecto ser observado em conjunto com outros indicadores ambientais. Para construção do índice de desertificação, são observadas as variações no tempo das mesmas variáveis utilizadas para definição do índice de propensão, através de limiares de decisão.

Quadro 1. Resumo dos Indicadores de Propensão e de Desertificação.

<b>Índice de Propensão</b> (Situação atual)	<b>Indicadores</b>	<b>Índice de Desertificação</b> (Variação no tempo)
<b>Subíndice</b>		<b>Subíndice</b>
Cobertura vegetal	Cobertura vegetal permanente e temporária	Agravamento da degradação ambiental
Propensão à degradação ambiental	Fertilidade do solo	
	Erosão do solo	
	Salinização do solo	
	Compactação do solo	
	Encrostamento do solo	

<b>Índice de Propensão</b> (Situação atual)	<b>Indicadores</b>	<b>Índice de Desertificação</b> (Variação no tempo)
<b>Subíndice</b>		<b>Subíndice</b>
	Salinização da água	
	Poluição da água	
Produção agropecuária e extrativista	Área cultivada	Declínio da produção agropecuária e extrativista
	Produção total das principais culturas	
	Pessoal ocupado	
	Produtividade por área	
	Produtividade por pessoa	
	Valor da produção das principais culturas	
	Número de cabeças dos principais rebanhos	
	Áreas de pasto plantado e nativo	
	Produção de leite	
	Número de animais abatidos	
	Valor da produção animal	
	Valor da produção extrativista	
Situação econômica	Renda per capita	Piora da situação econômica
	Composição da renda	
	Distribuição de renda	
	Formas de posse da terra	
Situação social	Índice de Desenvolvimento Humano	Piora da situação social
	Analfabetismo	
	Mortalidade infantil	
	Densidade da população rural	

Fonte: Adaptado de Sampaio *et al.* (2003).

Buscando avançar sobre as lacunas existentes nas abordagens anteriores, os autores propuseram uma sistemática de manipulação dos indicadores na qual a cadeia de causalidades fosse representada. A análise dos indicadores, portanto, deve observar a presença do ciclo vicioso que se origina na degradação ambiental, passa pela queda na produtividade agropecuária, segue para a redução da renda auferida da atividade rural e, por fim, promove a diminuição da qualidade de vida da população afetada e, em muitos casos, sua evasão.

Os autores sugeriram uma classificação dos subíndices em três níveis de severidade, obtidos a partir de uma sequência de testes condicionais, comparando os valores das variáveis do município ao valor médio da região, iniciando pelas variáveis ambientais e seguindo, no caso de haver degradação ambiental, pelas variáveis de produção agropecuária, situação econômica da população atingida e, finalmente, situação social. Foi essa a forma de garantir que, embora um município apresente subíndices socioeconômicos ruins, esses só são indicativos de desertificação potencial ou real se vierem acompanhados do subíndice de degradação ambiental também ruim. De outra maneira, seriam apenas indicadores de pobreza ou degradação da condição socioeconômica da população. Os autores não recomendaram a união, por qualquer método matemático que seja, dos subíndices de degradação ambiental, produção agropecuária, econômico e social, devendo os mesmos serem apresentados

separadamente para permitir a análise de cada dimensão do fenômeno e sua cadeia de causalidades.

Para Abraham, Montaña e Torres (2006), é importante determinar o marco conceitual a partir do qual indicadores são definidos, pois um conjunto disperso não cumpre com o objetivo de conhecer o sistema e os processos que o afetam nem tampouco oferece subsídios para a tomada de decisão. O Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul (Argentina, Chile, Bolívia, Equador, Peru e Brasil), iniciativa baseada nos princípios da UNCCD, adotou o modelo conceitual DPSIR, para bem demonstrar a relação de causalidade entre os indicadores selecionados, conforme descrito a seguir:

- Força motriz: representam as atividades humanas, macroprocessos e padrões que têm impacto sobre a desertificação.
- Indicadores de pressão: respondem às causas da desertificação.
- Indicadores de estado: descrevem o estado da desertificação num determinado momento.
- Indicadores de impacto: indicam as consequências da degradação das terras.
- Indicadores de resposta: indicam a resposta da sociedade e/ou medidas políticas frente ao problema da desertificação.

Partindo dessa definição, Abraham (2006) organizou um conjunto de indicadores obtidos por consenso entre os países envolvidos, a partir de alguns atributos: cumprir com as características desejáveis para indicadores definidas pelo programa, ter sido proposto pela maioria dos países e ter sido testado em outros projetos desenvolvidos na América Latina. Assim, os indicadores foram organizados em função da escala (nacional e local), da categoria (abióticos, biofísicos, socioeconômicos e institucionais/organizacionais) e do tema (clima, água, solo, flora/fauna, uso da terra, população, pobreza, institucional e organizações sociais). Dessa maneira, para a escala nacional, foi selecionado o seguinte conjunto de indicadores (Quadro 2).

Quadro 2. Indicadores propostos para escala nacional do Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul.

Categoria	Tema	Indicador	Marco ordenador
Fatores abióticos	Clima	Índice de aridez	Estado
		Índice padronizado de precipitação	Estado
	Água	Disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas	Estado
		Relação oferta/demanda de água	Pressão
		Índice de pobreza hídrica	Estado
		Nº de instituições vinculadas ao estudo da água	Resposta
		Existência de regulamentos vinculados à água em nível nacional e estadual	Resposta

Categoria	Tema	Indicador	Marco ordenador
	Solo	% de solo exposto ou albedo de superfície	Pressão
		Grau de erosão hídrica	Pressão
		Grau de erosão eólica	Pressão
		Nº de instituições vinculadas ao estudo do solo	Resposta
		Existência de regulamentos vinculados ao solo em nível nacional e estadual	Resposta
Fatores biofísicos	Flora e Fauna	% de cobertura vegetal	Pressão
		Recorrência e risco de incêndio	Pressão
		Espécies de flora e fauna em risco de extinção	Estado
		Nº de instituições vinculadas ao estudo da flora e fauna	Resposta
		Existência de regulamentos vinculados à flora e fauna em nível nacional e estadual	Resposta
Fatores sociais e econômicos	Uso da terra	Carga animal	Pressão
		% de lenha utilizada como combustível	Pressão
		Variação percentual da área destinada a diferentes usos produtivos	Pressão
		% da área sob diferentes regimes de propriedade	Estado
		% de produtores segundo o tamanho da propriedade (0.1 – 5ha, 5.1 – 30ha, 30.1 – 100ha, 100.1 – 250ha, mais de 250.1ha)	Estado
		Avanço da fronteira agropecuária	Pressão
		% de terras secas recuperadas ou em processo de recuperação	Resposta
	População	Densidade de população urbana e rural	Estado
		Taxa líquida de migração	Impacto
		% de mulheres chefes de família	Estado
		Doenças de maior incidência	Impacto
		% de analfabetismo	Impacto
	Pobreza	% da população economicamente ativa	Impacto
		% da população com necessidades básicas insatisfeitas	Impacto
		% da população abaixo da linha de pobreza	Impacto
Fatores institucionais e organizacionais	Institucional	% da população abaixo da linha de indigência	Impacto
		Nº de organismos estatais e instituições de pesquisa dedicadas à recuperação de terras secas	Estado
		Nº de organizações não-governamentais dedicadas à recuperação de terras secas	Estado
		Existência de leis nacionais e estaduais vinculadas à degradação de terras	Resposta
		Nº de organizações e programas dedicados a trabalhar em problemas em terras secas	Resposta
		Nº de instituições e projetos associados ao financiamento do PAN	Resposta
		Planos e programas de desenvolvimento estadual que acolhem o tema da desertificação	Resposta
	Organizações sociais	Quantidade de recursos estaduais, nacionais e internacionais destinados ao financiamento de projetos do PAN	Resposta
		% da população atendida por projetos de controle da desertificação	Resposta
		Nº de organizações ativas	Resposta
		% de líderes mulheres	Resposta

Fonte: Abraham (2006).

Na Europa Mediterrânea, a Comissão Europeia vem desenvolvendo estudos em sequência para consolidar um sistema de indicadores da desertificação. Kosmas, Kirkby e Geeson (1999) apresentaram, como um dos principais resultados do projeto inicial,

MEDALUS, o Manual sobre os indicadores-chave de desertificação e mapeamento de áreas ambientalmente sensíveis à desertificação para a Europa Mediterrânea. O estudo avançou no entendimento dos processos físicos e ecológicos de perda de solo por erosão hídrica e perda de nutrientes por diferentes usos do solo nas áreas piloto do projeto. Na escala de observação regional (vários países), os indicadores se restringem aos obtidos por sensoriamento remoto (cobertura vegetal, uso do solo), mapas topográficos, geológicos e pedológicos, identificados como *Regional Desertification Indicators* (RDI). Na escala sub-regional (província ou bacia hidrográfica), o conjunto de indicadores é ampliado a partir de mapas mais detalhados e observações de campo, quando aspectos particulares da vegetação, dos solos e da topografia podem ser detectados. Nessa escala, a observação proposta baseia-se na identificação de áreas ambientalmente sensíveis ao processo de desertificação, cuja metodologia é denominada *Environmentally Sensitive Areas* (ESA). Os indicadores são agrupados em quatro classes de qualidade: do solo, do clima, da vegetação e da gestão, cada uma com seu conjunto de indicadores e respectivos pesos numa escala de importância.

Construído sobre a base de dados do MEDALUS, o projeto MEDACTION avançou na elaboração de um sistema de suporte a decisão voltado para os diferentes *stakeholders*, desde formuladores de políticas, pesquisadores, agentes locais e usuários da terra. O sistema disponibiliza, além das bases de dados, modelos de previsão para degradação da terra baseados em cenários de mudanças climáticas e possíveis mudanças no uso da terra postas em prática pelos agricultores.

DESERTLINKS, a terceira iniciativa da Comissão Europeia, foi concebida sobre os resultados dos projetos MEDALUS e MEDACTION e avançou na aplicação de maneiras práticas de combate à desertificação através da união dos conhecimentos científicos ao saber local. O sistema de indicadores da desertificação foi ampliado para 148 indicadores e disponibilizado no site DIS4ME - *Desertification Indicator System for Mediterranean Europe*. O site contém, além do acesso à ampla gama de indicadores para as escalas regional e sub-regional, uma aplicação para cálculo de um indicador síntese, *Environmental Sensitivity Index* (ESI) (SALVATI *et al.*, 2013). Parte dos indicadores, agrupados nas quatro categorias da metodologia ESA (solo, clima, vegetação e gestão), foram classificados e receberam pontuações referentes à cada classe, que refletem seu estado e sua importância frente aos demais (Quadro 3). Um sub-índice de qualidade para cada categoria ESA foi então calculado a partir da média geométrica das pontuações atribuídas aos indicadores. Por fim, os sub-índices de qualidade foram agregados também por média geométrica, sem aplicação de escala de importância entre eles, gerando assim o ESI.

Quadro 3. Indicadores utilizados no projeto Desertlinks/DIS4ME/ESI.

Categoria	Indicador	Classes	Pontuação
Solo	Rocha - Mãe	Ardósia, xisto, básica, ultra básica, conglomerados, não consolidadas, argilas, maragas (com veg. natural);	1
		Calcários, mármore, granito, rholito, ignibrito, gneiss, arenito, dolomite;	1.7
		Marga, Piroclástico.	2
	Textura do Solo	L, SCL, SL, LS, CL	1
		SC, SiL, SiCL	1.2
		Si, C, SiC	1.6
		S	2
	Cobertura Fragmentos Rochosos (%)	> 60	1
		20 - 60	1.3
		< 20	2
	Profundidade Solo (cm)	profundo (>75 cm)	1
		moderado (75-30 cm)	2
		pouco profundo (15-30 cm)	3
		delgado(<15 cm)	4
	Drenagem	Bom	1
		Imperfeito	1.2
		Pobre	2
	Declive (%)	< 6	1
		6 - 18	1.2
		18 - 35	1.5
> 35		2	
Clima	Precipitação (mm/ano)	> 650	1
		280 - 650	2
		< 280	4
	Índice de Aridez (Bagnouls & Gausson)	< 50	1
		50 - 75	1.1
		75 - 100	1.2
		100 - 125	1.4
		125 - 150	1.8
	> 150	2	
	Exposição Vertentes	Norte, NO, NE, plano	1
		Sul, SO, SE	2
Vegetação	Cobertura Vegetal (%)	> 40	1
		40 – 10	1.8
		< 10	2
	Risco de Incêndio	Solo nu; Rocha-Mãe; Amendoeiras; Pomares; Vinhas; Oliveiras; Culturas anuais irrigadas (milho, tabaco, girassol, ... ); Horticultura	1
		Herbáceas perenes; Pastagens; Cereais; Herbáceas anuais; Florestas Caducifólias (Carvalho, misto); Maquis misto Mediterrâneo- Floresta sempre verde (with Q. ilex); Vegetação escassa; Matos.	1.3
		Maquis Mediterrâneo.	1.6
		Pinheiros e outras florestas de coníferas.	2
	Proteção da Erosão	Floresta sempre verde (excepto coníferas); Maquis misto Mediterrâneo-Floresta sempre verde (with Q. ilex); Rocha- Mãe.	1
		Maquis Mediterrâneo; Floresta Coníferas; Herbáceas perenes ; Pastagens; Oliveiras; Matos.	1.3
		Florestas Caducifólias (carvalho, misto).	1.6
		Amendoeiras; Pomares; ...	1.8
		Vinhas; Horticulturas; Culturas anuais (cereais, milho, arroz, aveia, centeio, herbáceas anuais, ....., etc.); Vegetação escassa; Solo nu.	2

Categoria	Indicador	Classes	Pontuação	
	Resistência à secas	Floresta sempre verde (excepto coníferas); Maquis Mediterrâneo ; Maquis misto Mediterrâneo - Floresta sempre verde (with Q. ilex); Rocha - Mãe; Solo nu.	1	
		Floresta Coníferas; Floresta Caducifólias; Oliveiras.	1.2	
		Amendoeiras; Pomares; Vinhas.	1.4	
		Herbáceas perenes; Pastagens; Matos.	1.7	
		Culturas anuais (herbáceas anuais, cereais, milho, tabaco, girassol, ...); Horticultura; Vegetação escassa .	2	
Gestão	Intensidade do uso de terra	Áreas com cultivos	Baixa Intensidade de Uso	1
			Média Intensidade de Uso	1.5
			Alta intensidade de Uso	2
		Áreas com pecuária (relação taxa de ocupação atual ASR / sustentável SSR)	ASR<SSR	1
			ASR =SSR a 1.5 *SSR	1.5
			ASR>1.5*SSR	2
		Áreas Naturais (características de gestão)	Baixa	1
			Moderada	1.2
			Alta	2
	Áreas com mineração (medidas de controle de erosão)	Adequadas	1	
		Moderadas	1.5	
		Baixas	2	
	Áreas de recreação (relação nº de visitantes atuais / permitidos)	<1	1	
		1 to 2.5	1.5	
		> 2.5	2	
Cumprimento de políticas de proteção do ambiente	Completa (>75% de área protegida)	1		
	Parcial (25-75% de área protegida)	1.5		
	Incompleta (<25% de área protegida)	2		

Fonte: Salvati (2013).

Costantini *et al.* (2009) reuniram um conjunto de indicadores para mapeamento do risco de desertificação na Itália, enquadrando-os no modelo DPSIR para explicar as pressões, impactos e respostas para cada um dos sistemas de degradação do solo definidos no estudo: por força da aridez (regiões climáticas, índice de aridez, umidade e temperatura do solo, dias de estresse hídrico por ano e terras irrigadas), em decorrência da erosão hídrica (sobrecarga animal, incêndios florestais, declividade, profundidade de enraizamento, presença de erosões, cobertura vegetal, áreas protegidas e medidas agroecológicas) e em virtude da salinização (solos salinos, qualidade da água de irrigação, taxa de acumulação de sais, áreas equipadas com redes de irrigação e uso da gestão adequada da água). O estudo apresentou os resultados na forma de quantidade de área improdutiva, vulnerável e sensível ao processo de desertificação.

Reynolds *et al.* (2011) resumiram um conjunto de conceitos científicos levados em consideração na implementação de modelos para análise integrada da desertificação, como os apresentados até aqui. A partir da análise dos vários tipos de modelos ambientais, socioeconômicos, de mudança na cobertura e uso da terra, entre outros, os autores extraíram elementos que indicam como combinar o enorme conjunto de informações derivadas de indicadores socioeconômicos e biofísicos para montagem de modelos de



avaliação integrada. O estudo mostra como tais elementos podem auxiliar na seleção e integração de indicadores, interpretação de tendências explicitadas pelos indicadores, tratamento de processos multi-escala (local, regional, nacional, global), representação de variações espaciais e temporais dos indicadores e avaliação de incertezas. Indo além do modelo DPSIR, os autores propuseram um novo *framework* para avaliação global da desertificação, denominado *Global Drylands Observing System* – GDOS, que ressalta a dinâmica existente nas relações do homem com o meio ambiente e as características próprias dos desafios de desenvolvimento nas terras áridas descritas no *Dryland Development Paradigm* – DDP. Para os autores, além de bem refletir a complexidade do processo de desertificação, um modelo deve prezar pela qualidade científica dos dados de saída e seus resultados atenderem às necessidades dos habitantes dessas áreas.

Como se pode constatar através das diversas propostas de sistemas de indicadores descritas aqui, caracterizar e monitorar o fenômeno da desertificação exige conhecer e analisar, em conjunto, um grande número de indicadores de natureza ambiental, econômica, social e institucional. Para tarefa desta natureza, a literatura recomenda a utilização de métodos de análise multicritério para auxílio à tomada de decisão (MCDA – *Multicriteria Decision Analysis*), assunto tratado a seguir.

### **2.3 Análise de decisão multicritério**

Antes do desenvolvimento da análise multicritério, escolher uma entre diversas alternativas de ação era uma questão de identificar a melhor delas a partir de um único ponto de vista. Através da identificação de um conjunto de ações possíveis, de uma lista de limitações ou restrições e da definição de uma função matemática capaz de expressar a realidade da maneira mais fiel possível, o objetivo era encontrar a melhor solução capaz de otimizar o critério utilizado para análise. Este é o campo de ação da pesquisa operacional clássica (ROY e VINCKE, 1981).

Observava-se, no entanto, que são raras as situações reais nas quais um único critério de análise é suficiente para comparar diversas alternativas de ação de modo a encontrar aquela que melhor responda à situação proposta. Vislumbrava-se, então, o campo de estudo da análise multicritério cujo objetivo era tratar problemas de decisão nos quais vários pontos de vista, muitas vezes conflitantes, deveriam ser levados em conta simultaneamente.

A partir da década de 1980, a teoria da análise de decisão multicritério passou então a ser concebida segundo três abordagens distintas (GUARNIERI, 2015). A escola americana, da qual decorrem métodos como MAUT - *Multi-attribute Utility Theory* (KEENEY

e RAIFFA, 1976), SMART - *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (EDWARDS, 1994), TOPSIS - *Technique for the Order of Prioritisation by Similarity to Ideal Solution* (HWANG e YOON, 1981) e AHP - *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1990), desenvolveu a Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério Único de Síntese. Quando uma alternativa é avaliada por meio de um conjunto de critérios ou indicadores, as preferências do decisor são agregadas em um valor de utilidade único obtido de forma aditiva a partir do desempenho frente a cada critério. A alternativa melhor avaliada é aquela que obtiver a melhor pontuação.

A escola francesa desenvolveu a abordagem da Classificação ou Subordinação na qual as preferências do decisor são construídas a partir da comparação par a par, quando se verifica qual alternativa é superior em cada critério, estabelecendo-se uma relação de superação na comparação entre duas alternativas. A melhor alternativa é aquela que apresentar superioridade na maioria dos critérios, estabelecendo-se, assim, a classificação ou ordenamento das alternativas. Os métodos ELECTRE - *Elimination and Choice Translating Reality* (ROY, 1991) e PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (BRANS *et al.*, 1986) fazem parte dessa abordagem.

Por fim, a terceira abordagem é conhecida como Métodos Interativos, base da programação linear multiobjetivo. Nessa abordagem, busca-se uma alternativa que seja claramente superior em todos os objetivos estabelecidos, através da agregação de preferências do decisor obtida a partir de avaliações matemáticas interativas e sucessivas, inclusive com possíveis alterações na estrutura de preferências em função da disponibilidade de novas informações, com vista à convergência para uma solução final que estabeleça um compromisso aceitável entre as funções objetivo. Os seguintes métodos são seguidores dessa abordagem: STEM - *Step Method* (BENAYOUN *et al.*, 1971), ICW - *Interval Criterion Weights* (STEUER, 1977) e PR - *Pareto Race* (KORHONEN e WALLENIOUS, 1988).

Utilizando métodos de análise multicritério, diversos autores (CABELLO *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2014; GONZÁLEZ, 2009; WOLFSLEHNER e VACIK, 2008, entre outros) realizaram estudos nos quais critérios socioeconômicos e ambientais foram usados para avaliação de sustentabilidade, de modelos de gestão e uso da terra, de exploração de florestas, entre outras situações. Embora tais estudos não digam respeito diretamente à sistemas de indicadores, dessas experiências pôde-se extrair importantes subsídios para estruturação de um sistema de avaliação do fenômeno da desertificação a partir de indicadores, permitindo, inclusive, o cálculo de índices, de natureza multicriterial, para o processo e, assim, a ordenação de áreas por gravidade do fenômeno.

Martins *et al.* (2014) desenvolveram um modelo de gestão de florestas bioeconômicas para a região sul de Portugal, área às margens do Mar Mediterrâneo. Utilizando técnicas de análise de decisão multicritério pela abordagem da programação linear multiobjetivo, os autores estruturaram um sistema para maximizar o lucro das atividades agroflorestais, maximizar o nível da biodiversidade na propriedade e minimizar o risco de incêndio florestal. Para o primeiro objetivo, modelaram matematicamente os resultados financeiros das atividades de produção agroflorestal (culturas temporárias e permanentes, produtos florestais), produção da pecuária, atividades de limpeza para controle de incêndio, compostagem, venda de biomassa, coleta de cortiça e produção de estrume. Para os demais objetivos, utilizaram metodologia já consolidada para cálculo dos índices de biodiversidade e de risco de incêndio a partir das atividades existentes na propriedade. Para otimização do sistema, os autores relatam como fundamental a atribuição do grau de importância de cada objetivo sob a perspectiva das autoridades, dos especialistas e do proprietário das terras. O modelo de gestão foi aplicado na região sul de Portugal e, segundo seus autores, mostrou-se útil para auxílio na tomada de decisão quanto às atividades a serem praticadas na propriedade.

Grau *et al.* (2010) aplicaram os métodos ELECTRE, PROMETHEE e AHP para elaborar um plano de ação para solução ou redução do problema da erosão do solo na região do Chaco argentino. Utilizando oito critérios de avaliação (erosão hídrica, erosão eólica, facilidade de implementação, recursos hídricos, mão de obra, impactos ambientais e aceitação social) e cinco alternativas de ação (implantação de florestas nativas, implantação de florestas de alto valor comercial, fazendas tradicionais com agricultura e pecuária extensiva associadas com florestas nativas e plantas forrageiras, culturas para controle de erosão com uso agrícola e com uso industrial), os autores compararam os resultados alcançados com a aplicação dos três métodos MCDA para seis subzonas de estudo. As matrizes iniciais de comparação critérios x alternativas foram obtidas a partir de oficinas com especialistas e atores locais e utilizadas em todos os métodos. Para o método PROMETHEE foram empregadas as funções de preferências do tipo Casual, para os critérios 4 e 5, e Preferência Linear, para os demais critérios. Ao final, concluíram haver grande convergência dos resultados obtidos com os três métodos, e apontaram o ELECTRE e o PROMETHEE como os mais confiáveis e adequados.

Sepehr e Zucca (2012) utilizaram o método TOPSIS para ordenar as preferências de especialistas e tomadores de decisão do Brasil, Moçambique e Portugal relativas aos indicadores sugeridos para o processo de desertificação modelado pelo projeto DesertWatch Extension (DWE, 2012), financiado pela Agência Espacial Europeia.

Aplicando técnicas de análise de decisão multicritério às respostas dos questionários preenchidos por cada país durante oficinas nacionais, os autores ordenaram os 29 indicadores propostos de acordo com sete critérios de avaliação: preferências de cada um dos países (3), escala adequada conforme cada país (3) e pontuação para a qualidade da informação obtida por sensoriamento remoto (1). Ao final, apontaram aqueles cinco indicadores de maior preferência, todos com pontuação acima de 0,70: aumento da cobertura vegetal (0,89), alteração no uso da terra (0,78), fogo (0,77), redução da cobertura do dossel e/ou biomassa (0,77) e expansão de áreas cultivadas (0,74). Indicadores relacionados à dimensão socioeconômica surgiram em seguida na ordem de prioridades: abandono da terra (0,69), aumento nos impactos humanos (0,66) e reflorestamento (0,66). Aspectos como erosão e salinização do solo obtiveram menores pontuações, fato justificado pelos autores pela complexidade de sua medição através de sensoriamento remoto, técnica principal de coleta de dados do projeto.

### 2.3.1 Escolha do método MCDA

Diante da profusão de propostas de métodos MCDA, resta claro que é necessário definir critérios para a escolha daquele que mais se adequa à estruturação do sistema de indicadores para o processo de desertificação. Neste sentido, Cinelli *et al.* (2014) realizaram estudo comparativo entre alguns métodos utilizados para avaliação de sustentabilidade, ou seja, situações semelhantes ao estudo da desertificação, quando se congregam aspectos ambientais, sociais, econômicos e de gestão para tomada de decisão. Para eles, a escolha do método não tem sido devidamente justificada e é conduzida, normalmente, pela familiaridade e afinidade do pesquisador com determinada abordagem. Para guiar a escolha, os autores julgaram o desempenho de cinco métodos MCDA - MAUT, AHP, ELECTRE, PROMETHEE e DRSA - *Dominance-based rough set approach* (GRECO *et al.*, 1998) frente a um conjunto de dez critérios reconhecidos como cruciais por diversos autores que desenvolvem estudos de avaliação de sustentabilidade. Os critérios utilizados foram organizados da seguinte maneira:

- Solidez científica:
  - Uso de dados qualitativos e quantitativos: capacidade de incluir informação de natureza qualitativa e quantitativa.
  - Perspectiva de ciclo de vida: possibilidade de suportar o ciclo de vida do objeto de avaliação.
  - Tipologia de pesos: significado dado aos pesos usados para atribuir níveis de importância aos critérios.

- Valores de limiar: utilizados para modelar estruturas complexas e incertezas.
- Grau de compensação: o nível de compensação entre dimensões da sustentabilidade determina a distinção entre os métodos baseados em conceitos fortes e fracos de sustentabilidade.
- Tratamento de incertezas e análise de sensibilidade: capacidade de tratar com incertezas e informações imprecisas ou ausentes.
- Robustez: influência da adição ou supressão de alternativas sobre os resultados da avaliação.
- Viabilidade:
  - Suporte de software e representação gráfica: disponibilidade de ferramentas para implementar o método, tratar as informações e apresentar os resultados de maneira clara e sob várias perspectivas.
  - Facilidade de uso: inteligibilidade do método e simplicidade de sua estrutura na perspectiva do tomador de decisão.
- Utilidade
  - Dimensão de aprendizagem: possibilidade de reavaliar os resultados se novas informações tornam-se disponíveis.

A partir de uma extensa pesquisa bibliográfica, os autores julgaram o desempenho de cada método e resumiram suas conclusões no Quadro 4, onde os julgamentos possíveis foram assim sinalizados: bom desempenho (+), fraco desempenho (-), desempenho mediano ( $\pm$ ). Em algumas situações, não se observou unanimidade entre os trabalhos publicados, condição expressa na tabela através de mais de um julgamento.

Quadro 4. Desempenho dos métodos MCDA frente aos indicadores relacionados à sustentabilidade.  
(+ Bom desempenho, - Fraco desempenho,  $\pm$  Desempenho mediano)

Domínio	Critério	MAUT	AHP	ELECTRE	PROMETHEE	DRSA
Solidez científica	Uso de dados qualitativos e quantitativos	+ Possível	+ Possível	+ Possível	+ Possível	+ Possível
	Perspectiva de ciclo de vida	+ Possível	+ Possível	+ Possível	+ Possível	+ Possível
	Tipologia de pesos	- Trade-offs	+ Coeficientes de importância - Trade-offs	+ Coeficientes de importância	+ Coeficientes de importância - Trade-offs	+ Não necessário
	Valores de limiar	- Impossível + Possível	- Impossível	+ Possível	+ Possível	+ Possível, obtido das regras de decisão
	Grau de compensação	- Completo	- Completo	+ Nulo $\pm$ Parcial	$\pm$ Parcial - Completo	+ Nulo

Domínio	Critério	MAUT	AHP	ELECTRE	PROMETHEE	DRSA
	Tratamento de incertezas e análise de sensibilidade	+ Possível	+ Possível ± Parcialmente possível	+ Possível	+ Possível ± Parcialmente possível	+ Possível
	Robustez	+ Nenhuma alteração ocorre na classificação	± Pode ocorrer alteração na classificação	± Pode ocorrer alteração na classificação	± Pode ocorrer alteração na classificação	± Pode ocorrer alteração na classificação
Viabilidade	Suporte de software e representação gráfica	+ Software disponível com alguma capacidade gráfica	+ Software disponível com boa capacidade gráfica	± Software disponível com fraca capacidade gráfica	+ Software disponível com boa capacidade gráfica	± Software disponível com fraca capacidade gráfica
	Facilidade de uso	+ Alta - Baixa	+ Alta ± Média - Baixa	- Baixa	± Média	+ Alta
Utilidade	Dimensão de aprendizagem	- Difícil	- Difícil + Possível	- Difícil	+ Simples, com análise de cenários	- Difícil

Fonte: adaptado de Cinelli *et al.* (2014).

Diversas foram as conclusões dos autores na comparação dos cinco métodos de MCDA: todos são capazes de manusear dados quantitativos e qualitativos, oferecem suporte para a análise ao longo do ciclo de vida do objeto de estudo e dispõem de mecanismos para análise de sensibilidade. Em relação aos demais critérios, os métodos se apresentaram de maneiras diversas.

ELECTRE, PROMETHEE e DRSA mostraram melhor desempenho na gestão de limiares de decisão além de limitar severamente ou até eliminar os indesejáveis efeitos de compensação entre critérios. Ademais, quando se busca uma solução fortemente sustentável, os pesos associados aos critérios são utilizados como coeficientes de importância e não como compromissos (*tradeoffs*) como ocorre nos métodos AHP e MAUT.

Ainda parte das conclusões, os autores afirmam que, exceto o AHP, todos os demais lidam bem com incertezas por meio de distribuição de probabilidades e limiares de decisão. MAUT obteve melhor desempenho quanto ao critério de robustez, ou seja, todos os demais têm dificuldades com a alteração da classificação quando se elimina ou adiciona uma alternativa.

Por fim, os autores destacam que apenas as versões de software do PROMETHEE e uma única do AHP (*Expert Choice*) são capazes de tratar adequadamente a contínua disponibilidade de novas informações, característica comum nas questões de sustentabilidade. Os demais métodos sofrem grande desvantagem quando reavaliações constantes e dinâmicas são necessárias para a contínua análise de sustentabilidade do objeto de estudo.

Vale aqui pontuar que o processo de desertificação é resultado de um conjunto de práticas insustentáveis do ponto de vista socioeconômico, ambiental e institucional. Estudar

a desertificação é avaliar o quanto as práticas adotadas estão afastadas daquelas recomendadas para uma gestão sustentável dos recursos naturais (vegetação e solo, em especial) de uma determinada região. Desta forma, entende-se que o estudo comparativo apresentado acima também se aplica ao tema desertificação e suas conclusões podem, então, ser aplicadas à escolha do método de análise de decisão multicritério para a estruturação do sistema de indicadores para avaliação do processo.

Isto posto e diante das conclusões apresentadas pela análise comparativa dos métodos de MCDA, algumas particularidades de um sistema de indicadores para desertificação necessitam ser expostas. A grande maioria dos indicadores propostos pelos diversos autores são obtidos de variáveis derivadas de dados espaciais e cadastrais constantemente atualizados por imagens de satélite e censos demográficos, agropecuários e industriais, condição que dirige a escolha do método para o PROMETHEE ou para o AHP (*Expert Choice*).

Uma segunda particularidade trata da natureza quantitativa da maioria dos dados e da grande quantidade de alternativas, representadas pelos municípios, a serem avaliadas pelo tomador de decisão. Métodos que necessitam de esforço considerável por parte dos especialistas para montagem da matriz de preferências, como é o caso do MAUT e AHP, sofrem clara desvantagem quando é grande o número de alternativas a serem avaliadas. Neste quesito, o método PROMETHEE oferece acentuada vantagem por utilizar uma única função de preferência para cada um dos critérios de análise, independentemente da quantidade de alternativas. Ou seja, bastam ser escolhidas as funções de preferência para cada critério, e seus respectivos limiares de indiferença e preferência, que o método pode ser aplicado a qualquer conjunto de municípios. Adicionalmente, como as preferências são calculadas em função das diferenças entre os valores numéricos de cada par de alternativas, a natureza quantitativa da maioria dos indicadores também favorece a abordagem do método PROMETHEE.

Pelas razões apresentadas, disponibilidade de software MCDA com adequada interface gráfica e existência de pelo menos um sistema de informação geográfica integrado à ferramenta MCDA, o presente estudo fez uso do método PROMETHEE para estruturação do sistema de indicadores para o processo de desertificação.

### **2.3.2 O método PROMETHEE**

PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations, é um dos métodos de análise de decisão multicritério utilizado para estabelecer uma estrutura de preferência entre alternativas de ação, para auxílio na tomada de decisão.

Desenvolvido por Brans, Vincke e Mareschal (1986), os autores consideram a aplicação do método uma atividade relativamente simples, função do pequeno número de parâmetros a serem definidos, do fácil entendimento de sua lógica pelos gestores responsáveis pela tomada de decisão e, ainda, por sua estabilidade diante de pequenas variações nos valores de entrada do modelo.

O método baseia-se na definição de funções de preferência para cada critério a ser utilizado na avaliação das alternativas de ação. A comparação é feita em pares, quando um escore é calculado para a preferência de cada alternativa sobre as demais. Dado um conjunto  $K$  de alternativas, define-se uma função  $f$  tal que:

$$f: K \rightarrow R$$

Ou seja, para alternativas  $a$  e  $b \in K$ ,  $f_k(a)$  e  $f_k(b)$  representam as avaliações (valores) do critério  $k$  para essas alternativas. A função de preferência  $P$  de  $a$  sobre  $b$  com relação ao critério  $k$ ,  $P_k(a,b)$ , é então definida por:

$$P_k(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{se } f_k(a) \leq f_k(b) \\ P[f_k(a) - f_k(b)] & \text{se } f_k(a) > f_k(b) \end{cases}$$

Graficamente, a função de preferência é representada pela função  $H(x)$ , onde, para o eixo positivo de  $x$  são indicados os valores da preferência de  $a$  sobre  $b$  e, para o eixo negativo de  $x$  são indicados os valores de preferência de  $b$  sobre  $a$ , ou seja:

$$H(x_k) = \begin{cases} P_k(a, b) & \text{para } x_k \geq 0 \\ P_k(b, a) & \text{para } x_k \leq 0 \end{cases}$$

Onde:

$x_k = f_k(a) - f_k(b)$ , no caso de maximização do critério  $k$ , e

$x_k = f_k(b) - f_k(a)$ , no caso de minimização do critério  $k$ .

O método PROMETHEE utiliza seis funções de preferência (Quadro 5) que necessitam da definição de, no máximo, dois parâmetros:  $q$ , valor máximo da diferença entre as avaliações de duas alternativas abaixo do qual o tomador de decisão considera as alternativas como indiferentes, e  $p$ , valor mínimo da diferença entre as avaliações de duas alternativas acima do qual o tomador de decisão considera uma das alternativas como totalmente preferível.



Para a função tipo I, **a** é preferível a **b** sempre que a diferença entre suas avaliações for positiva ( $x > 0$ ). Na função tipo II, **a** é indiferente a **b** até o valor **q**, a partir do qual **a** passa a ser totalmente preferível a **b**. Na função tipo III, a preferência de **a** sobre **b** é linear até o valor **p**, a partir do qual **a** é totalmente preferível a **b**. Na função tipo IV, derivada da função II, um patamar de fraca preferência de **a** sobre **b** é inserido para os valores de **x** entre **q** e **p**. Na função tipo V, esse patamar é substituído por uma preferência linear de **a** sobre **b** para os valores de **x** entre **q** e **p**. Por fim, na função tipo VI, a preferência de **a** sobre **b** varia de acordo com a função gaussiana com desvio padrão **S**.

Quadro 5. Tipos de Função de Preferência do método PROMETHEE.

Função para o critério k	Gráfico	Parâmetros
Tipo I: Critério Usual $P_I(x_k) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_k = 0 \\ 1 & \text{se } x_k \neq 0 \end{cases}$		-
Tipo II: Tipo U (quase-critério) $P_{II}(x_k) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_k  \leq q_k \\ 1 & \text{se }  x_k  > q_k \end{cases}$		$q_k$
Tipo III: Tipo V (preferência linear) $P_{III}(x_k) = \begin{cases}  x_k /p_k & \text{se }  x_k  \leq p_k \\ 1 & \text{se }  x_k  > p_k \end{cases}$		$p_k$
Tipo IV: Tipo escada (nível) $P_{IV}(x_k) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_k  \leq q_k \\ 1/2 & \text{se } q_k <  x_k  \leq p_k \\ 1 & \text{se }  x_k  > p_k \end{cases}$		$q_k, p_k$
Tipo V: Tipo V com indiferença (preferência linear com área de indiferença) $P_V(x_k) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_k  \leq q_k \\ \frac{ x_k  - q_k}{p_k - q_k} & \text{se } q_k <  x_k  \leq p_k \\ 1 & \text{se }  x_k  > p_k \end{cases}$		$q_k, p_k$
Tipo VI: Tipo Gaussiana $P_{VI}(x_k) = 1 - e^{-x_k^2/2s_k^2}$		$s_k$

Fonte: Brans, Vincke e Mareschal (1986)

Calculada a preferência de cada alternativa sobre as demais para todos os critérios e definido o peso  $\pi_i$  para cada critério  $i$ , a classificação é obtida através do índice de preferência global da alternativa **a** sobre a **b**  $\Pi(a,b)$  (*multicriteria preference index*), definido pela média ponderada das preferências de **a** sobre **b** para todos os critérios:

$$\Pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k \pi_i P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k \pi_i}$$

Graficamente, o índice de preferência global é representado por arcos que deixam a alternativa **a** em direção a **b**, quando **a** domina **b**, e no sentido contrário, quando **a** é dominada por **b** (Figura 3).

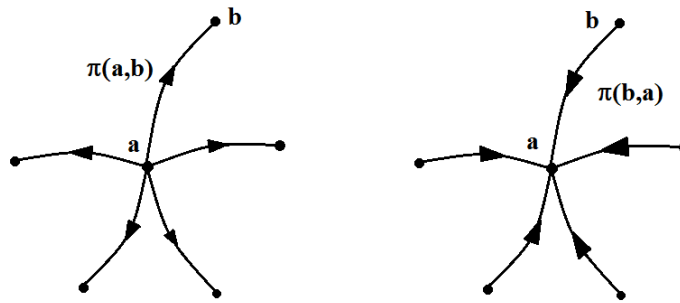


Figura 3: Representação dos Índices de Preferências Globais do método PROMETHEE.  
Fonte: Brans, Vincke e Mareschal (1986)

Por fim, são definidos os fluxos de importância positivo  $\Phi^+(a)$  (*leaving flow*) e negativo  $\Phi^-(a)$  (*entering flow*) de uma alternativa **a** pelo somatório dos índices de preferência globais de **a** sobre as demais alternativas (o quanto **a** domina as demais) e pelo somatório dos índices de preferência globais das demais alternativas sobre **a** (o quanto **a** é dominada pelas demais), respectivamente. A diferença entre o fluxo de importância positivo e o fluxo de importância negativo é definido como fluxo de importância líquido  $\Phi(a)$ .

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in K} \Pi(a, b)$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in K} \Pi(b, a)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

Assim, as condições possíveis de preferência e indiferença entre as alternativas **a** e **b** são determinadas por:

$$aP^+b \text{ se } \Phi^+(a) > \Phi^+(b)$$

$$aI^+b \text{ se } \Phi^+(a) = \Phi^+(b)$$

$$aP^-b \text{ se } \Phi^-(a) < \Phi^-(b)$$

$$aI^-b \text{ se } \Phi^-(a) = \Phi^-(b)$$

A ordenação parcial preconizada pelo método PROMETHEE I ( $P_I$ ,  $I_I$  e  $R$ ) é então obtida por:

$$\begin{cases} aP_I b \text{ (} a \text{ domina } b\text{)} & \text{se } [(aP^+ b \text{ E } aP^- b) \text{ OU } (aP^+ b \text{ E } aI^- b) \text{ OU } (aI^+ b \text{ E } aP^- b)] \\ aI_I b \text{ (} a \text{ é indiferente de } b\text{)} & \text{se } (aI^+ b \text{ E } aI^- b) \\ aRb \text{ (} a \text{ e } b \text{ são incomparáveis)} & \text{em todos os demais casos} \end{cases}$$

Quando requerida, a ordenação completa do método PROMETHEE II é alcançada através do fluxo de importância líquido:

$$\begin{cases} aP_{II} b \text{ (} a \text{ domina } b\text{)} & \text{se } \Phi(a) > \Phi(b) \\ aI_{II} b \text{ (} a \text{ é indiferente de } b\text{)} & \text{se } \Phi(a) = \Phi(b) \end{cases}$$

Considerando cada município ou unidade de área (pixel) da região de estudo como uma alternativa, a aplicação do método PROMETHEE permitirá ordená-los por grau de severidade da desertificação, apresentando o resultado através de um indicador síntese aqui representado pelo fluxo de importância líquido.

## 2.4 Análise de decisão multicritério espacial

Um sistema de indicadores para o processo de desertificação, que faça uso de dados ambientais, econômicos, sociais e de gestão, exige de seu organizador uma primeira decisão. Por se estar tratando de variáveis e parâmetros de natureza espacial (os dados ambientais) e discreta (os dados municipais socioeconômicos e institucionais), é necessário escolher de que maneira as análises multicritério serão feitas e os resultados apresentados. Uma primeira opção é transformar os dados espaciais em dados relativos à área do município (por ex., o percentual de área ocupada por vegetação permanente), processá-los em conjunto com os dados discretos através das técnicas convencionais de análise de decisão multicritério e, por fim, apresentá-los num SIG para possibilitar a análise e discussão dos resultados. Neste caso, seria obtido um mapa síntese do processo de desertificação, indicando a severidade do fenômeno por município, ou seja, uma comparação da “deficiência” de cada município frente ao problema da desertificação. Evidentemente, a natureza espacial da informação ambiental estaria perdida ao ser agregada a um único valor representativo do município.

A segunda maneira é efetuar a análise de decisão multicritério no interior de um SIG, utilizando, para isto, aplicativos que implementam a lógica MCDA entre os planos de

informação (PI's), quer sejam estes oriundos de dados espaciais ou cadastrais. São os métodos denominados *Spatial Multicriteria Decision Analysis* (SMCDA) ou *Geographic Information System based on Multicriteria Decision Analysis* (GIS-MCDA). Tal abordagem traz consigo uma dificuldade, especialmente para aqueles métodos MCDA de classificação, como o PROMETHEE. Quando o PI está no formato *raster*, cada ponto deverá ser considerado uma alternativa a ser comparada, par a par, com os demais pontos do PI, para todos os critérios de análise. A tarefa computacional se torna geometricamente crescente na medida em que diminui o tamanho do pixel do PI *raster*. Para reduzir o esforço computacional, os PI's no formato *raster* podem ser previamente classificados e transformados para o formato vetorial onde a informação de cada classe estará representada por polígonos, reduzindo acentuadamente a quantidade de alternativas a serem consideradas. A classificação prévia PI *raster* reduz, obviamente, a qualidade da informação original (MALCZEWSKI e RINNER, 2015). Em ambos os casos, a situação da desertificação estaria representada espacialmente distribuída por todo o município, indicando as áreas onde o fenômeno é mais grave e necessita de maior atenção dos tomadores de decisão.

Diversos softwares para geoprocessamento disponibilizam complementos para análise multicritério. Entre os comerciais, ArcGis, Idrisi e Decerns SDSS implementam os principais métodos, tais como MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*), AHP, TOPSIS, PROMETHEE, MAUT, entre outros. Soluções com livre acesso, tais como GVSIG, QGIS, GRASS e SPRING, também disponibilizam complementos para análise multicritério, embora com algumas restrições nas funcionalidades. Entre os gratuitos, o pacote r.mcda do GRASS parece ser o mais completo, pois implementa os métodos AHP, ELECTRE, DRSA, PROMETHEE e TOPSIS.

A seguir são apresentados alguns estudos nos quais critérios ambientais, sociais e econômicos são analisados através de SIGs integrados a ferramentas de MCDA. Tais estudos exemplificam situações comuns ao desafio de estruturação de um sistema de indicadores para o processo de desertificação pelo caráter espacial de alguns de seus critérios de análise.

Lopes *et al.* (2009) desenvolveram um modelo biofísico para avaliação e espacialização do risco à desertificação na bacia hidrográfica do rio Brígida, região oeste de Pernambuco. Baseado nos indicadores albedo, emissividade, temperatura da superfície, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) e fluxo de calor no solo, obtidos por imagens do satélite Landsat dos anos de 1985 e 2001, e potencial natural de erosão, representado pela erodibilidade do solo, erosividade

da chuva e fator topográfico, os autores avaliaram a evolução da degradação na área de estudo e o risco à desertificação. Todos os indicadores foram transformados em planos de informação do tipo *raster*, com tamanho de pixel de 30m x 30m, utilizando o software livre Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e programas em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). O plano de informação *raster* representando o risco à desertificação foi calculado através do potencial natural de erosão ponderado pela combinação linear dos indicadores albedo, emissividade, temperatura da superfície, NDVI e fluxo de calor no solo, para os anos de 1985 e 2001. Por fim, as áreas afetadas por cada classe de risco à desertificação foram calculadas para as respectivas datas, possibilitando a análise da evolução da degradação na região de estudo.

Zhang *et al.* (2010) apresentaram os resultados dos estudos de identificação de áreas prioritárias para controle de erosão na bacia hidrográfica do rio Yongding, localizada a noroeste da cidade de Pequim, China. O risco à erosão foi estimado pela combinação dos indicadores cobertura vegetal, uso do solo e declividade. Por técnicas de sensoriamento remoto através de imagens do satélite chinês Beijing-1, a cobertura vegetal foi estimada pelo NDVI. Seu valor foi normalizado em percentual, levando-se em conta a resposta espectral do solo exposto e da vegetação densa, e classificado em seis categorias. O uso e ocupação do solo foi obtido também por processamento digital de imagem, utilizando-se técnicas de classificação orientada a objeto, e mapeado, para fins de risco de erosão, em áreas utilizadas para produção agropecuária e áreas nativas. Calculada por levantamento topográfico na escala 1:50.000, a declividade foi classificada em seis níveis de potencial de erosão. O risco à erosão para a área de estudo foi então alcançado pela combinação lógica dos três indicadores, expressos em forma de mapas vetoriais com seus respectivos atributos, resultando um mapa temático com seis categorias: discreto, leve, moderado, severo, muito severo e extremamente severo. O estudo foi conduzido com dados dos anos 2000 e 2006 e seus resultados finais combinados para se obter uma avaliação da mudança no risco de erosão do solo e, assim, determinar as áreas prioritárias para intervenção.

Sá *et al.* (2013) apresentaram estudo no qual o risco à desertificação na Paraíba é mapeado a partir de dois indicadores ambientais: cobertura vegetal e tipo de solo. Utilizando imagens dos sensores ETM+ da série de satélites Landsat, a cobertura vegetal foi classificada e atribuída pelos autores a uma escala de severidade da desertificação iniciada por ausente, nas terras onde a vegetação é bastante protetora do solo, passando por fraco, moderado, acentuado e severo, onde a cobertura vegetal é muito rala ou ausente. Quanto

à susceptibilidade à erosão dos solos, foram aplicados os resultados de Lima et al (2002), que enquadrou as classes de solo em quatro níveis de risco à erosão: fraco, moderado, acentuado e severo. Realizando uma operação de intersecção entre os planos de informação vetoriais gerados para cada um dos indicadores e efetuando uma análise subjetiva dos atributos de cobertura vegetal e risco à erosão dos polígonos resultantes, foi criado o mapa final de susceptibilidade à desertificação.

Franco, Hernandez e Morales (2013) aplicaram técnicas de análise de decisão multicritério em ambiente SIG para determinação de regiões prioritárias para restauração das áreas de preservação permanente (APP) nas nascentes e margens dos riachos da microbacia hidrográfica do córrego Coqueiro, localizado no noroeste paulista, afluente da margem direita do rio São José dos Dourados. Através de técnicas de programação por compromisso, implementadas pelo software *Integrated Land Water Information System* (ILWIS), quatro critérios de análise foram utilizados, com seus respectivos pesos atribuídos por analistas ambientais: proximidade da vegetação (0,168), vulnerabilidade à erosão (0,154), uso e ocupação do solo na APP (0,150) e categoria das APPs (0,132). Cada critério foi representado por um plano de informação e seus respectivos atributos. Para o critério proximidade da vegetação, foi calculada e normalizada a distância entre o fragmento florestal mais próximo e a APP. Para os demais critérios, foram atribuídos valores (pesos) para cada classe de vulnerabilidade à erosão (tipo de solo e classe de declive), uso e ocupação do solo e tipo de APP. A prioridade de restauração foi então calculada pela equação de integração, executada entre os planos de informação, representada pela combinação linear ponderada dos critérios para toda a área de APP.

Nasiri *et al.* (2013) apresentaram estudo para seleção de áreas mais adequadas para recarga superficial de aquífero por técnicas de espalhamento de águas de inundação, aplicando métodos de análise de decisão multicritério espacial, na bacia hidrográfica Garabaygan, sudoeste do Iran. Oito critérios de análise (declividade, qualidade da água, tipo de formação geológica, espessura do aluvião, uso do solo, transmissividade do aquífero, geomorfologia e densidade da drenagem) foram organizados em planos de informação do tipo raster no software GRASS. Especialistas e gestores foram chamados a definirem o nível de importância de cada critério (pesos), com o auxílio do método AHP – Expert Choice, e a conversão dos critérios qualitativos (tipo de formação geológica, uso do solo e geomorfologia) em valores numéricos, posteriormente digitalizados para formato raster 30m x 30m. Os critérios qualidade da água, espessura do aluvião e transmissividade do aquífero foram estimados por técnicas de krigagem a partir dos pontos de coleta de dados e representados em grade uniforme de 30m x 30m. Após definirem as funções de

preferência e os limiares de preferência e indiferença para cada critério, os autores transferiram os planos de informação para o software MATLAB (em forma de matrizes) e aplicaram o método PROMETHEE, gerando uma matriz correspondente ao fluxo de importância líquido de cada pixel da região de estudo. Tal resultado foi transportado para o GRASS e apresentado como mapa do tipo raster, classificado, indicando o nível de adequação da área à aplicação da técnica de recarga superficial do aquífero.

Massei *et al.* (2014) apresentaram o pacote de soluções desenvolvidas pelos autores para integração de métodos de análise de decisão multicritério à SIGs. Através do conjunto de ferramentas *r.mcda* concebidas para o SIG GRASS 6.4, os autores realizam um estudo de caso comparando os resultados obtidos pelos métodos AHP, DRSA e Conjuntos Fuzzy para o problema de destinação dos resíduos da indústria de azeite na província de Perugia, região central da Itália. A questão central a resolver era determinar as áreas onde a aplicação dos rejeitos no solo não provocassem contaminação e sim fertilização. Para tanto, foram utilizados oito planos de informação do tipo *raster* como critérios de análise: capacidade de absorção do rejeito sem risco de escoamento superficial, representada pela condutividade hidráulica e pelo índice de encrostamento do solo; capacidade de purificação e proteção do solo, representada pelo pH e pela concentração de matéria orgânica; vulnerabilidade hídrica do solo, altitude, declividade e distância das instalações industriais. Todos os critérios foram normalizados para valores entre 0 e 1, onde 1 indica o valor mais desejável, e ponderados, utilizando um procedimento metodológico predeterminado. Os resultados foram apresentados em mapas do tipo raster nos quais as áreas para aplicação dos rejeitos foram classificadas em 5 categorias, da mais adequada à menos adequada, para cada um dos métodos aplicados.

Hamadouche *et al.* (2014) desenvolveram uma solução conceitual e metodológica para selecionar áreas prioritárias para preservação da biodiversidade no Parque Nacional de Ahaggar, região sudeste da Argélia, através da aplicação de técnicas de análise de decisão multicritério integradas à SIG. Onze localidades no interior do parque foram identificadas por especialistas como aquelas mais degradadas e merecedoras da atenção da autoridade gestora. Utilizando-se 9 critérios de análise (presença de aglomerados humanos, distância da rodovia, tipo de solo, presença de fonte de água, presença de vegetação, presença de fauna, qualidade da vegetação, altitude e declividade), os autores aplicaram o método AHP para definição dos pesos a serem aplicados a cada critério, a partir da opinião de especialistas. Aplicando-se métodos de classificação/subordinação integrados ao Arc View GIS 3.2, as localidades foram identificadas como de alta e baixa

prioridade de preservação (ELECTRE III) e classificadas da maior até a menor prioridade de preservação (PROMETHEE).

Vieira *et al.* (2015) aplicaram a metodologia do projeto MEDALUS (KOSMAS *et al.*, 1999), integrada à metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (1996), para mapear as áreas susceptíveis à desertificação na região Nordeste do Brasil. Denominado de Sistema de Alerta Precoce para Secas e Desertificação, o sistema utiliza 11 indicadores organizados nas categorias meio físico (declividade, geologia, geomorfologia, pedologia), clima (índice de aridez), uso da terra (uso e cobertura da terra, carga animal, densidade de focos de incêndio, unidades de conservação) e social (densidade de população rural, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal). Todos os indicadores foram classificados em níveis de susceptibilidade baixa, moderada e alta e cada classe ou subclasse ponderada com valores variando de 1 (baixa) a 2 (alta). Índices de qualidade foram calculados para cada categoria, através da média geométrica dos valores de seus indicadores, e, por fim, um índice de sensibilidade ambiental foi calculado também através da média geométrica dos quatro índices de qualidade. O estudo apontou que 94% das terras do Nordeste brasileiro estão submetidas a moderados e altos níveis de susceptibilidade à desertificação.

De maneira análoga aos trabalhos aqui apresentados, o presente estudo desenvolveu um sistema de indicadores que também utiliza técnicas de análise de decisão multicritério integradas a um SIG para auxiliar na avaliação da severidade do processo de desertificação na área de estudo. Utilizando o método PROMETHEE, cada porção da área de estudo foi considerada uma alternativa e o resultado foi apresentado por uma imagem onde cada pixel recebeu o valor correspondente ao seu fluxo de importância líquido. Assim, a gravidade da desertificação foi expressa por uma variável contínua espacialmente distribuída por toda a área de estudo.

Como se pode constatar através dos estudos aqui referenciados, persiste a carência de propostas metodológicas capazes de promover uma análise integrada dos diversos descritores do processo de desertificação de modo a possibilitar a identificação da cadeia de causalidade e, conseqüentemente, auxiliar na definição das ações necessárias ao seu enfrentamento ou mitigação dos seus efeitos. As diversas propostas apresentaram procedimentos para avaliar apenas o risco à desertificação sem, no entanto, oferecerem uma ferramenta para identificar as causas do processo, seus impactos e as formas de organização da sociedade para enfrentar o problema. É neste cenário que o presente estudo espera contribuir para redução dessa lacuna nas metodologias de avaliação do processo de desertificação.



### 3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Localização

A área de estudo está definida pelas microrregiões geográficas do Seridó Oriental e Ocidental do Rio Grande do Norte e Seridó Oriental e Ocidental da Paraíba (IBGE, 1992), localizada entre as latitudes 6,09°S e 7,19°S e longitudes 37,49°O e 36,22°O (Figura 4). É composta por 32 municípios, sendo 17 no Rio Grande do Norte e 15 na Paraíba, totalizando uma área de 11.186 km<sup>2</sup>, onde vive uma população de 329.536 habitantes distribuída entre urbana (77,4%) e rural (22,6%) (Quadro 6). A área de estudo abriga um dos seis núcleos de desertificação, denominado de Núcleo de Desertificação do Seridó (Vasconcelos Sobrinho, 1971).

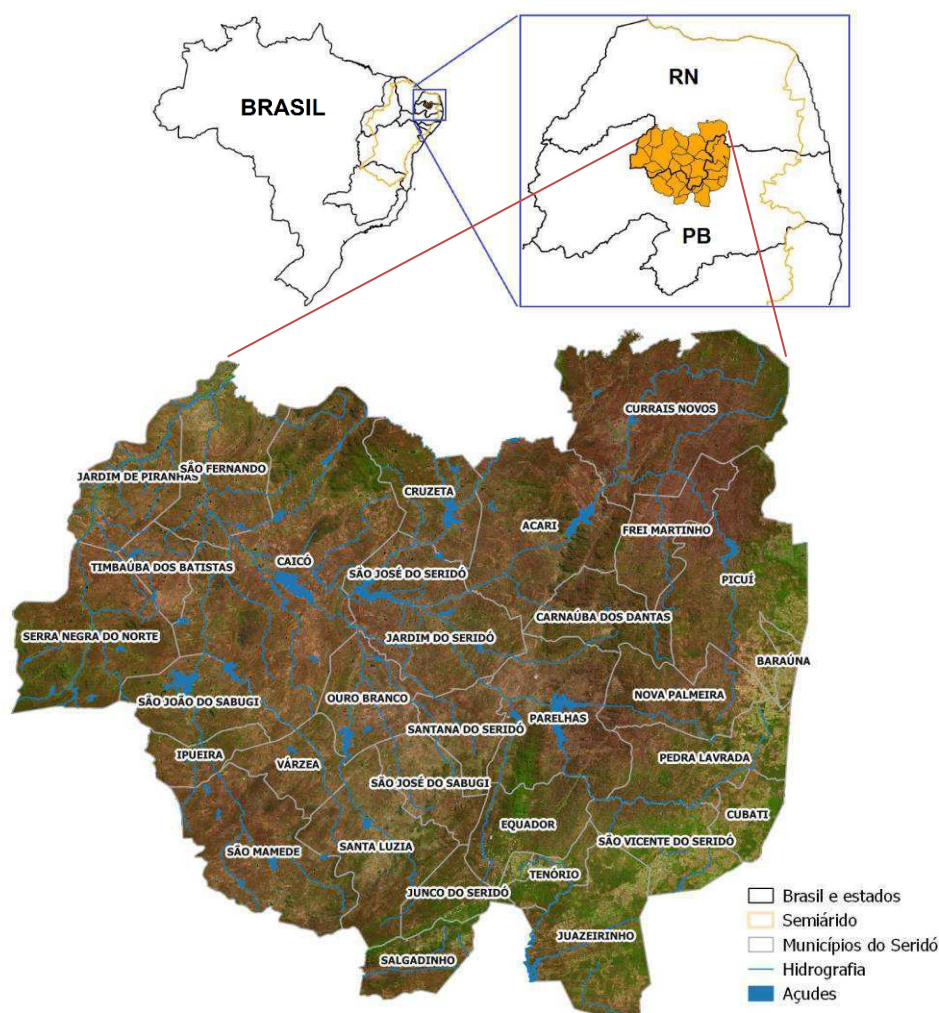


Figura 4: Localização da área de estudo e imagem Landsat 8/OLI de 25/07/15 em falsa cor R6G5B4.

Quadro 6. Municípios pertencentes à área de estudo.

UF	Meso	Micro	Município	Área (km <sup>2</sup> )	População	População Rural (%)	Dens. Pop Rural (hab/km <sup>2</sup> )		
PB	Borborema	Seridó Ocidental Paraibano	Junco do Seridó	170,4	6643	34,2	13,3		
			Salgadinho	184,2	3508	65,7	12,5		
			Santa Luzia	455,7	14719	8,4	2,7		
			São José do Sabugi	206,9	4010	35,7	6,9		
			São Mamede	530,7	7748	23,5	3,4		
			Várzea	190,4	2504	26,7	3,5		
		Seridó Oriental Paraibano	Baraúna	50,6	4220	24,5	20,4		
			Cubati	137	6866	30,5	15,3		
			Frei Martinho	244,3	2933	38,4	4,6		
			Juazeirinho	467,5	16776	45,6	16,4		
			Nova Palmeira	310,4	4361	41,5	5,8		
			Pedra Lavrada	351,7	7475	58,9	12,5		
			Picuí	661,7	18222	33,5	9,2		
			Seridó	276,5	10230	55,1	20,4		
		Tenório	105,3	2813	40,5	10,8			
		RN	Central Potiguar	Seridó Ocidental	Caicó	1228,6	62709	8,4	4,3
					Ipueira	127,3	2077	9,1	1,5
					Jardim de Piranhas	330,5	13506	21,5	8,8
São Fernando	404,4				3401	32,5	2,7		
São João do Sabugi	277				5922	19,7	4,2		
Serra Negra do Norte	562,4				7770	35,7	4,9		
Seridó Oriental	Timbaúba dos Batistas			135,5	2295	24,7	4,2		
	Acari			608,6	11035	19,3	3,5		
	Carnaúba dos Dantas			245,6	7429	18,9	5,7		
	Cruzeta			295,8	7967	18,1	4,9		
	Currais Novos			864,3	42652	11,4	5,6		
	Equador			265	5822	17,4	3,8		
	Jardim do Seridó			368,6	12113	18,8	6,2		
	Ouro Branco			253,3	4699	30,7	5,7		
	Parelhas			513,1	20354	16,1	6,4		
	Santana do Seridó			188,4	2526	34,6	4,6		
	São José do Seridó			174,5	4231	22,0	5,3		
	Total				11.186,2	329.536	22,6	6,6	

Fonte: IBGE (2010)

Importa ressaltar que as microrregiões geográficas são conjuntos de municípios contíguos e foram definidas como:

“(…)partes das mesorregiões que apresentam especificidades, quanto à organização do espaço. (...) Essas especificidades referem-se à estrutura de produção agropecuária, industrial, extrativismo ou pesca. Essas estruturas de produção diferenciadas podem resultar da presença de elementos do quadro natural ou de relações sociais e econômicas

particulares. (...) Assim, a estrutura da produção para identificação das microrregiões é considerada em sentido totalizante, constituindo-se pela produção propriamente dita, distribuição, troca e consumo, incluindo atividades urbanas e rurais.” (IBGE, 1992)

Assim, os municípios das quatro microrregiões geográficas denominadas Seridó (paraibano e potiguar) foram selecionados por guardarem similaridades em suas características físicas e sua dinâmica socioeconômica, condição desejável para a construção de um sistema regional de indicadores para o processo de desertificação, pois permitiu a comparação de dados entre os municípios.

### **3.2 Aspectos físicos**

A vegetação primária (natural) na área de estudo é dominada pela província das Caatingas (ANDRADE-LIMA, 1981; PRADO, 2003), caracterizada como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentando espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas. A principal unidade de vegetação presente na área de estudo é descrita como Caatinga arbustiva densa ou aberta, um tipo de vegetação disseminado nas áreas mais secas da província, inclusive no Seridó. Esta unidade abriga uma matriz arbustiva de *Caesalpinia spp.*, *Mimosa spp.*, *Jatropha spp.* e *Acacia spp.*, permeada por árvores esparsas de *Amburana Cearensis* (imburana-de-cheiro), *Spondias Tuberosa* (umbuzeiro) e *Aspidosperma Pyriformium* (pereiro).

A vegetação secundária (antropizada) é encontrada em extensas áreas que estão sob a influência das atividades agropecuárias ou foram abandonadas e agora passam por um processo de regeneração natural através de sucessão ecológica.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente, com chuvas de verão concentradas nos meses de fevereiro a maio, por atuação da Zona de Convergência Intertropical, e forte irregularidade anual e interanual. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA), a precipitação média de longo período (30 anos, pelo menos) na área de estudo é de 595 mm, variando de 339 mm, em Picuí (PB), a 847 mm, em Serra Negra do Norte (RN), com pico nos meses de março e abril.

As principais unidades de solo que ocorrem na área de estudo (Figura 5) foram classificadas pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1971, 1972) e atualizadas pelo IBGE (2007), conforme listadas a seguir. Outras unidades de solo, tais como Latossolos

Vermelho-Amarelos eutróficos e distróficos (LVe, LVd) e Cambissolos eutróficos (Ce) ocorrem discretamente na região.

- Neossolo Litólico (Re): solos pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos, não hidromórficos, que apresentam um horizonte A assente diretamente sobre a rocha, fracamente desenvolvido e com textura desde arenosa até média. Em relevo suave ondulado, devem ser aproveitados com a pecuária extensiva. Em relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso, devem ser utilizados para conservação da flora e fauna regionais.
- Luvisso Crômico (NC): solos com horizonte argílico (B textural), argila de atividade alta, textura média, situados em relevo suave ondulado. Podem ser aproveitados para pecuária, com plantio de pastagens artificiais resistentes à seca, e para cultivos de algumas culturas de subsistência no período de inverno.
- Planossolo Nátrico (SS): solos moderadamente profundos, com horizonte A fraco e moderadamente desenvolvido, imperfeitamente drenados, com permeabilidade lenta a muito lenta na parte subsuperficial. Quimicamente, são solos que se caracterizam pelo elevado percentual de sódio trocável nos horizontes subsuperficiais. Podem ser utilizados com pecuária extensiva e com o cultivo da palma forrageira.
- Neossolo Regolítico (REe): solos muito arenosos, pouco desenvolvidos, medianamente profundos ou profundos, com bastante materiais primários de fácil intemperização, localizados sobre relevo suave ondulado. Estes solos requerem intenso controle da erosão, bem como adubações que supram as deficiências de fósforo e nitrogênio. Apresentam graves limitações em função da forte carência de água em decorrência do longo período de estiagem e da irregularidade de chuvas.

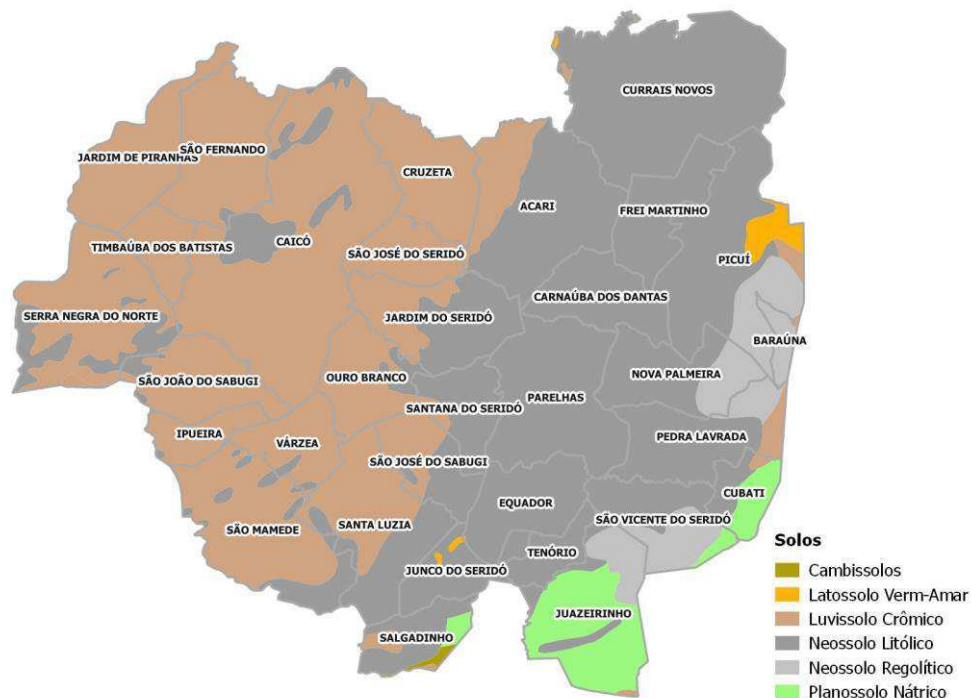


Figura 5: Unidades de solo do Seridó.  
 Fonte: Brasil (1971, 1972).

O relevo da região é marcado pela encosta oeste do Planalto da Borborema e pela Depressão Sertaneja, com altitudes variando de 87 m a 899 m (Figura 6). A maior parte da área apresenta características de relevo plano (declividade <3%) e suave ondulado (3% a 8%), excetuando as regiões da encosta ocidental do Planalto da Borborema e das serras das Queimadas, da Coruja, Bico de Arara, da Formiga, entre outras, onde o relevo ondulado (8% a 20%) e forte ondulado (20% a 45%) predominam. São raras as áreas do tipo montanhoso (45% a 75%) e escarpado (>75%) (VALERIANO, 2011; IBGE, 2007).

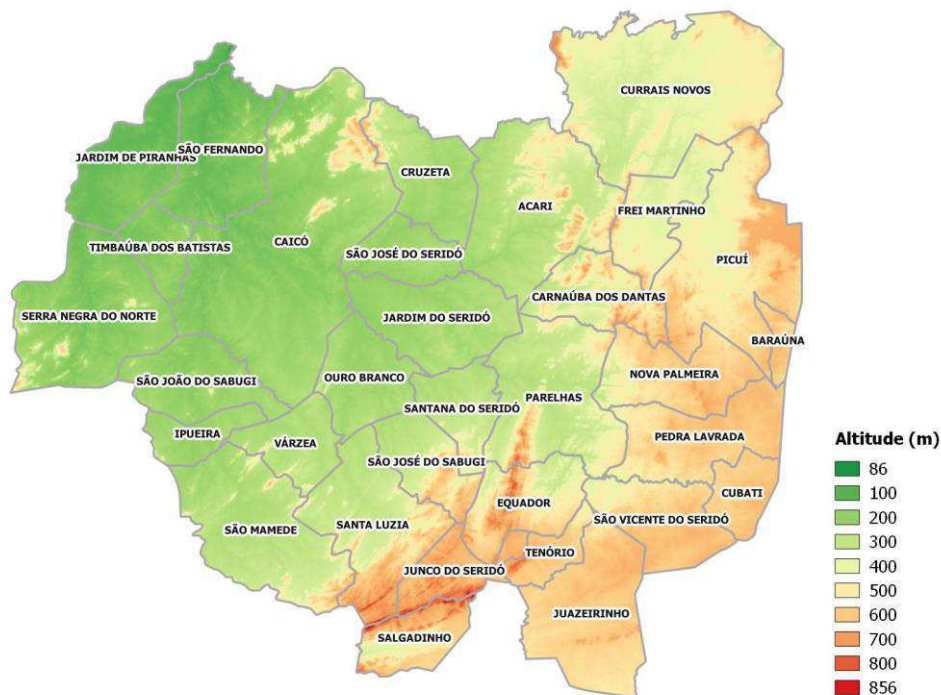


Figura 6: Hipsometria do Seridó.  
Fonte: SRTM e Valeriano (2011).

### 3.3 Aspectos sociais

A região do Seridó abriga uma população de 329 mil habitantes (IBGE, 2010), dos quais 74 mil (22,6%) residem na zona rural, a uma densidade média de 6,6 hab/km<sup>2</sup>. Caicó (8,4%), Santa Luzia (8,4%) e Ipueira (9,1%) apresentam o menor percentual de população rural, enquanto Seridó (55,1%), Pedra Lavrada (58,9%) e Salgadinho (65,7%) abrigam a maior proporção. Quanto à densidade de população rural por área, os municípios de Ipueira (1,5 hab/km<sup>2</sup>), Santa Luzia (2,7 hab/km<sup>2</sup>) e São Fernando (2,7 hab/km<sup>2</sup>) exibem as menores taxas, enquanto os municípios de Juazeirinho (16,4 hab/km<sup>2</sup>), Seridó (20,4 hab/km<sup>2</sup>) e Baraúna (20,4 hab/km<sup>2</sup>), as maiores, evidenciando grandes diferenças na ocupação da zona rural e diferentes níveis de pressão antrópica na região.

O IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal da região (PNUD, 2013) varia de 0,5550 a 0,7100, abaixo da média brasileira (0,727), com valores mínimos nos municípios São Vicente do Seridó, Baraúna e Salgadinho, e máximos nos municípios São José do Seridó, Várzea e Caicó. Com exceção de Várzea e Caicó, enquadrados no nível de IDHM alto, todos os demais situam-se nas categorias de IDHM médio e baixo, indicando baixa qualidade de vida da população local. Analisando separadamente os 3 componentes do IDHM, observa-se que a dimensão longevidade (IDHM-L) contribui positivamente para o índice, com valores variando de 0,7069 a 0,8239, enquanto as dimensões educação (IDHM-E) e renda (IDHM-R) colaboram negativamente para o índice, com valores variando

de 0,4350 a 0,7139 e de 0,5260 a 0,7029, respectivamente. Abstraindo os ganhos obtidos na esperança de vida ao nascer, componente de cálculo do IDHM-L, a qualidade de vida medida pelas demais dimensões indica baixos níveis de escolaridade e de renda, situação que pressiona desfavoravelmente o meio ambiente e os recursos naturais, especialmente na zona rural.

### **3.4 Aspectos econômicos**

Após o declínio da cotonicultura e da mineração, as atividades econômicas na região de estudo concentraram-se na pecuária leiteira e seus derivados e no setor industrial das cerâmicas, olarias, caieiras, carvoarias, panificadoras, casas de farinha, docerias e biscoitos caseiros. Paradoxalmente, estas atividades, que melhor se adaptaram às condições sociais e econômicas da região, são aquelas que promovem o uso insustentável dos recursos naturais, especialmente o solo e a vegetação. O setor de transformação é o responsável pela exploração desordenada da lenha, utilizada como fonte de energia em seus processos produtivos (ADESE, 2008).

A renda per capita na região (em reais de agosto de 2010) registra valores mínimos nos municípios paraibanos de Baraúna (R\$211), São Vicente do Seridó (R\$214) e Salgadinho (R\$217), e máximos nos municípios potiguares de Jardim do Seridó (R\$448), Currais Novos (R\$527) e Caicó (R\$637). A participação dos rendimentos do trabalho na composição da renda também apresenta grandes variações, com valores máximos em Caicó (73%), São José do Seridó (72%) e Jardim de Piranhas (71%), e mínimos em São Vicente do Seridó (52%), São João do Sabugi (50%) e Baraúna (45%), evidenciando a forte dependência da população desses últimos municípios aos repasses governamentais (IBGE, 2010).

### **3.5 Aspectos institucionais**

Ambos estados que abrigam a região de estudo dispõem de secretarias de meio ambiente, órgãos estaduais de meio ambiente (SUDEMA e IDEMA) e de gestão de recursos hídricos (AESAs e IGARN). Além da estrutura administrativa, os estados também dispõem de planos estaduais de combate à desertificação e mitigação dos efeitos das secas, embora ainda não convertidos em legislação específica. Por força do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), a grande maioria dos municípios brasileiros instituiu seus conselhos municipais de desenvolvimento rural sustentável, instância responsável pela aprovação dos planos municipais de desenvolvimento rural

sustentável. Recentemente, o estado do Rio Grande do Norte publicou seu Projeto de Desenvolvimento Sustentável com ações voltadas para a promoção de boas práticas socioambientais nas áreas de microbacias mais susceptíveis à degradação ambiental, entre outras. O Território do Seridó, definido como as microrregiões geográficas do Seridó Oriental, Seridó Ocidental e Serra de Santana, conta ainda com a Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó (ADESE), uma associação sem fins lucrativos cuja finalidade é, entre outras, articular, elaborar, executar e coordenar planos, programas e projetos de desenvolvimento sustentável do Território do Seridó.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa formam um conjunto de softwares de livre acesso para análise de decisão multicritério e geoprocessamento, dados censitários de municípios obtidos dos órgãos oficiais e dados de sensoriamento remoto relativos à área de estudo.

Os softwares utilizados são listados a seguir:

- Geoprocessamento e seus respectivos complementos para análise de decisão multicritério espacial:
  - QGIS 2.12.2, disponível em [http://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](http://www.qgis.org/pt_BR/site/), acesso em 10/10/2015;
  - GRASS 7.0.2 e o complemento *r.mcda.promethee*, disponível em <https://grass.osgeo.org/>, acesso em 10/10/2015;
  - SPRING 5.3, disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/>, acesso em 10/10/2015;

Os dados processados e convertidos nos indicadores foram obtidos das seguintes fontes, entre outras:

- Imagens de satélite:
  - Landsat (5/TM, 18/06/1990 e 8/OLI, 25/07/2015), *United States Geological Survey* (USGS), disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>;
  - Rapideye, disponível em <http://geocatalogo.ibama.gov.br/>;
  - GoogleEarth, disponível através do aplicativo gratuito GoogleEarth Pro;
- Modelo digital do terreno da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (FARR; KOBRICK, 2000) e mapas derivados de elevação, em metros, e declividade, em percentual (VALERIANO, 2011), disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata> (latitude/longitude, sem projeção, coordenadas em graus decimais, datum WGS84);
- Mapas de solos dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte em formato shapefile, disponibilizados pela Embrapa Solos, UEP Recife;
- Censos demográficos e agropecuários, disponíveis no SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática, em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp>;
- Índice de Aridez, disponibilizado por Costa e Brito (2004);

- Índice padronizado de precipitação para a área de estudo para os últimos 4 anos (seca) e para os períodos de coleta das imagens de satélite, para auxiliar as análises da cobertura vegetal, disponível em <http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>;
- Banco de dados de queimadas disponível no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, em <http://www.inpe.br/queimadas>, acesso em 16 de março de 2016.
- Informações sobre os arranjos institucionais e legais relativos à gestão de programas de desenvolvimento rural sustentável nos estados e municípios, disponíveis nos portais das secretarias de meio ambiente e órgãos ambientais.

Os seguintes mapas e dados foram utilizados na pesquisa apenas como material de referência:

- Cartas topográficas digitais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), escala 1:100.000;
- Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (BRASIL, 2007a);
- Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros (BRASIL, 2007b);
- Estudo sobre a espacialização dos processos de desertificação no Bioma Caatinga (SÁ e ANGELOTTI, 2009);
- Rede de drenagem, Agência Nacional de Águas (ANA), disponível em [http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=182&fname=GEOFT\\_BHO\\_ANO\\_TDR.zip&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=182&fname=GEOFT_BHO_ANO_TDR.zip&access=private);
- Espelhos d'água, ANA, disponível em [http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=45&fname=geoft\\_bho\\_massa\\_dagua.zip&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=45&fname=geoft_bho_massa_dagua.zip&access=private);

## 4.2 Métodos

De forma resumida, o estudo foi conduzido mediante a execução das seguintes atividades. A pesquisa bibliográfica relativa ao tema desertificação foi realizada com foco nos indicadores recomendados pelos diversos estudos realizados no país e pelos projetos internacionais dos quais o Brasil tomou parte.

Levantados os indicadores, passou-se a revisar a literatura sobre aplicação de métodos de análise de decisão multicritério e de análise de decisão multicritério espacial para auxílio na tomada de decisão em questões de desertificação, planejamento do uso do solo, avaliação de sustentabilidade, gestão de florestas, entre outras, situações que

envolvem a análise simultânea de um grande conjunto de informações sociais, econômicas, ambientais e de gestão.

O passo seguinte foi selecionar a área de estudo: um recorte geográfico do semiárido brasileiro localizado entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, nas microrregiões geográficas denominadas de Seridó (oriental e ocidental de cada estado), onde se encontra o Núcleo de Desertificação do Seridó.

Os indicadores foram selecionados e submetidos à apreciação de especialistas para atribuição de pesos. O cálculo dos indicadores foi efetuado a partir dos dados coletados gratuitamente nas bases de dados públicas e repositórios de imagens de satélite. Foram analisados e processados os dados mais recentes e de momentos passados, tanto ambientais (cobertura vegetal, relevo, solo, clima, entre outros) como censitários (demográfico e agropecuário), de todos os municípios que compõem a área de estudo.

Calculados os indicadores, foram utilizadas técnicas de análise de decisão multicritério integradas a SIG para identificar as áreas submetidas aos diversos estágios de desertificação, obtendo-se, ao final, mapas dos índices multicriteriais parciais de desertificação para cada categoria do modelo conceitual DPSIR e do índice multicriterial geral de desertificação, todos espacialmente representativos da área de estudo. O fluxograma apresentado na Figura 7 resume as etapas metodológicas de construção do modelo proposto.

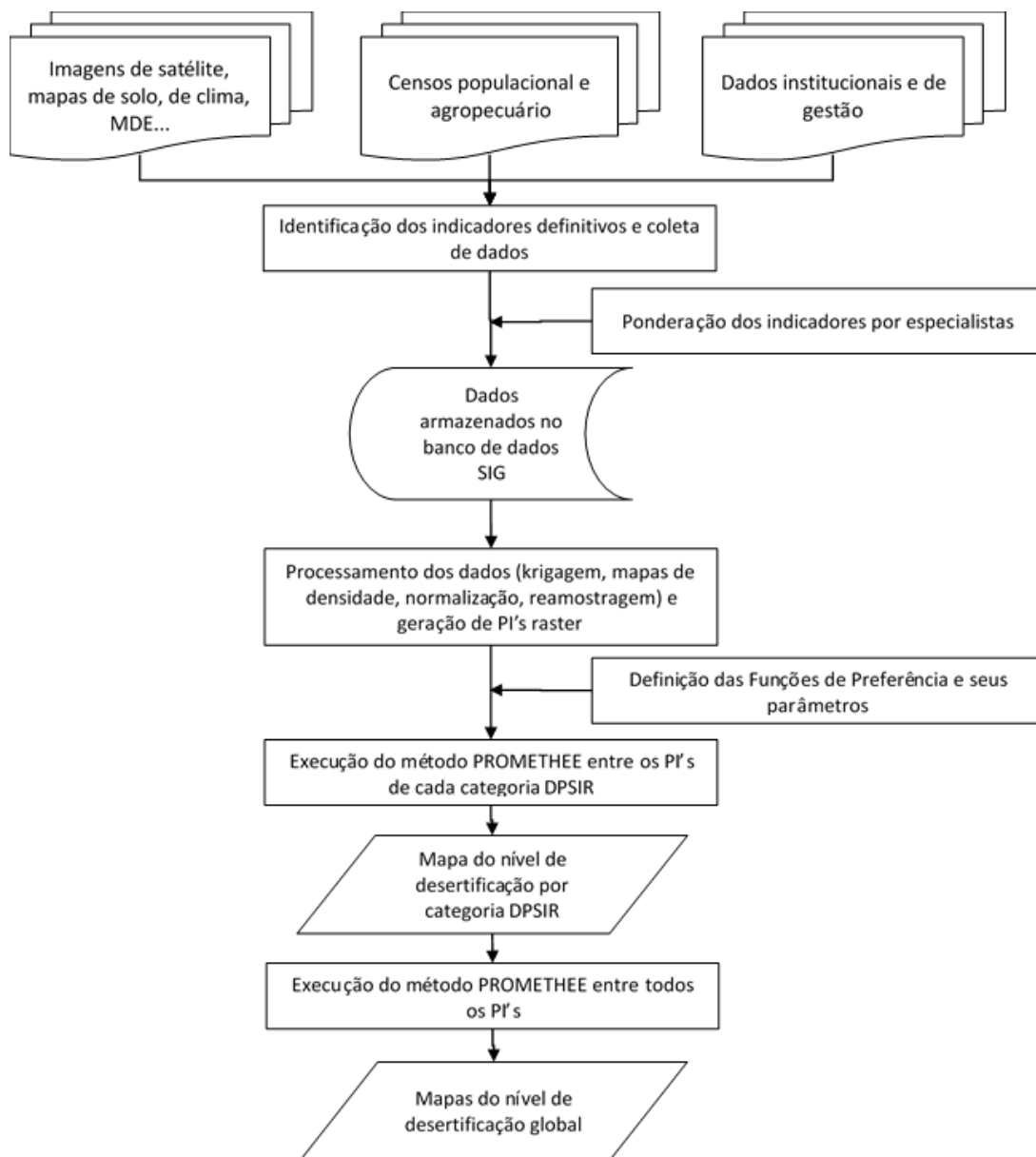


Figura 7: Fluxograma das etapas metodológicas.  
Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.2.1 Seleção e cálculo dos indicadores

Os indicadores foram selecionados a partir da revisão bibliográfica, levando-se em conta sua recomendação por pesquisadores nacionais e por projetos internacionais dos quais o Brasil tenha participado. Para seleção do conjunto definitivo, os indicadores recomendados foram avaliados quanto ao cumprimento dos requisitos necessários à sua utilização como descritores do problema: mensurabilidade, existência de dados acessíveis, relevância, facilidade de interpretação, credibilidade, aceitabilidade, entre outros. Foram levados em consideração, também, os conceitos de abrangência temporal, espacial e profundidade de análise em função da escala geográfica do estudo, limitada à

representatividade das imagens de satélite Landsat e grade de declividade (1:60.000) e do mapa de solos (1:500.000).

Os indicadores foram agrupados nas categorias ambiental, uso da terra, socioeconomia e institucional/gestão e enquadrados no modelo conceitual DPSIR, recomendado pela UNCCD.

Para cálculo dos **indicadores discretos** relativos ao município, as variáveis foram relacionadas à sua área ou população ou ainda calculadas de forma percentual do valor global (ex: produtividade agrícola, densidade populacional, taxa de analfabetismo, entre outras) para permitir a comparação entre municípios. Estes indicadores foram incorporados à tabela de atributos do arquivo vetorial municípios.shp e então utilizados para geração de PI's *raster* nos quais toda a área do município foi representada pelo valor discreto do indicador.

Vários indicadores discretos sugeridos na literatura para caracterizar a existência de instituições e programas de desenvolvimento voltados especificamente ao estudo ou gestão da água, do solo, da fauna, da flora e de áreas degradadas mostraram-se inexistentes na escala municipal de observação do fenômeno da desertificação. Tais indicadores foram então generalizados para expressarem a organização institucional existente que apresenta, em sua caracterização, a preocupação com a gestão do meio ambiente. Cabe ressaltar que, além dos planos estaduais de combate à desertificação e mitigação de seus efeitos, não foram identificadas iniciativas específicas relacionadas à desertificação pois o tema é transversal às inúmeras ações de desenvolvimento com sustentabilidade ambiental levadas a cabo pelas diversas instâncias do poder público e pela sociedade organizada.

Para cálculo dos **indicadores continuamente distribuídos**, as variáveis foram explicitadas na forma de valor do ponto de grade para modelos numéricos, valor do pixel para imagens de sensoriamento remoto por satélite, ou valor do atributo para arquivos vetoriais do tipo temático.

Para uso do complemento *r.mcda.promethee* do software GRASS 7.0.2, todos os indicadores foram calculados e convertidos em planos de informação normalizados do tipo *raster*, sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24S (EPSG 31984) e ajustados para a relação direta (maximização) ou inversa (minimização) com o fenômeno da desertificação. Por estarmos tratando de um método de análise de decisão multicritério do tipo classificação ou subordinação, no qual as preferências do decisor são construídas a partir da comparação par a par das alternativas, no presente estudo representadas pelos pixels dos arquivos *raster* de cada um dos 27 indicadores, a resolução espacial de 300m

foi escolhida para reduzir o esforço computacional além de compatibilizar todas as variáveis à menor escala de observação, ou seja, 1:500.000 dos mapas de solo. Tal preocupação foi apresentada por Marinoni (2006), ao afirmar que a quantidade de elementos matriciais do modelo Promethee é igual a  $(n+1)(m+m^2)$ , para n critérios e m alternativas. Para a resolução de 300m, os 27 indicadores foram representados por matrizes de 402 linhas por 464 colunas, ou seja, 186.528 píxels (alternativas), o que levou o cálculo a um valor já bastante expressivo de  $974 \times 10^9$  elementos matriciais.

As operações de normalização, reamostragem e conversão de sistemas de coordenadas foram executadas utilizando as funcionalidades do software QGIS 2.12.2.

A normalização para o intervalo (0-1) dos planos de informação originalmente do tipo raster (índice de aridez, índice de seca, cobertura vegetal, declividade, entre outros) foi efetuada através da calculadora raster utilizando seus valores mínimos e máximos ou aqueles apresentados como extremos da contagem cumulativa de 0,01% a 99,9%. Para os planos de informação relacionados aos atributos dos arquivos vetoriais dos municípios (dados censitários e de pesquisa institucional), mapeamento dos solos e unidades de conservação, a normalização foi efetuada em planilha Excel a partir dos valores mínimos e máximos das séries de dados. Os novos valores, agora normalizados, foram incluídos na tabela de atributos dos arquivos vetoriais.

Por fim, para adequação dos planos de informação levando-se em conta as relações com a desertificação (direta, ou de maximização, e inversa, ou de minimização), exigidas pela análise de decisão multicritério utilizando o complemento r.mcda.promethee, a normalização foi ajustada através das seguintes equações:

$$indicador_{nmax} = \frac{indicador - valor_{min}}{valor_{max} - valor_{min}}, \text{ ou}$$

Equação 1

$$indicador_{nmin} = 1 - \frac{indicador - valor_{min}}{valor_{max} - valor_{min}}$$

Equação 2

Onde:

$indicador_{nmax}$  é o valor normalizado para o indicador a ser maximizado;

$indicador_{nmin}$  é o valor normalizado para o indicador a ser minimizado;

$valor_{min}$  é o valor mínimo do indicador, e

$valor_{max}$  é o valor máximo do indicador.

Pela simplicidade intrínseca à sua natureza, as diversas maneiras utilizadas para calcular os indicadores discretos foram indicadas apenas nos quadros resumo apresentados no Apêndice 1. Por outro lado, por ter sido necessária a utilização de várias

técnicas de geoprocessamento, a metodologia utilizada para obtenção dos indicadores continuamente distribuídos é apresentada em destaque, a seguir.

#### 4.2.1.1 Cálculo dos indicadores continuamente distribuídos

##### Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal, e sua mudança ao longo do tempo, foi representada pelo Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*), desenvolvido por Huete (1988), em função de sua melhor resposta espectral em relação ao NDVI, concebido por Rouse *et al.* (1973). O SAVI compensa a influência do solo em dosséis de densidades diferentes, através da inclusão de uma constante, conforme equação abaixo:

$$SAVI = [(pnir - pr) / (pnir + pr + L)] \times (1 + L)$$

Equação 3

onde: pnir – reflectância da superfície no infravermelho próximo;

pr – reflectância da superfície no vermelho

L - constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

A Caatinga é considerada uma vegetação com dossel de baixa densidade, logo, segundo o autor, o fator L deve ser estabelecido em 1 (unidade).

As imagens de satélite para cálculo do SAVI foram selecionadas na janela de tempo correspondente ao final do período chuvoso da região de estudo, momento indicado para reduzir a influência do estrato herbáceo e das pastagens no cálculo do índice de vegetação. As imagens foram então corrigidas radiometricamente e convertidas para reflectância da superfície através do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) do QGIS, mosaicadas e recortadas para a área de estudo.

A situação atual da vegetação foi mapeada a partir das imagens Landsat 8/OLI, órbita 215, pontos 64 e 65, de 25 de julho de 2015, utilizadas para calcular o **SAVI2015** através da Equação 3, implementada na calculadora raster do QGIS por meio da seguinte expressão:

```
((("L8_serido_25jul15_B5@1" - "L8_serido_25jul15_B4@1") / ("L8_serido_25jul15_B5@1" + "L8_serido_25jul15_B4@1" + 1) * (1 + 1))
```

Para a situação existente em 1990, foram empregadas as imagens Landsat 5/TM, de 18 de junho de 1990, mesma órbita e ponto, no cálculo do **SAVI1990** através da Equação 3, implementada na calculadora raster do QGIS por meio da seguinte expressão:

$$\frac{("L5\_serido\_18jun90\_B4@1" - "L5\_serido\_18jun90\_B3@1")}{("L5\_serido\_18jun90\_B4@1" + "L5\_serido\_18jun90\_B3@1" + 1) * (1 + 1)}$$

A normalização e transformação do índice de vegetação em percentual de Cobertura Vegetal (CV) foi efetuada com a utilização da seguinte equação:

$$CV = (SAVI - SAVI_{solo}) / (SAVI_{veg} - SAVI_{solo})$$

Equação 4

Onde: SAVI – valor do pixel

SAVI<sub>solo</sub> - valor de um pixel de solo exposto (aproximadamente zero)

SAVI<sub>veg</sub> - valor do pixel correspondente à vegetação densa.

Para cálculo do **CV2015**, a Equação 4 foi ajustada através da seguinte expressão na calculadora raster, para transformar todos os pixels negativos em “zero”, normalizar os pixels positivos para o intervalo (0-1), a partir do valor do SAVI<sub>solo</sub> igual a zero e SAVI<sub>veg</sub> igual a 0.47712 (valor máximo de SAVI2015 com corte de contagem cumulativa de 99,9%), e limitar os valores maiores que 0.47712 ao valor unitário (valores fisicamente irrelevantes).

$$("SAVI2015@1" <= 0) * 0 + ("SAVI2015@1" > 0 \text{ AND } "SAVI2015@1" <= 0.47712) * "SAVI2015@1" / 0.47712 + ("SAVI2015@1" > 0.47712) * 1$$

O percentual de cobertura vegetal **CV1990** foi calculado a partir da adaptação da Equação 4 e implementado pela seguinte expressão na calculadora raster, quando todos os pixels negativos foram transformados em “zero”, os pixels positivos normalizados para o intervalo (0-1), a partir do valor do SAVI<sub>solo</sub> igual a zero e SAVI<sub>veg</sub> igual a 0.357392 (valor máximo de 1990 com corte de contagem cumulativa de 99,9%), e os valores maiores que 0.357392 limitados ao valor unitário (valores fisicamente irrelevantes).

$$("SAVI1990@1" <= 0) * 0 + ("SAVI1990@1" > 0 \text{ AND } "SAVI1990@1" <= 0.357392) * "SAVI1990@1" / 0.357392 + ("SAVI1990@1" > 0.357392) * 1$$

### Mudança da Cobertura Vegetal

A mudança de cobertura vegetal, por sua vez, foi estimada através da diferença, em pontos percentuais, entre os valores obtidos para CV2015 e CV1990, representada por **CV15-90**. Seu cálculo foi efetuada na calculadora raster do QGIS a partir de uma simples



expressão de subtração entre os planos de informação. Se a diferença é positiva num determinado pixel, houve aumento da cobertura vegetal, caso contrário, ocorreu desmatamento.

### Influência da população urbana

A influência da população urbana no consumo dos recursos naturais de seu entorno foi representada pelo mapa de estimação de densidade por Kernel (PARZEN, 1962), disponível no QGIS através do complemento Mapa de Calor. Trata-se de uma função da geoestatística que estima a densidade de um fenômeno a partir das coordenadas do ponto de observação (centroide da área urbana), iniciando pelo valor medido (população urbana), até o valor zero na borda do círculo de influência, neste caso definido em 20 km, uma distância estimada do deslocamento máximo para aquisição de bens e serviços do meio rural. Outras influências da população urbana, como a aquisição de materiais de construção, notadamente tijolos, telhas, gesso e cal, não foram estimados por este indicador visto que o impacto ambiental ocorre no entorno das regiões produtoras e não em volta dos aglomerados urbanos. A resolução foi fixada em 300m e a forma do Kernel quártica (bi-ponderada) escolhida para a interpolação. O resultado do mapa de influência da população urbana foi expresso em hab/km<sup>2</sup>.

### Recorrência de incêndio

Os dados para cálculo do indicador de recorrência de incêndio foram obtidos junto ao Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que disponibiliza arquivos vetoriais do tipo ponto contendo o registro de focos de incêndio detectados pelos satélites NOAA, GOES, TERRA, AQUA, METEOSAT, entre outros, para um determinado intervalo de tempo, selecionado em 10 anos para fins do presente estudo. A densidade de focos de incêndio foi representada pelo mapa de estimação de densidade por Kernel a partir das coordenadas do ponto de observação, iniciando pelo valor medido (unitário, no presente caso), até o valor zero na borda do círculo de influência. Como os focos de incêndio são representados por pixels de 1km x 1km (satélites de órbita polar) ou 4km x 4km (satélites geoestacionários), o raio de influência de cada ponto foi definido em 2km, tamanho aproximado do maior pixel.

### Índice de Aridez

Como indicador da propensão à desertificação por fatores climáticos, o índice de aridez para a área de estudo foi obtido do trabalho realizado por Costa e Brito (2004) que

o calcularam a partir da estimativa da precipitação média e da evapotranspiração potencial média para as cidades e distritos da região semiárida brasileira.

De posse do arquivo texto, com as coordenadas geográficas das cidades e distritos da região de estudo e seu entorno e os respectivos valores do Índice de Aridez, foi realizada a interpolação em grade de 300m utilizando a função Krigagem (KRIGE, 1951) do software SPRING. Trata-se de uma função da geoestatística que utiliza um modelo de semivariograma para interpretação da estrutura de correlação espacial existente entre os pontos amostrais (CAMARGO *et al.*, 2004).

O arquivo texto foi inicialmente convertido para o formato ASCII-SPRING e utilizado para criação de um plano de informação (PI) tipo numérico. A partir do PI numérico, o semivariograma foi gerado, ajustado para o modelo esférico e utilizado nos procedimentos da krigagem tipo ordinária. O resultado foi exportado para o software QGIS, onde foi recortado utilizando como máscara o arquivo vetorial dos municípios do Seridó e convertido para o sistema de coordenadas do projeto.

### Índice de Seca

A intensidade da seca, fenômeno natural que potencializa o processo de desertificação, foi medida pelo Índice Padronizado de Precipitação (SPI - *Standard Precipitation Index*), que expressa a quantidade de desvios padrão que afastam a precipitação acumulada num determinado período de sua média histórica (MCKEE *et al.*, 1993). Para avaliar a intensidade da atual seca que afeta a área de estudo desde 2011, foi utilizado como indicador o SPI48-Dez15, que expressa o desvio da precipitação acumulada nos 48 meses anteriores a dezembro de 2015.

O arquivo do tipo geotiff, disponibilizado pelo CPTEC/INPE com resolução de 0.5°, foi reamostrado no QGIS utilizando a opção Raster>Projeções>Transformar (Reprojetar), com método de reamostragem cúbico e resolução de 300m, recortado para a área de estudo e convertido para o sistema de coordenadas do projeto.

### Risco de erosão hídrica do solo

O risco de erosão hídrica do solo é função da erosividade da chuva e da erodibilidade do solo. A capacidade de erosão da chuva depende de sua intensidade, um dado de difícil acesso para toda a área de estudo. Em seu lugar, foi utilizado o percentual de cobertura vegetal como fator atenuante do impacto das chuvas sobre o solo. Para representar a erodibilidade do solo, foram utilizados o potencial de erosão das classes de textura,

identificadas no levantamento exploratório de solos, e a declividade do terreno, obtida dos dados SRTM, através do projeto Topodata.

Estes indicadores foram combinados conforme as conclusões de Lima *et al.* (2002), Zhang *et al.* (2010) e Sá *et al.* (2013). O primeiro estudo avaliou as limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão dependente da textura da classe de solo e da declividade do terreno. Os autores indicaram, como primeira assertiva, que “não há deslocamento e transporte de partículas de solo nas áreas em que o relevo é plano (< 3%), quaisquer que sejam as classes de solo”. Para os solos situados em relevo não plano, as classes de textura arenosa, média e siltosa foram enquadradas nos graus de susceptibilidade à erosão moderado, forte e muito forte. Nos demais estudos, conforme já apresentado na revisão bibliográfica, os autores combinaram cobertura vegetal e declividade, e cobertura vegetal e tipo de solo, respectivamente.

O percentual de cobertura vegetal foi representado pelo indicador CV2015, apresentado anteriormente. Sua formulação já o define como um indicador normalizado para o intervalo (0-1), ajustado, portanto, para o cálculo do Risco de Erosão Hídrica proposto nesta metodologia.

A declividade foi obtida no portal do projeto Topodata (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), já disponível em percentual, recortada para a área de estudo e convertida para o sistema de coordenadas do projeto. Para sua utilização no cálculo do Risco de Erosão Hídrica, seus valores foram normalizados para o intervalo (0-1).

Por fim, o risco de erosão representado pela textura do solo foi obtido dos estudos conduzidos por Lima *et al.* (2002) e Sá *et al.* (2013), ambos baseados nos levantamentos exploratórios de solos existentes. Os autores agruparam os tipos de solo presentes na área de estudo nas seguintes classes de risco: fraco (Latosolo Vermelho Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico), moderado (Cambissolo eutrófico e Neossolo Regolítico eutrófico), forte (Neossolo Litólico eutrófico) e muito forte (Luvissole Crômico e Planossolo Nátrico). Para fins de cálculo do Risco de Erosão Hídrica, tais classes foram transformadas em escala numérica no intervalo de 0.25 (fraco) a 1.00 (muito forte), passando por moderada (0.5) e forte (0.75)

O risco de erosão hídrica do solo - **REHSOL** foi então calculado pela média geométrica dos três fatores apresentados anteriormente, representada pela seguinte equação:

$$REHSOL = \sqrt[3]{(1 - CV2015) * decliv_n * RESOL}$$

onde: CV2015 –cobertura vegetal para o ano de 2015, expressa no intervalo (0-1);  
 decliv\_n – declividade do terreno normalizada para o intervalo (0-1);  
 RESOL – risco de erosão da classe de textura do solo (0.25, 0.5, 0.75 e 1.0).

Observa-se que a cobertura vegetal foi expressa pelo seu complemento (1 – CV2015), pois sua relação com a desertificação é inversa. Para áreas onde a cobertura vegetal é total (100% ou 1), o risco de erosão hídrica é zero, ou seja, não há erosão hídrica em solos totalmente protegidos pela vegetação, independentemente de sua declividade ou textura. De forma análoga, a declividade leva o risco também a zero, ou próximo desse valor, nos casos de terreno plano, não importando a cobertura vegetal ou tipo de solo. Por fim, o fator relacionado à textura do solo tem como função “qualificar” o risco de erosão hídrica através de seus diversos valores de susceptibilidade.

#### 4.2.2 Enquadramento no modelo conceitual DPSIR e Árvore Hierárquica

Para deixar claras as inter-relações de causa e efeito do processo de desertificação e assim orientar governo e sociedade na formulação de políticas públicas e tomada de decisão, o conjunto de indicadores foi enquadrado no modelo conceitual DPSIR, levando em consideração as indicações da literatura (ABRAHAM, MONTAÑA e TORRES, 2006) e as seguintes premissas:

- Forças Motrizes: representam as causas estruturais ou indiretas da desertificação (desigualdade na distribuição do bem-estar, concentração de terra, sobrevalorização da cultura do consumo com a consequente superexploração dos recursos naturais, pobreza).
- Pressões: respondem às causas diretas da desertificação (retirada da vegetação, sobrecultivo, sobrepastoreio, irrigação malconduzida e manejo inadequado dos recursos florestais e minerais).
- Estado: indica as condições atuais do ambiente (biofísico, social e econômico), e aponta para o grau de susceptibilidade à desertificação.
- Impactos: respondem às consequências da desertificação (redução da biodiversidade, redução da produtividade agrícola, redução da renda da atividade rural, deterioração das condições sociais, migração).
- Respostas: indicam as respostas da sociedade para o problema da desertificação (instituições públicas e privadas dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável, legislação, políticas, planos e programas, tecnologias, áreas de conservação).

As **forças motrizes** da desertificação foram representadas pelos seguintes agrupamentos de indicadores:

- Concentração de terra: área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal e área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade.
- Sobrevalorização da cultura do consumo com a consequente superexploração dos recursos naturais: influência da população urbana no uso dos recursos naturais do entorno da cidade.
- Desigualdade social: taxa de analfabetismo e população abaixo da linha de pobreza, ambas na zona rural.

Em relação às **pressões** que o meio ambiente sofre pelas diversas práticas de uso e ocupação do solo, não foi possível caracterizar o sobrecultivo em razão da carência de dados. A salinização de terras por práticas inadequadas de irrigação também não foi utilizada como indicador de pressão em virtude da inexpressiva área ocupada por tal atividade, além da carência de dados. Não foi possível estimar o consumo de lenha nas indústrias cerâmicas, panificadoras e pizzarias, entre outras, por inexistência ou dificuldade de acesso aos dados detalhados dos cadastros industriais. Deste modo, optou-se pela utilização dos seguintes grupos de indicadores:

- Desmatamento: avanço da fronteira agropecuária e mudança na cobertura vegetal.
- Manejo inadequado da terra: carga animal excessiva e recorrência de incêndio.

A situação ambiental, econômica e social, que define o **estado** de susceptibilidade à desertificação de uma determinada área, foi representada pelos seguintes conjuntos de indicadores:

- Condição ambiental: índice de aridez, índice padronizado de precipitação, cobertura vegetal, grau de fertilidade do solo, risco de erosão hídrica do solo.
- Condição econômica: renda per capita rural e produtividade das principais culturas temporárias, representadas pelo feijão e milho.
- Condição social: densidade de população rural e área dos estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres.

Os **impactos** do processo de desertificação foram caracterizados pela taxa de migração do campo para a cidade, no período 2000 a 2010 (últimos censos), e pela variação de longo prazo da participação do valor adicionado bruto da agropecuária no PIB municipal, obtida pela linha de tendência da série de dados de 1999 a 2012. Não foi possível avaliar

a redução da biodiversidade em virtude da ausência de dados municipais ou georreferenciados. Da mesma forma, a redução da produtividade agrícola não pôde ser verificada em razão da forte influência das chuvas nos resultados agrícolas observados nos anos de censo agropecuário (a cada 10 anos), mascarando qualquer tendência de queda relacionada à degradação da terra.

Por fim, quanto às **respostas** desenvolvidas pela sociedade para combate e mitigação do processo de desertificação, não foram identificadas leis, políticas, planos e programas em nível municipal que apontassem, em suas formulações, qualquer preocupação com a conservação do meio ambiente. Assim sendo, as respostas foram então representadas pelos seguintes agrupamentos de indicadores:

- Organização do poder público: organismos governamentais da esfera municipal e instituições de ensino e pesquisa dedicadas, total ou parcialmente, ao desenvolvimento rural sustentável; programas estaduais de desenvolvimento rural sustentável financiados com recursos públicos; variação da participação das transferências de renda governamentais na renda total; e áreas protegidas por unidades de conservação.
- Organização da sociedade civil: organizações sociais dedicadas, total ou parcialmente, ao desenvolvimento rural sustentável; e domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água.

Em resumo e com o objetivo de representar as relações entre os indicadores e as categorias de análise do modelo DPSIR, uma árvore hierárquica foi estruturada (Figura 8). Esta organização foi também utilizada para atribuição do nível de importância (peso) de cada indicador para fins de estruturação do modelo de análise de decisão multicritério utilizando o método PROMETHEE.

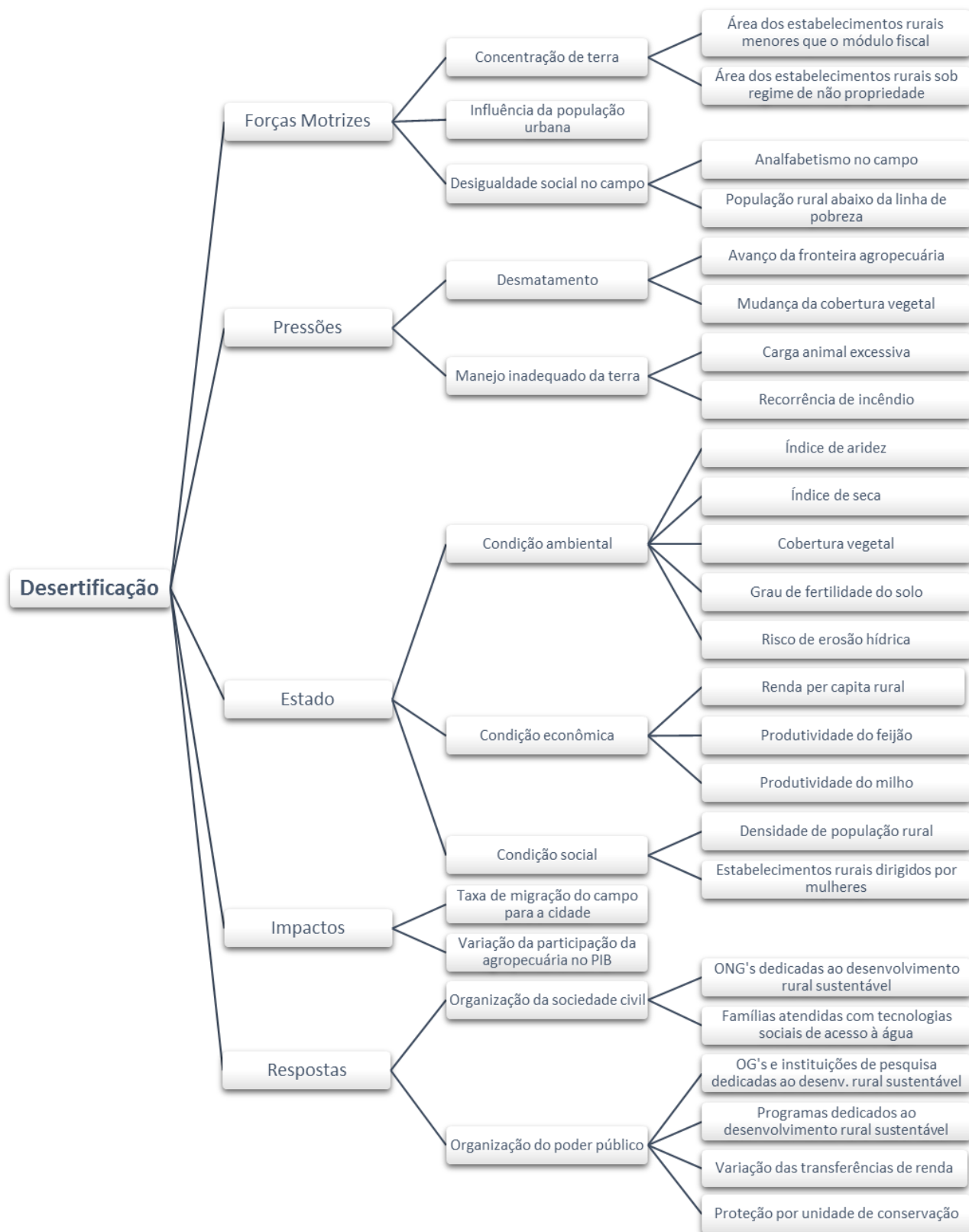


Figura 8: Organização dos indicadores em árvore hierárquica.  
 Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Abraham (2006) e Sampaio et. al. (2003).

#### 4.2.3 Consulta aos especialistas e agregação de suas preferências

A consulta aos especialistas, acerca do quanto cada indicador bem caracteriza um determinado aspecto da desertificação, foi efetuada através do questionário apresentado

no Apêndice 2, implementado a partir das facilidades do Google Docs. Como instrumento de pesquisa, o questionário foi estruturado para colher a percepção dos entrevistados relativa à adequação de cada indicador como descritor do processo. Para tanto, uma breve descrição da pesquisa e seus propósitos foi efetuada e seguida da apresentação da árvore hierárquica dos indicadores. As questões foram organizadas em blocos correspondentes a cada nível hierárquico, iniciando pelas categorias do modelo conceitual DPSIR, quando foi oferecida a seguinte pergunta: *“Como melhor podemos caracterizar o processo de desertificação em uma região, para fins de seu enfrentamento?”*

As respostas apontaram se o enfrentamento da desertificação deveria priorizar o combate às suas causas estruturais (forças motrizes) ou às suas causas diretas (pressões), ou deveria focar na prevenção do fenômeno nas áreas mais susceptíveis, ou, ainda, na mitigação dos seus efeitos ou, por fim, no fortalecimento das estruturas sociais responsáveis por fazer frente ao avanço do processo.

O segundo bloco de perguntas buscou questionar quais aspectos melhor representavam cada uma das categorias do modelo DPSIR através das seguintes questões: *“Como melhor podemos caracterizar as causas estruturais da desertificação?” ...as causas diretas? ...a predisposição de uma área? ...as consequências? ...as iniciativas da sociedade?*

O terceiro e último bloco de questões inquiriu sobre quão bem cada indicador proposto caracterizava os aspectos selecionados. Desta maneira, foram obtidas as preferências de cada especialista sobre a adequação dos descritores da desertificação, em cada nível da árvore hierárquica.

Com o objetivo de verificar a confiabilidade do questionário, foi calculado o coeficiente alfa de Cronbach (CRONBACH, 1951), por meio da Equação 6. Trata-se de uma estimativa de correlação média entre as perguntas do questionário, calculada através da análise do perfil das respostas dadas pelos entrevistados. O coeficiente relaciona a soma das variâncias das respostas de cada questão e a variância da soma das respostas de cada entrevistado (HORA *et al.*, 2010). O valor mínimo para o coeficiente é 0.7 para que se considere aceitável o nível de consistência interna do questionário.

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{s_t^2} \right)$$

Equação 6

Onde:  $k$  – número de perguntas do questionário;  
 $s_i^2$  – variância das respostas de cada pergunta do questionário;  
 $s_t^2$  – variância da soma das respostas de cada entrevistado.



Uma vez definidas as preferências, uma decisão relativa ao método de agregação precisou ser tomada (MALCZEWSKI e RINNER, 2015, p.224-234). Numa primeira opção, as preferências dos especialistas, expressas em suas respostas ao questionário, poderiam ser utilizadas individualmente na avaliação da desertificação, através da técnica de análise de decisão multicritério selecionada, e a classificação final oferecida por cada um deles ser submetida a um processo de análise multidecisor no qual se buscaria encontrar aquela solução que melhor atendesse às preferências dos especialistas em seu conjunto. Esta é a técnica de agregação de preferências *a posteriori*, quando os cenários individuais obtidos pela análise de decisão multicritério são confrontados em busca daquele que melhor satisfaça a maioria dos especialistas (Figura 9 b).

A segunda opção para tratamento das preferências poderia ser construída a partir da aplicação de um método de agregação de preferências *a priori* (Figura 9 a). Neste caso, a importância de cada indicador poderia ser calculada pela média aritmética, média geométrica ou mediana das respostas dos especialistas aos questionários.

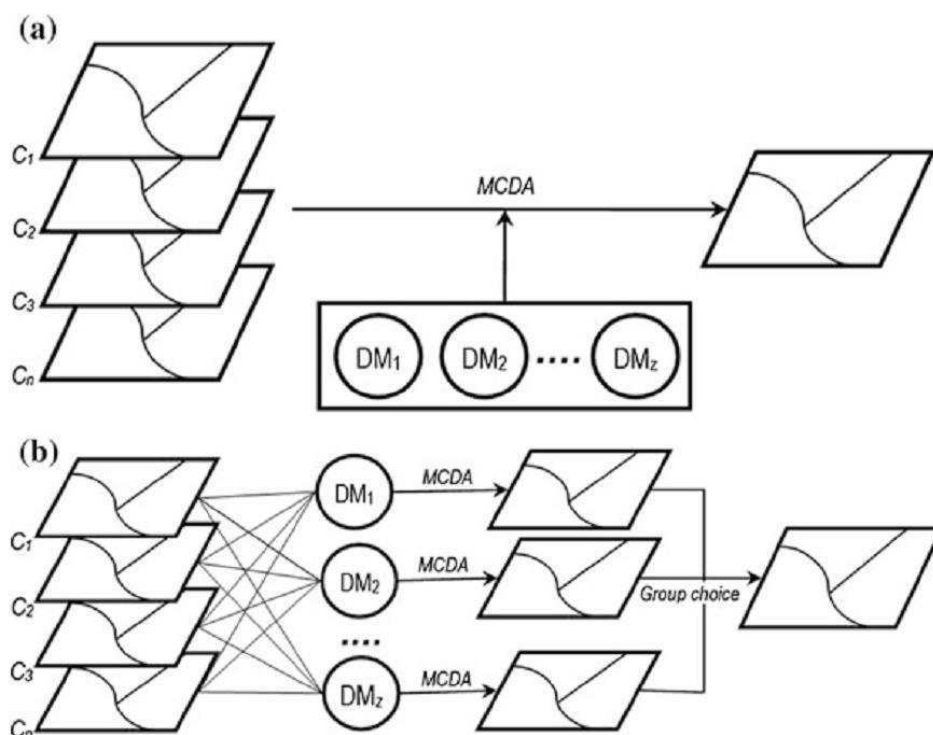


Figura 9: GIS-MCDA para tomada de decisão em grupo: a) agregação de preferências a priori e b) agregação de preferências a posteriori. ( $C_1, C_2, \dots, C_n$  = critérios,  $DM_1, DM_2, \dots, DM_z$  = tomadores de decisão).  
 Fonte: Malczewsky e Rinner (2015)

Embora técnicas de análise de decisão multicritério espacial com agregação a posteriori estivessem disponíveis, o tamanho da área de estudo (11 mil km<sup>2</sup>), a quantidade de indicadores a serem utilizados (27) e o grande número de especialistas a serem consultados indicou um volume excessivo de processamento, situação que sugeriu uma simplificação representada pela agregação de preferências a priori. Adicionalmente,

entendeu-se que os entrevistados formavam um grupo uniforme de especialistas em desertificação, condição que apontou para um reduzido conflito de opiniões sobre a importância de cada indicador.

Utilizando-se a média aritmética dos valores atribuídos pelos especialistas nas respostas ao questionário, o cálculo dos pesos definitivos de cada indicador foi efetuado a partir da normalização de seus valores levando-se em conta o total de pontos obtidos por cada grupo da árvore hierárquica. Desta maneira, garantiu-se que a soma dos pesos atribuídos a cada grupo de indicadores fosse sempre igual a 1 (unidade).

#### 4.2.4 Cálculo dos Índices Multicriteriais Parciais de Desertificação

Uma vez selecionados, calculados, normalizados, organizados em árvore hierárquica e ponderados pela técnica de agregação de preferências à priori, os indicadores, representados pelos planos de informação do tipo raster, foram organizados no software de geoprocessamento GRASS, para uso do complemento `r.mcda.promethee`. Tal complemento implementa a técnica de análise de decisão multicritério a partir de uma lista de planos de informação do tipo raster e um vetor correspondente de pesos. A descrição do comando está disponível em <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/addons/r.mcda.promethee.html>, acesso em 26/10/2016, e sua execução foi efetuada através da seguinte expressão na linha de comando da interface com o usuário:

```
r.mcda.promethee criteria=raster1@mapset [,raster2@mapset,...]  
weight=peso1[,peso2,...] positiveflow=fluxo+ negativeflow=fluxo-
```

A rotina desenvolvida por Massei *et al.* (2014), executa uma função de preferência similar ao tipo III (linear) e exige, para tanto, que todos os planos de informação já estejam normalizados para o intervalo (0-1) e ajustados para maximização ou minimização do indicador, através da aplicação da Equação 1 ou Equação 2, respectivamente. O vetor de pesos também necessita estar ajustado para que a soma de seus elementos seja igual a 1 (unidade).

A solução de software não faz uso do limiar de preferência da função tipo III pois considera integralmente as diferenças obtidas na comparação par a par entre os pixels dos planos de informação raster. Apesar da limitação, a rotina efetiva toda a lógica do método PROMETHEE, gerando os planos de informação raster correspondentes aos fluxos de importância positivo e negativo. O resultado final da aplicação do método de análise de

decisão multicritério foi obtido pela subtração entre os fluxos de importância positivo e negativo, através da calculadora raster, gerando o plano de informação correspondente ao fluxo de importância líquido. A sintaxe do comando está disponível em <https://grass.osgeo.org/grass73/manuals/r.mapcalc.html>, acesso em 26/10/2016, e sua execução foi efetuada conforme expressão a seguir:

$$\text{r.mapcalc "fluxo = "fluxo+@mapset" - "fluxo-@mapset"}$$

Os conjuntos de planos de informação de cada categoria DPSIR foram processados separadamente pelo complemento `r.mcda.promethee`, possibilitando, assim, uma análise espacial da área de estudo sob a ótica individualizada das causas estruturais, das causas diretas, da susceptibilidade, das consequências e, por fim, das respostas da sociedade. Para tanto, o vetor de pesos de cada conjunto de indicadores foi calculado através da média e normalização das respostas dos especialistas ao questionário, de modo que a soma dos pesos dos indicadores de cada categoria DPSIR fosse sempre igual a 1 (unidade). Os planos de informação referentes aos fluxos de importância líquidos de cada conjunto foram normalizados para o intervalo (0-1), receberam uma máscara relativa aos espelhos d'água e drenagem e, para fins do presente estudo, passaram a ser denominados de índices multicriteriais de desertificação, relativos às categorias DPSIR (IMD-F, IMD-P, IMD-E, IMD-I, IMD-R).

Cabe lembrar que todos os indicadores foram transformados em indicadores normalizados com relação direta com a desertificação, em outras palavras, um valor alto de qualquer indicador normalizado significa uma contribuição alta para a caracterização do fenômeno, e vice-versa. Desta maneira, os índices multicriteriais de desertificação aqui propostos também se relacionam de maneira direta com a desertificação, ou seja, baixos valores do índice indicam baixos níveis de desertificação, e vice-versa.

#### **4.2.5 Cálculo do Índice Multicriterial de Desertificação**

Para sintetizar todos os indicadores de desertificação propostos no presente estudo e, desta maneira, oferecer uma análise integrada desse grande conjunto de informações sobre o processo de degradação das terras, foi concebido o Índice Multicriterial de Desertificação (IMD), obtido do processamento simultâneo de todos os indicadores no complemento `r.mcda.promethee`. Para tanto, o vetor de pesos foi calculado através da média e normalização das notas obtidas dos especialistas no questionário de indicadores, de modo que a soma de todos os pesos fosse igual a 1 (unidade).

De maneira análoga aos índices parciais de desertificação, o processamento do conjunto de indicadores deu origem aos planos de informação referentes aos fluxos de importância positivo e negativo, conforme previsto no método de análise multicritério. Tais fluxos, uma vez efetuada a subtração entre eles, deram origem ao fluxo de importância líquido, que foi normalizado, recebeu uma máscara relativa aos espelhos d'água e drenagem e passou a ser denominado de Índice Multicriterial de Desertificação.

Após calculados, todos os índices foram exportados para o software SPRING com a finalidade de calcular as áreas relativas a cada uma das cinco categorias de severidade da desertificação: muito fraca (0 – 0,2), fraca (0,2 – 0,4), moderada (0,4 – 0,6), forte (0,6 – 0,8) e muito forte (0,8 – 1). Para tanto, um modelo de dados temático foi criado com tais classes de modo a possibilitar sua associação ao fatiamento das imagens dos índices em intervalos iguais a 0,2 (dois décimos). Imagens temáticas geradas, a área foi calculada pela opção Medida de Classes do menu Temático, em km<sup>2</sup>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados alcançados no presente trabalho de pesquisa são apresentados a seguir, iniciando-se pelas respostas ao questionário, sobre a adequação dos indicadores como descritores da desertificação, e perfil dos entrevistados.

Em seguida, cada conjunto de indicadores, e seu respectivo índice parcial de desertificação, foram descritos, espacializados na área de estudo e comentados. Para tanto, uma análise individual de cada indicador foi realizada com o objetivo de descrever um determinado aspecto da desertificação, sob a ótica daquele indicador. Na sequência, o respectivo índice multicriterial foi analisado à luz das influências dos indicadores que o compõe. Este procedimento foi repetido para cada conjunto de indicadores referentes às categorias do modelo DPSIR, oportunidades em que todos os índices parciais de desertificação foram apresentados e comentados.

Por fim, o índice multicriterial geral de desertificação, referente ao processamento simultâneo de todos os indicadores, foi exibido, espacializado e analisado.

A partir dos resultados obtidos, uma análise comparativa foi realizada entre os resultados da proposta metodológica aqui desenvolvida e alguns trabalhos publicados.

### 5.1 Consulta aos especialistas sobre grau de adequação dos indicadores

Foram encaminhados 89 convites via email, utilizando as facilidades dos formulários Google, para um público diversificado em sua formação acadêmica e área de atuação profissional que mantém algum vínculo com a temática, quer seja no campo da pesquisa, ensino, gestão ou assessoria técnica. Destes, 32 entrevistados responderam até a data limite estabelecida. Os resultados foram consolidados e apresentados no Apêndice 3 juntamente com os cálculos de média, desvio padrão e variância das séries de respostas de cada questão, e cálculo da variância da série composta pela soma das respostas de cada entrevistado. O nível de consistência interna do questionário foi então estimado através do coeficiente alfa de Cronbach (Equação 6), calculado em 0.94, caracterizando-o como confiável para fins de avaliação da desertificação por meio dos indicadores propostos.

O perfil de escolaridade dos entrevistados é formado majoritariamente por doutores (63%), seguido por mestres (19%), especialistas (9%) e graduados (9%). Nenhum dos convidados de nível técnico ou básico respondeu ao questionário (Figura 10). Por se tratar de um projeto de pesquisa que não visa a intervenção direta na área, mas, sim, o monitoramento através de dados secundários e por meio de técnicas matemáticas de análise multicritério, acredita-se que o perfil predominante de profissionais com nível de

pós-graduação foi adequado à compreensão dos indicadores enquanto descritores do processo de desertificação e, portanto, elementos de um modelo de interpretação da realidade.

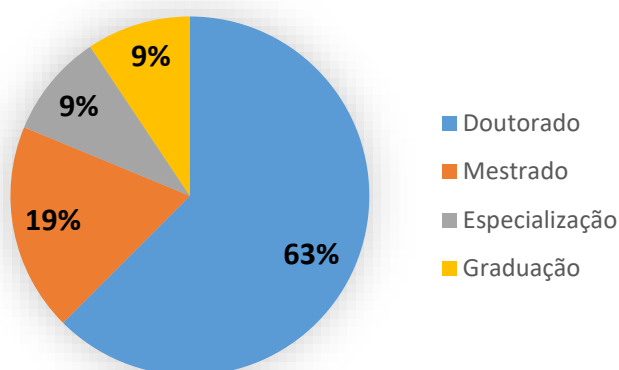


Figura 10: Nível de escolaridade dos entrevistados.

Quanto à atuação profissional (Figura 11), o perfil dos entrevistados é composto por pesquisadores (75%), professores (34%), gestores da área pública e privada (25%), além de assessores técnicos (16%) e outros tipos de atuação (16%).

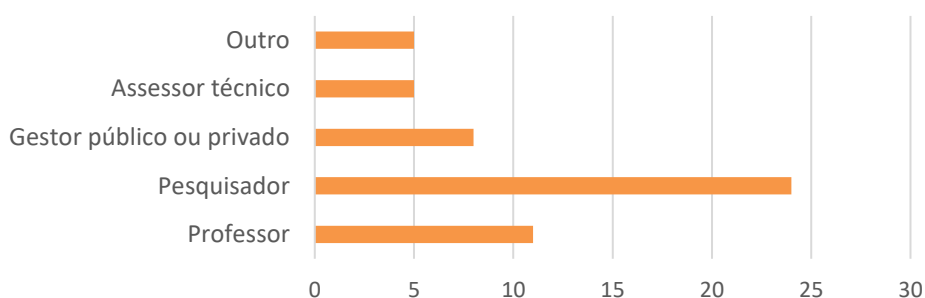


Figura 11: Tipos de atuação profissional dos entrevistados.

Em relação à área de formação profissional (Figura 12), grande parte dos entrevistados possui formação em agronomia (38%) e geografia (25%), ciências para as quais a degradação das terras é temática permanente de estudo, especialmente para os profissionais que atuam no semiárido brasileiro. No conjunto, atenderam ao convite profissionais das ciências exatas e da terra (meteorologia), engenharias (engenharia ambiental), ciências agrárias (agronomia, engenharia agrícola, engenharia florestal, zootecnia), ciências sociais aplicadas (economia, serviço social) e ciências humanas (geografia, sociologia, psicologia, educação), combinação que propiciou uma visão multidisciplinar da temática da desertificação.

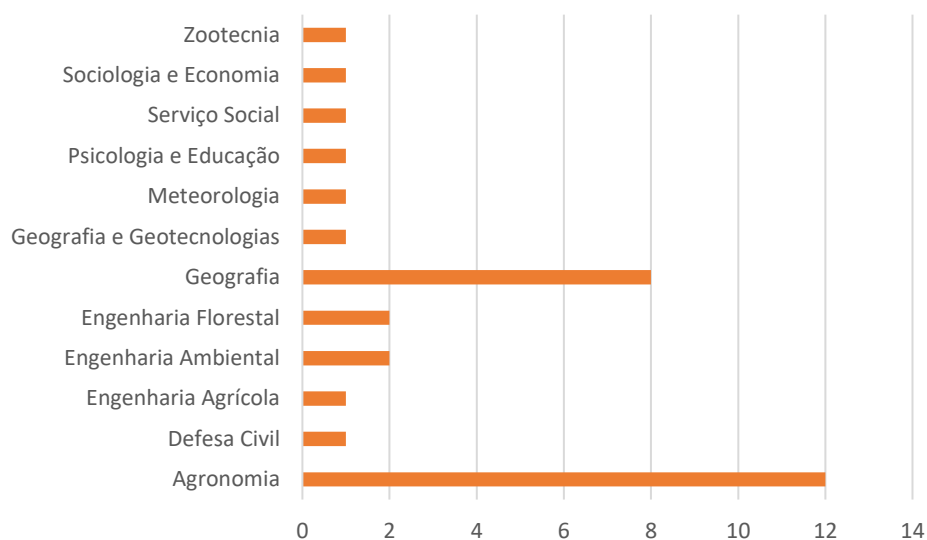


Figura 12: Áreas de formação profissional dos entrevistados.

## 5.2 Índices multicriteriais parciais de desertificação e seus respectivos indicadores

De modo a promover um melhor entendimento dos resultados alcançados para os índices multicriteriais parciais de desertificação aqui propostos, seus indicadores foram previamente espacializados e analisados individualmente, no intuito de compreender a influência de cada um deles no processo. As áreas com os valores mais significativos do indicador foram apontadas como aquelas onde a ocorrência de determinado aspecto da desertificação é mais intenso. Uma completa referência às características do indicador, tais como descrição, justificativa, modo de calcular, estatística básica, fonte e nome do plano de informação, entre outras, pode ser encontrada no Apêndice 1. O resultado do cálculo do respectivo índice é exibido, espacializado, comentado e sua ocorrência explicada, quando possível, a partir da influência dos indicadores utilizados para sua formulação.

### 5.2.1 IMD-F: Índice Multicriterial de Desertificação das Forças motrizes

Este índice indica de que maneira as causas estruturais da desertificação se apresentam na área de estudo. Seus valores de maior magnitude sugerem uma maior concentração de terra, desigualdade social no campo e pressão da cultura de consumo da população urbana. Conforme árvore hierárquica (Figura 8), os seguintes indicadores foram utilizados para o seu cálculo.

### 5.2.1.1 Indicadores de força motriz

#### Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal.

A concentração de terras, uma das forças motrizes do processo de desertificação, foi representada pelo percentual da área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal (Figura 13), obtido do último censo agropecuário. Entende-se que, mesmo utilizando práticas sustentáveis de manejo da terra, propriedades menores que o módulo fiscal não oferecem as condições mínimas para o sustento da família, levando seus administradores à sobre-exploração dos recursos naturais, especialmente solo e vegetação.

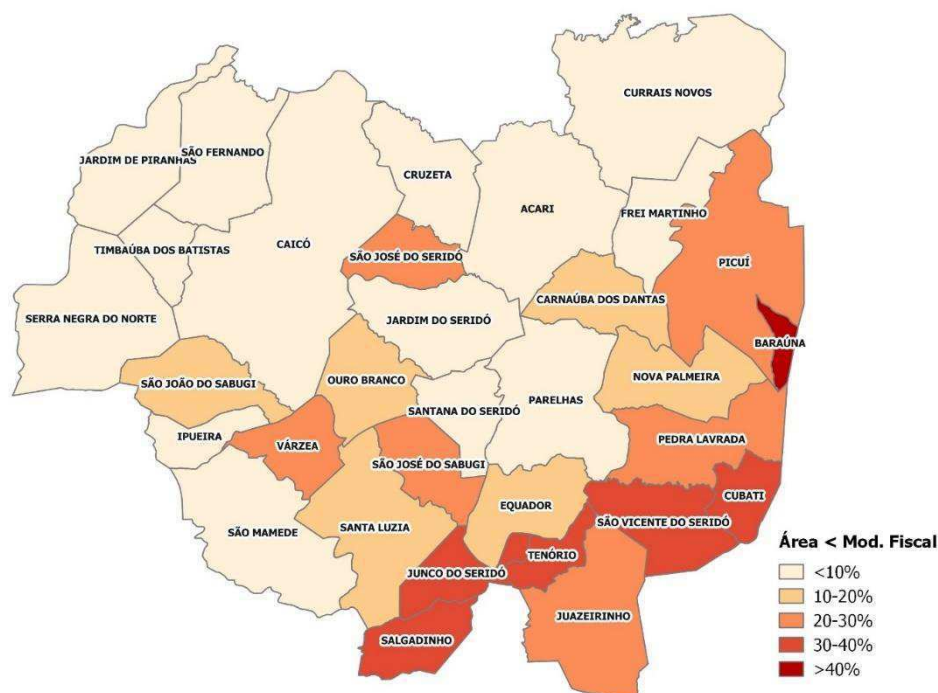


Figura 13: Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

À luz desse critério, a situação mais crítica se manifesta nos municípios sobre o planalto da Borborema, na Paraíba, e em alguns da região central da área de estudo, no Rio Grande do Norte. Os casos mais expressivos, onde o percentual da área das propriedades menores que o módulo fiscal ultrapassa 30%, ocorrem nos municípios de Cubati, Salgadinho, Tenório, São Vicente do Seridó, Junco do Seridó e Baraúna, o caso mais grave, com 50% da área do município ocupada por tais estabelecimentos rurais. Em todos esses municípios, a concentração de terra representa uma forte causa estrutural da desertificação.

Para adequação do indicador ao cálculo do IMD-F, seus valores foram normalizados conforme a Equação 1 de maximização (AEMMF\_nmax).



### Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade.

A concentração de terras também foi representada pelo percentual da área dos estabelecimentos rurais sob o regime de não propriedade (Figura 14), obtido do último censo agropecuário. Acredita-se que o produtor rural na condição de arrendatário, parceiro, ocupante ou assentado sem titulação definitiva possui menor apego à terra, por não a considerar um bem futuro para a família, e, desta maneira, não se preocupa com práticas conservacionistas.

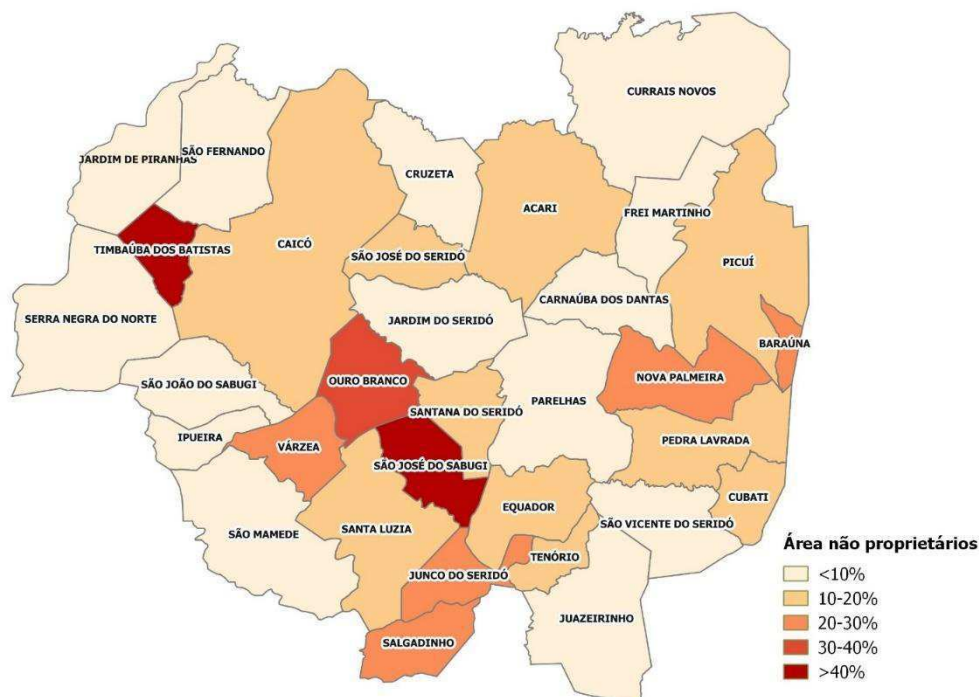


Figura 14: Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

Sob este critério, os municípios de São José do Sabugi, Timbaúba dos Batistas e Ouro Branco apresentam a maior concentração de terra, pois registram os valores mais expressivos desta importante causa estrutural da desertificação. Na direção oposta, em 14 dos 32 municípios da região de estudo, este indicador não ultrapassa 10% da área das propriedades nas mãos de não proprietários.

Para adequação do indicador ao cálculo do IMD-F, seus valores foram normalizados conforme a Equação 1 de maximização (AERNP\_nmax).

## Analfabetismo

Ao lado da concentração de terras, o baixo nível de escolaridade da população rural representa uma das causas estruturais do processo de desertificação, pois dificulta o acesso ao conhecimento necessário ao pleno exercício da cidadania e às práticas sustentáveis de produção. O indicador foi calculado pela taxa de analfabetismo das pessoas com 10 anos ou mais de idade que residem na zona rural (Figura 15).

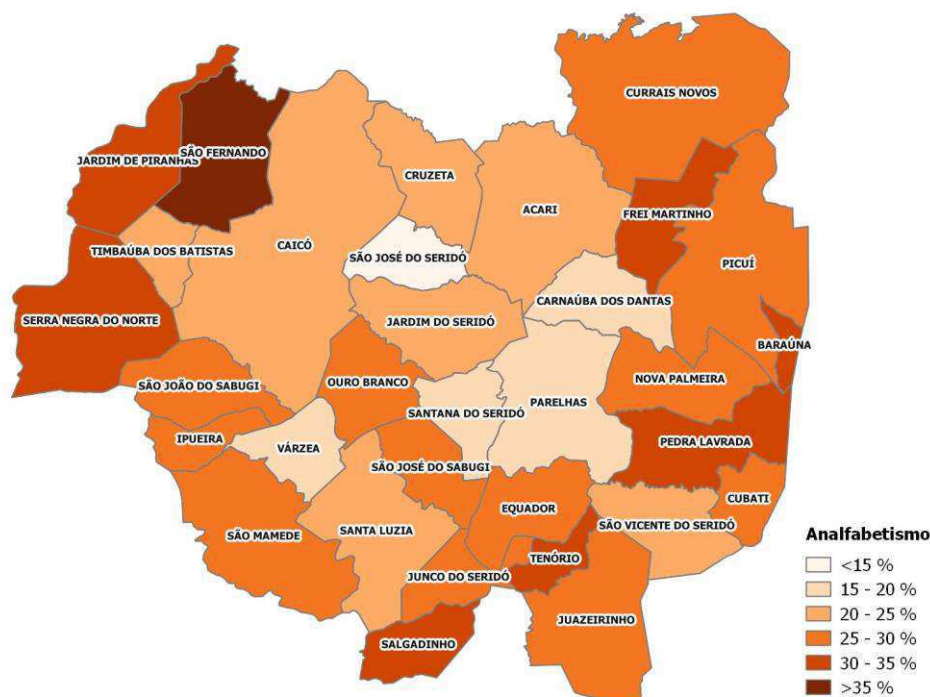


Figura 15: Analfabetismo no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Este indicador aponta os municípios de São José do Seridó, Caruaíba dos Dantas, Várzea, Parelhas e Santana do Seridó em melhor situação frente a essa força motriz da desertificação, pois apresentam taxa de analfabetismo de, no máximo, 20%. Em sentido contrário, Pedra Lavrada, Frei Martinho, Tenório, Jardim de Piranhas, Salgado, Baraúna, Serra Negra do Norte e São Fernando estão entre os municípios com pior situação, à luz desse critério, todos com taxa acima de 30%.

Para adequação ao cálculo do IMD-F, seus valores foram ajustados pela Equação 1 de maximização (ANALF<sub>nmax</sub>).

## População abaixo da linha de pobreza

Juntamente com o analfabetismo e a concentração de terras, a pobreza é considerada uma das mais importantes forças motrizes da desertificação. Uma população rural, que não possui suas necessidades básicas atendidas, procura, na exploração predatória dos recursos naturais de seu entorno, maneiras de reduzir seu grau de pobreza ou mesmo de garantir a sua sobrevivência. Esse indicador foi calculado pelo percentual de domicílios rurais com renda per capita inferior a  $\frac{1}{2}$  salário mínimo vigente (Figura 16).

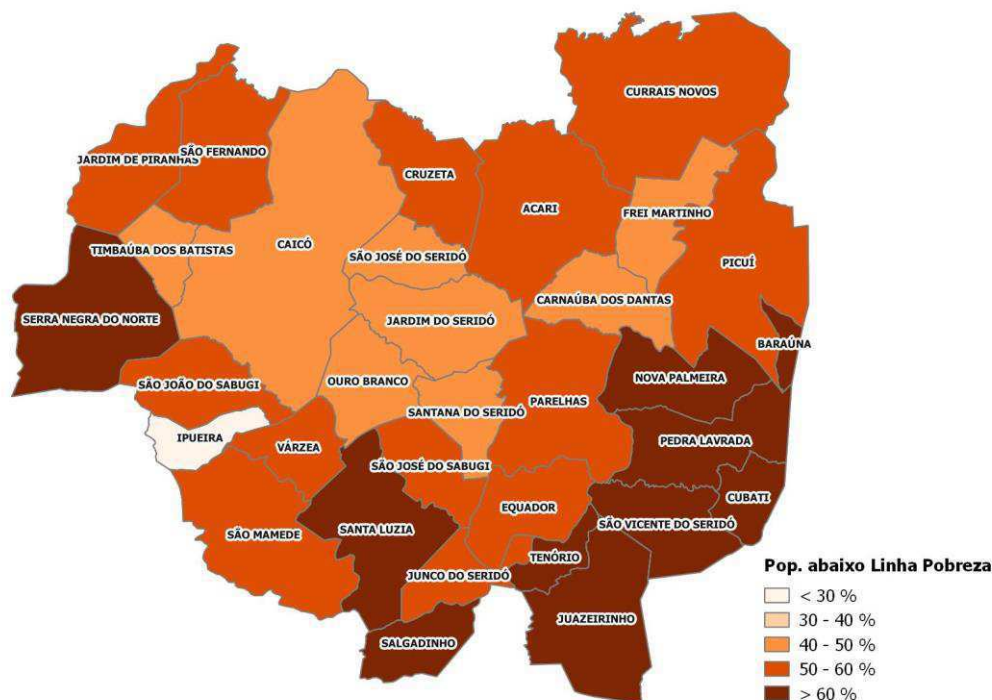


Figura 16: População abaixo da linha de pobreza no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Segundo esse indicador, todos os municípios da área de estudo, exceto Ipueira, estão fortemente sujeitos a essa força motriz da desertificação, pois a população rural abaixo da linha de pobreza ultrapassa 40%, segundo os dados do Censo Demográfico 2010, atingindo o percentual de 67% no município de Cubati. Ipueira, a exceção à regra, apresenta uma taxa ainda elevada, 29%, mas bem menor que a média da região, calculada em 55%.

Levando-se em consideração sua relação direta com a desertificação, o indicador foi normalizado através da Equação 1 de maximização para cálculo do IMD-F (PRALP\_nmax).

## Influência da população urbana

A população urbana, fortemente condicionada à cultura do consumo de bens e serviços, se constitui noutra importante força motriz da desertificação na medida em que desenvolve hábitos inadequados à capacidade de suporte do bioma Caatinga. Esta população é responsável pelo consumo crescente de produtos agropecuários, materiais cerâmicos para construção e lenha para fornos de panificadoras, pizzarias e docerias, entre outros empreendimentos industriais. Sua influência sobre a zona rural foi estimada pelo mapa de densidade de Kernel (Figura 17).

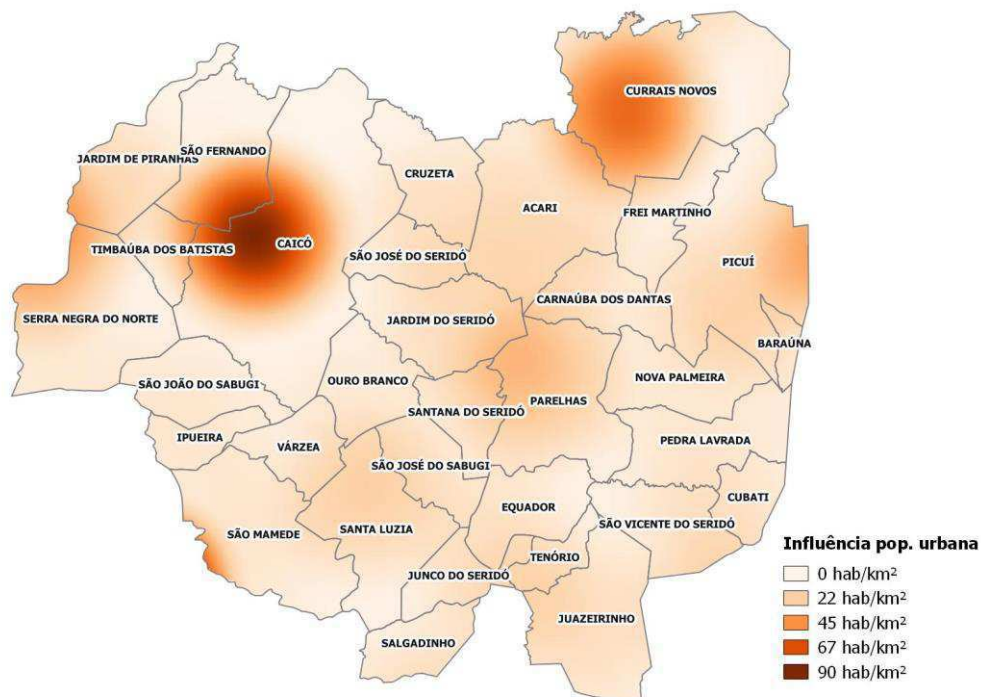


Figura 17: Influência da população urbana no Seridó.

Fonte dos dados: IBGE, Censo Demográfico 2010 e arquivo SHP das sedes Municipais.

Observa-se que esta força motriz da desertificação se expressa mais fortemente no entorno das cidades mais populosas, a exemplo de Caicó, Currais Novos e Parelhas, e por influência de cidades situadas no entorno da área de estudo, como Patos, São Bento e aquelas vizinhas à Picuí. A influência da população urbana de Caicó alcança o valor de 90 hab/km<sup>2</sup> nas proximidades de sua sede.

O indicador foi normalizado e ajustado para cálculo do IMD-F através da aplicação de seus valores mínimos e máximos na Equação 1 de maximização (INFPOP\_nmax), implementada pela seguinte expressão na calculadora raster do QGIS:

$$(\text{"inf\_pop\_urb\_serido\_km2\_UTM@1"} - 0) / (89.88836 - 0)$$

### 5.2.1.2 Resultados do IMD-F

O cálculo do **IMD-F** foi efetuado no software GRASS, a partir do processamento dos planos de informação e pesos normalizados conforme Quadro 7. Observa-se que a opinião dos especialistas levou a uma ponderação equilibrada dos grupos de forças motrizes, com pesos equivalentes a: concentração de terras (33,3%), influência da população urbana (32,4%) e desigualdade social (34,3%).

Quadro 7. Indicadores das forças motrizes e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi).

Modelo FPEIR	Grupo	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Indicador	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Plano de Informação	p <sub>1</sub> *p <sub>2</sub>
Força Motriz	Concentração de terra	3,5	0,333	Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal	3,3	0,500	AEMMF_nmax	<b>0,167</b>
				Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade	3,3	0,500	AERNP_nmax	<b>0,167</b>
				SOMA	6,6	1,000		
	Influência da população urbana	3,4	0,324				INFPOP_nmax	<b>0,324</b>
	Desigualdade social	3,6	0,343	Analfabetismo	3,2	0,464	ANALF_nmax	<b>0,159</b>
				População abaixo da linha de pobreza	3,7	0,536	PRALP_nmax	<b>0,184</b>
				SOMA	6,9	1,000		
SOMA	10,5	1,000	SOMA				<b>1,000</b>	

Para efetuar as operações necessárias, um conjunto de expressões foi executado na linha de comando da interface de usuário, tanto para o complemento r.mcda.promethee quanto para a calculadora raster, conforme apresentado no Apêndice 4. Para ilustrar a sequência e a finalidade de cada comando e não tornar a explanação repetitiva, as expressões serão exibidas apenas para o IMD-F, iniciando a seguir com aquela utilizada para execução do método de análise de decisão multicritério:

```
r.mcda.promethee criteria=AEMMF_nmax@Promethee,AERNP_nmax@Promethee,
INFPOP_nmax@Promethee,ANALF_nmax@Promethee,PRALP_nmax@Promethee
weight=0.167,0.167,0.324,0.159,0.184 positiveflow=ForcaMotriz+
negativeflow=ForcaMotriz-
```

Os arquivos raster gerados pelo complemento r.mcda.promethee possuem valores 0 (zero) para todos os pixels externos à área de estudo, em função da condição de *nodata* dos mesmos pixels nos arquivos dos indicadores. Para que tais pixels não sejam incluídos no cálculo do fluxo de importância líquido, foi preciso transformá-los previamente em *nodata* através da seguinte expressão na calculadora raster:

```
r.mapcalc expression="ForcaMotriz+_nodata" = if( "ForcaMotriz+@Promethee" ==0 ,null()  
, "ForcaMotriz+@Promethee" )
```

```
r.mapcalc expression="ForcaMotriz-_nodata" = if( "ForcaMotriz-@Promethee" ==0 ,null() ,  
"ForcaMotriz-@Promethee" )
```

O fluxo de importância líquido, um arquivo raster resultado da subtração entre os fluxos de importância positivo e negativo, foi obtido através da seguinte expressão da calculadora raster:

```
r.mapcalc expression=ForcaMotriz = "ForcaMotriz+_nodata@Promethee" - "ForcaMotriz-  
_nodata@Promethee"
```

Para expressar as forças motrizes da desertificação através do IMD-F, o arquivo raster ForcaMotriz.tif foi normalizado para o intervalo (0-1), considerando seus valores mínimos e máximos, por meio da seguinte expressão na calculadora raster:

```
r.mapcalc expression="IMD-F" = ( ForcaMotriz@Promethee - ( -4912.1 ) ) / ( 7321.8 - ( -  
4912.1 ) )
```

Por fim, o arquivo raster IMD-F.tif foi exportado para o software SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade da desertificação (Quadro 8), e apresentado no software QGIS sob as camadas dos espelhos d'água e drenagem (Mapa 1).

700000

750000

800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 1 Índice Multicriterial de Desertificação das Forças motrizes (causas estruturais)

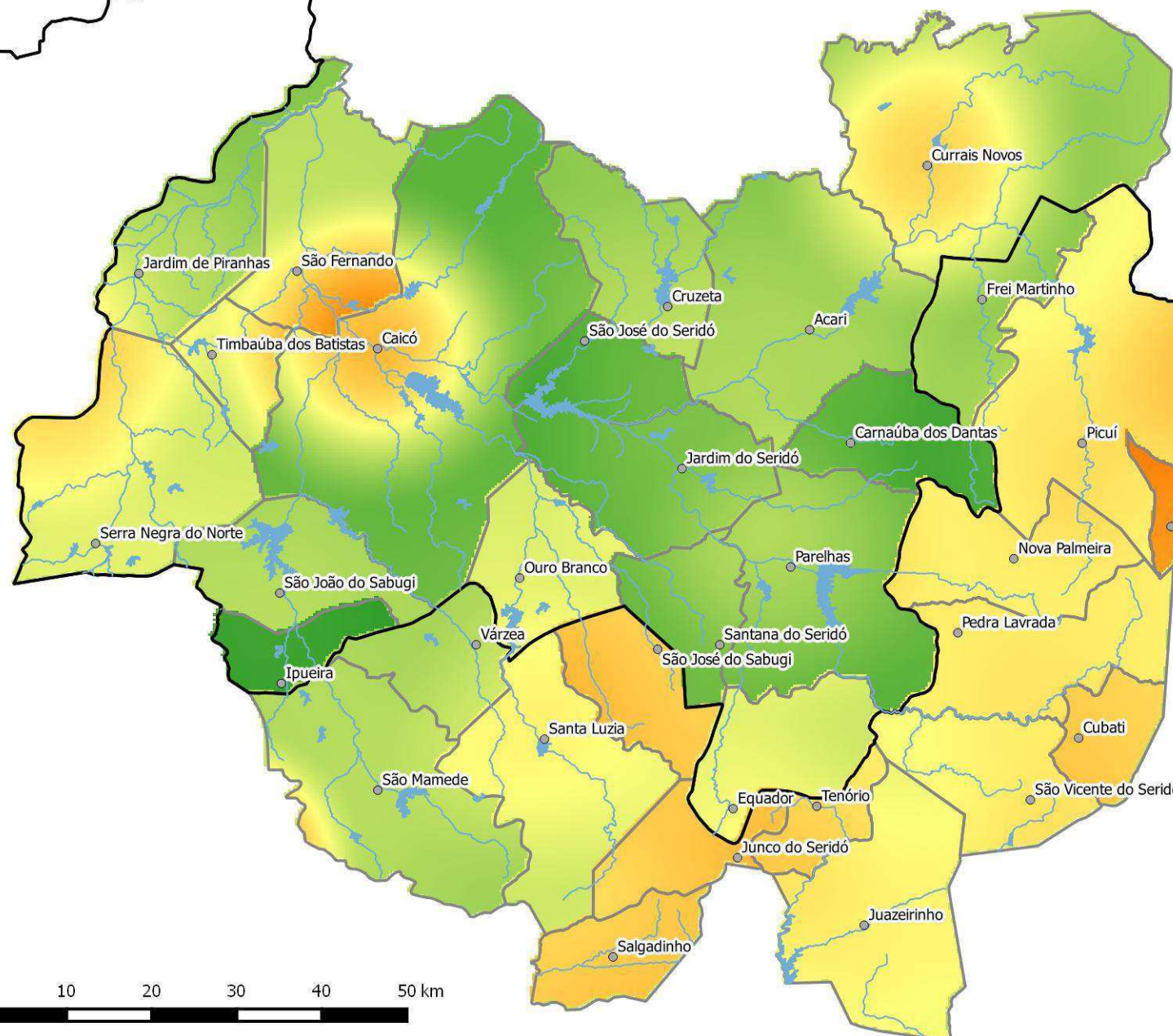
RN

PB

9300000

9250000

9200000



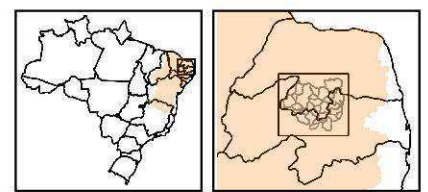
#### IMD-F

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- Açudes



Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S

Nota-se que o índice varia bruscamente entre municípios vizinhos, em razão da utilização de indicadores discretos, obtidos dos censos demográfico e agropecuário, para os quais toda a área do município foi uniformemente representada por seu valor. Trata-se de uma aproximação necessária da realidade visto que a dinâmica espacial do indicador foi desprezada no momento da agregação dos dados pelo órgão censitário.

Em virtude do IMD-F ser constituído por apenas cinco indicadores, ainda é possível analisar suas influências individuais de modo a identificar quais ações seriam necessárias para minimizá-las. Por exemplo, é nítida a alteração do índice em Baraúna, município que registra o maior IMD-F em função dos elevados valores de área ocupada por estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal, taxa de analfabetismo e população rural abaixo da linha da pobreza. Políticas públicas focadas na distribuição de terras por meio de reforma agrária, na melhoria do acesso e da qualidade do ensino fundamental e na complementação de renda através de repasses diretos dos governos, seriam exemplos de intervenções no município necessárias à redução das causas estruturais do processo de desertificação na região.

Condição oposta apresenta Ipueira, região com o menor IMD-F em virtude dos baixos valores registrados na área ocupada por estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal e em regime de não propriedade, e população rural abaixo da linha de pobreza. Ainda assim, o desempenho desse município poderia ser ampliado se ações de melhoria na educação fossem implementadas de modo a reduzir a taxa de analfabetismo, hoje em 28,8% da população rural de 10 anos ou mais de idade.

Outra situação bastante clara ocorre nas regiões influenciadas pelas maiores populações urbanas, especialmente Caicó e Currais Novos. Nestas regiões, a intensidade das forças motrizes da desertificação salta até duas categorias acima daquela registrada para a maior parte do município. Nas demais regiões, o índice reflete diferentes combinações dos indicadores, ora revelando maior intensidade das causas estruturais da desertificação, ora o seu oposto.

Em 49,7% da área de estudo (Quadro 8), o IMD-F apresenta-se como moderado, forte ou muito forte, demonstrando que, em quase metade da região, as causas estruturais da desertificação permanecem atuando de forma consistente, mantendo ativas as forças de degradação da terra.

Quadro 8. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-F

Índice	Área Total	Muito fraco		Fraco		Moderado		Forte		Muito forte	
		(0 - 0,2)	(0,2 - 0,4)	(0,4 - 0,6)	(0,6 - 0,8)	(0,8 - 1)					
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD-F	11.186	1.741	15,6	3.880	34,7	3.938	35,2	1.538	13,8	88	0,8



## 5.2.2 IMD-P: Índice Multicriterial de Desertificação dos elementos de Pressão

De forma análoga, o IMD-P indica como as causas diretas da desertificação estão atuando na área de estudo. Seus maiores valores sugerem que o desmatamento e o uso inadequado do solo pressionam o ambiente em direção à degradação das terras e, conseqüentemente, à desertificação. Os seguintes indicadores, conforme árvore hierárquica (Figura 8), foram utilizados para o seu cálculo.

### 5.2.2.1 Indicadores de pressão

#### Avanço da fronteira agropecuária

O avanço da fronteira agropecuária, como fator de pressão sobre o meio ambiente, foi obtido pela comparação entre as áreas utilizadas pela atividade agropecuária dos dois últimos censos (Figura 18). A utilização de áreas de vegetação nativa para fins agropecuários aumenta a pressão sobre os recursos naturais e a biodiversidade, favorecendo o processo de desertificação. Para os municípios inexistentes no censo Agropecuário de 1995, Baraúna e Tenório, foram atribuídos os mesmos percentuais de área utilizada para a agropecuária referentes aos municípios dos quais se desmembraram, Picuí e Juazeirinho, respectivamente.

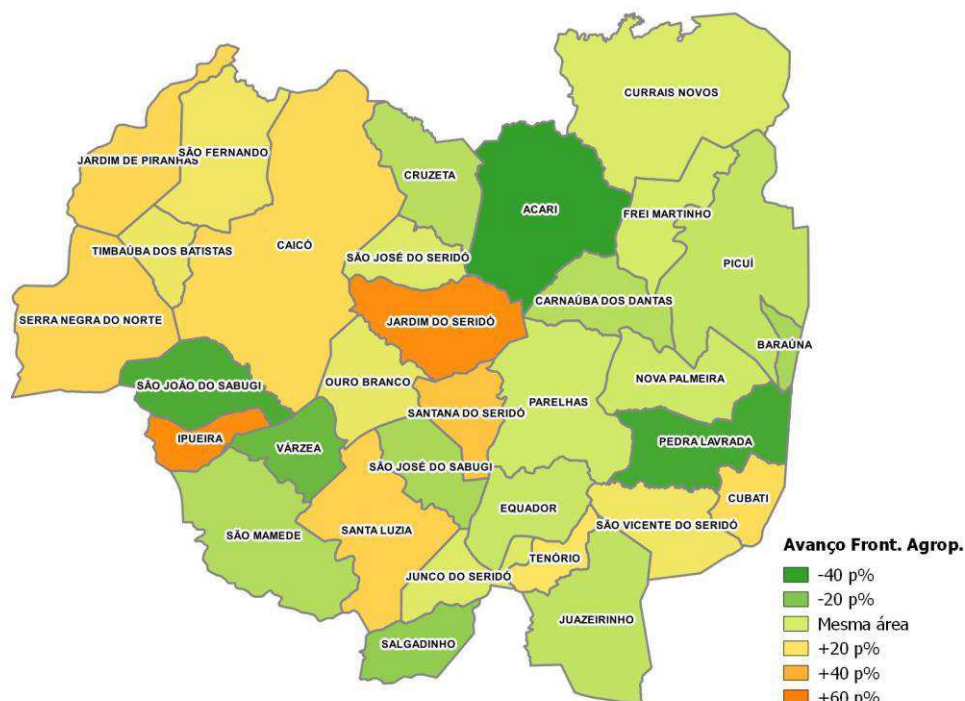


Figura 18: Avanço da fronteira agropecuária no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006 e 1995.

Observa-se que, sob a ótica desse indicador, a pressão para a desertificação é menor nos municípios de Acari, Pedra Lavrada, São João do Sabugi e Várzea, onde houve

recuo da fronteira agropecuária, atingindo redução acima de 40 pontos percentuais na área ocupada. Este encolhimento da área utilizada para a agricultura e a pecuária sugere uma elevada taxa de abandono da terra em decorrência de sua degradação e do êxodo rural, entre outros possíveis fatores. A interrupção na exploração de uma área a coloca em processo de sucessão ecológica para o restabelecimento do equilíbrio do ecossistema, situação que tende a reduzir a pressão em favor da desertificação. No sentido contrário, houve expressivo acréscimo em Santana do Seridó, Jardim do Seridó e Ipueira, municípios onde essa causa direta da desertificação se manifestou de maneira mais intensa, alcançando aumento de 54 pontos percentuais na área de agricultura e pastagem.

Como indicador diretamente relacionado à desertificação, seus valores foram ajustados ao cálculo do IMD-P através da Equação 1 de maximização (AFAG<sub>nmax</sub>).

### Mudança na cobertura vegetal

A mudança na cobertura vegetal ao longo de certo período indica se a pressão exercida pelo desmatamento é maior ou menor que a capacidade de regeneração natural do bioma. A presença de cobertura vegetal permanente (culturas permanentes, vegetação arbustiva e arbórea nativa ou exótica) protege o solo contra a erosão hídrica e conserva a diversidade biológica, tornando a área menos propensa à desertificação. Para cálculo da mudança, foi efetuada a diferença entre o indicador de cobertura vegetal para 2015 - **CV2015** (Figura 19), como descritor da situação atual, e o indicador de cobertura vegetal para 1990 - **CV1990** (Figura 20), 25 anos atrás, ambos obtidos através do cálculo do índice de vegetação SAVI a partir de imagens de satélite colhidas no final da estação chuvosa da região de estudo.

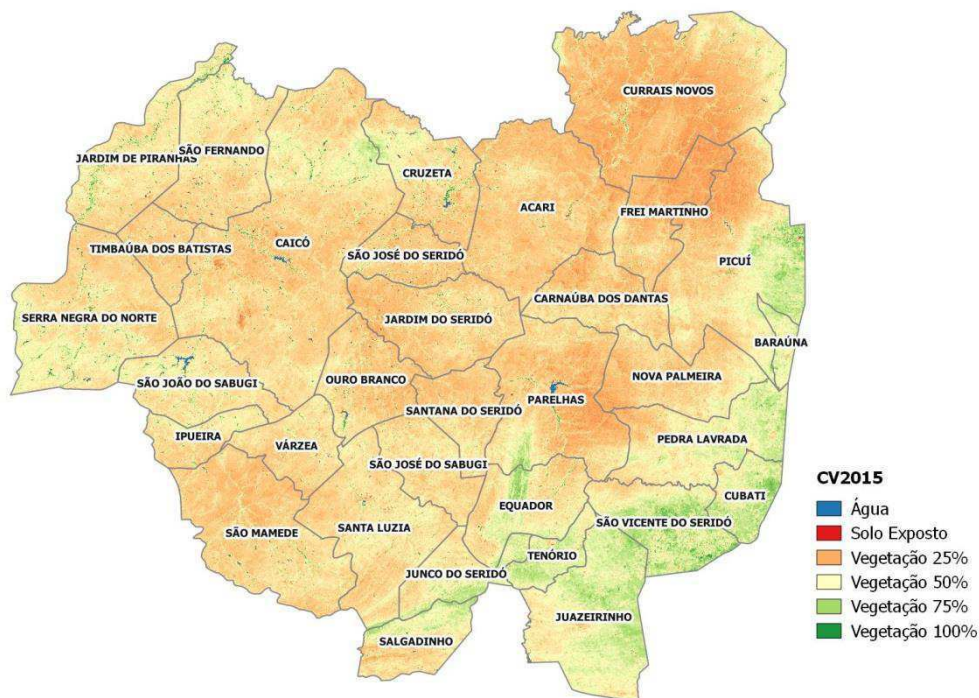


Figura 19: Cobertura vegetal no ano 2015 no Seridó.  
 Fonte dos dados: USGS, Imagem de satélite Landsat 8/OLI, 25/07/2015.

Nota-se que as áreas com melhor cobertura vegetal em 2015 e, portanto, menos susceptíveis à desertificação, restringem-se à região do planalto da Borborema, às serras potiguares e ao entorno do rio Açu. Nas demais áreas, o percentual de cobertura vegetal não ultrapassa 50%, indicando alto risco de desertificação, sob a ótica desse indicador.

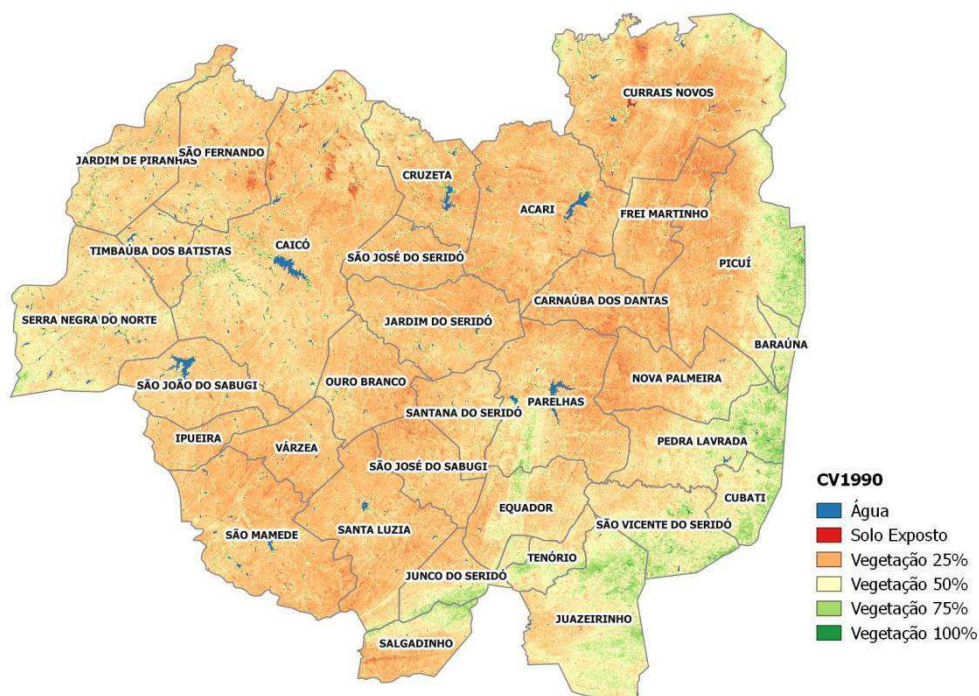


Figura 20: Cobertura vegetal no ano 1990 no Seridó.  
 Fonte dos dados: USGS, Imagem de satélite Landsat 5/TM, 18/06/1990.

Em 1990, a situação da cobertura vegetal se mostrava ligeiramente inferior a 2015, com as áreas melhor protegidas restritas às partes mais altas do Planalto da Borborema.

Na demais regiões, predominava uma baixa cobertura vegetal, inferior a 25% em grande parte da depressão sertaneja e a sotavento do Planalto da Borborema.

De posse dos índices normalizados na forma de percentuais de cobertura vegetal, foi calculada a diferença entre o ano de 2015 e o ano de 1990, uma simples subtração na calculadora raster que gerou o resultado **CV15-90** (Figura 21).

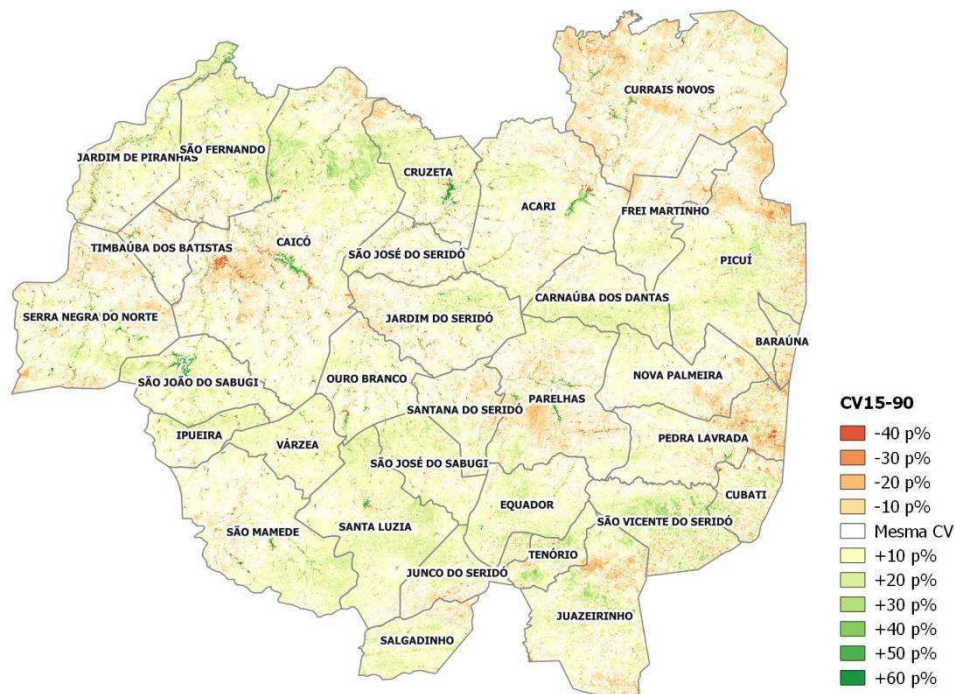


Figura 21: Mudança na cobertura vegetal no Seridó.  
 Fonte dos dados: USGS, Imagens de satélite Landsat 8/OLI e Landsat 5/TM.

As áreas representadas na cor verde indicam melhoria na cobertura vegetal ao longo do período de 25 anos, com mudanças positivas no percentual de cobertura de até 60 pontos percentuais, concentradas a leste de São Fernando, centro-norte de Caicó e Cruzeta, sul de Carnaúba dos Dantas, centro de Picuí e norte de São Vicente do Seridó, entre outras áreas. Na direção oposta, as áreas ilustradas nas cores avermelhadas indicam as maiores perdas de vegetação no período, com redução do percentual de cobertura vegetal de até 40 pontos percentuais. No centro-oeste de Caicó, centro de Parelhas, oeste de Nova Palmeira e Pedra Lavrada, norte de Picuí e Frei Martinho e praticamente todo o município de Currais Novos, a redução da cobertura vegetal foi mais expressiva no período. À luz do presente indicador, especial atenção deve ser dada a estas regiões, pois o desmatamento, como elemento de pressão do processo de desertificação, mostrou-se mais intenso que a capacidade de regeneração natural do bioma.

Para utilização do indicador no cálculo do IMD-P, seu valor foi normalizado para o intervalo (0-1) e adequado à condição de minimização através da Equação 2 (CV15-90\_nmin), implementada na calculadora raster do QGIS através da seguinte expressão:

$$1 - ( "CV15-90@1" - (-1) ) / ( 1 - (-1) )$$

## Carga animal

Como causa direta da desertificação por manejo inadequado da terra, o sobrepastoreio foi representado pela quantidade de unidades animal por área de pastagem nativa e plantada (UA/ha). O excesso de animais degrada a pastagem, compacta o solo e contribui para a degradação das terras. A quantidade de cabeças de gado bovino, caprino e ovino, os mais representativos na área de estudo, foi convertida em unidades animal, totalizada por município e relacionada à área de pastagem (Figura 22).

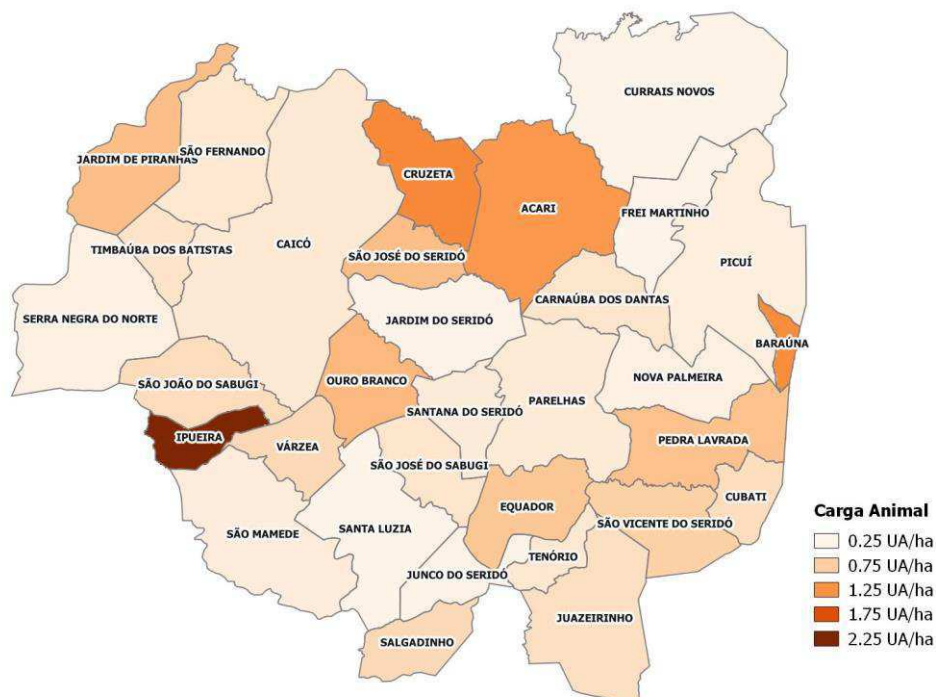


Figura 22: Carga animal no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

Considerando a capacidade de suporte média de 0,1UA/ha das áreas de pasto nativo na Caatinga (GIULIETTI *et al.*, 2004), a pressão do sobrepastoreio vem degradando as terras em toda a região de estudo, com excessos expressivos nos municípios de Ipueira, Cruzeta, Acari e Baraúna, com valores acima de 1,25 UA/ha.

O indicador foi normalizado e ajustado para a relação de maximização através da Equação 1 (UAPHA\_nmax), para uso no cálculo do IMD-P.

## Recorrência de incêndio

A prática do uso do fogo na preparação da terra para o plantio e os incêndios florestais aceleram o processo de desertificação ao reduzir a cobertura vegetal de proteção do solo e restringir a diversidade biológica do ambiente, inclusive os microrganismos existentes no solo. O indicador foi representado pelo mapa de densidade de Kernel, calculado a partir dos focos de incêndio na região (georreferenciados), para um período 10 anos (Figura 23).

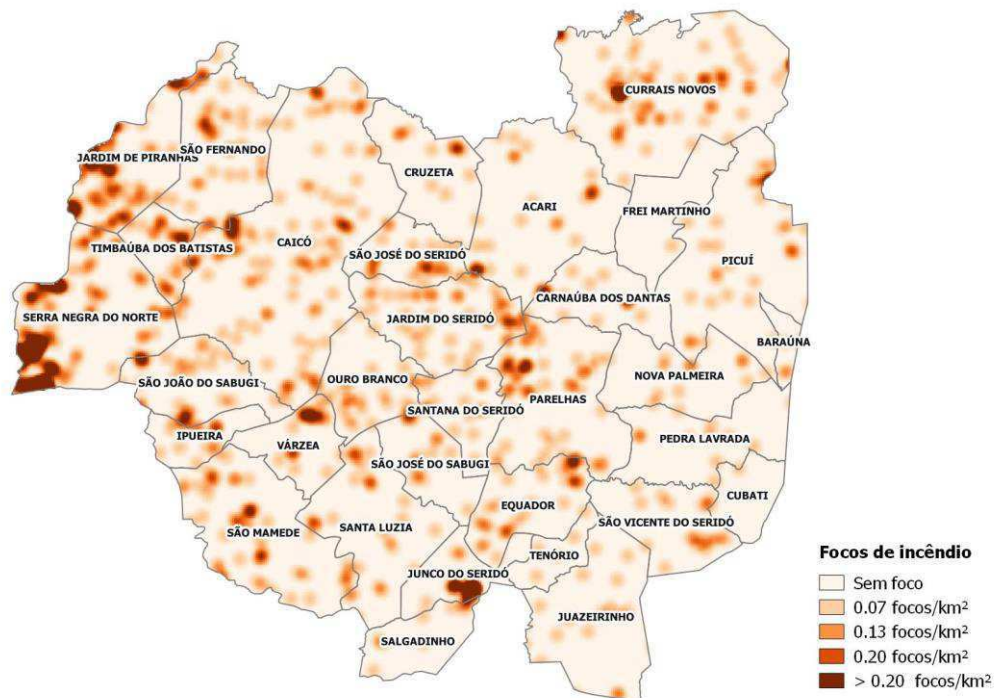


Figura 23: Recorrência de incêndio no Seridó.

Fonte dos dados: Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, INPE (2016).

Observa-se que a prática do uso do fogo ou a ocorrência de incêndios florestais é generalizada, sendo mais frequente nos municípios de Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas, Junco do Seridó e Timbaúba dos Batistas. Percebe-se, também, que a frequência do fogo é menor nos municípios paraibanos do Planalto da Borborema. A depender deste indicador, a pressão para desertificação na área de estudo é bastante diversa e espacialmente bem distribuída.

Para o cálculo do IMD-P, o indicador foi normalizado e ajustado através da aplicação de seus valores mínimos e máximos na Equação 1 de maximização (INCENDIO\_nmax), implementada pela seguinte expressão na calculadora raster do QGIS:

$$("Foco\_Inc\_serido\_km2\_UTM@1" - 0) / (1.97415 - 0)$$

### 5.2.2.2 Resultados do IMD-P

O cálculo do IMD-P foi efetuado a partir dos planos de informação e pesos normalizados apresentados no Quadro 9. Nota-se que o manejo inadequado da terra caracteriza ligeiramente melhor as pressões impostas a uma área do que o desmatamento, segundo os especialistas, com pesos calculados em 51,1% e 48,9%, respectivamente.

Quadro 9. Indicadores das pressões e respectivos planos de informação, pesos brutos (P<sub>i</sub>) e normalizados (p<sub>i</sub>)

Modelo FPEIR	Grupo	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Indicador	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Plano de Informação	p <sub>1</sub> *p <sub>2</sub>
Pressão	Desmatamento	4,5	0,489	Avanço da fronteira agropecuária	3,7	0,463	AFAGP_nmax	<b>0,226</b>
				Mudança na cobertura vegetal	4,3	0,538	CV15-90_nmin	<b>0,263</b>
				SOMA	8	1,000		
	Manejo inadequado da terra	4,7	0,511	Carga animal	4,2	0,506	UAPHA_nmax	<b>0,259</b>
				Recorrência de incêndio	4,1	0,494	INCENDIO_nmax	<b>0,252</b>
				SOMA	8,3	1,000		
				SOMA	9,2	1,000	SOMA	

De maneira análoga ao índice anterior, vários comandos foram executados na interface de usuário do GRASS para cálculo dos fluxos de importância positivo (Pressao+.tif), negativo (Pressao-.tif), líquido (Pressao.tif) e normalização do índice (IMD-P), conforme pode ser observado no Apêndice 4. O arquivo final do índice foi também exportado para o SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade (Quadro 10), e para o QGIS, onde foi apresentado sob os planos de informação dos espelhos d'água e rede de drenagem (Mapa 2).

700000

750000

800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 2 Índice Multicriterial de Desertificação dos elementos de Pressão (causas diretas)

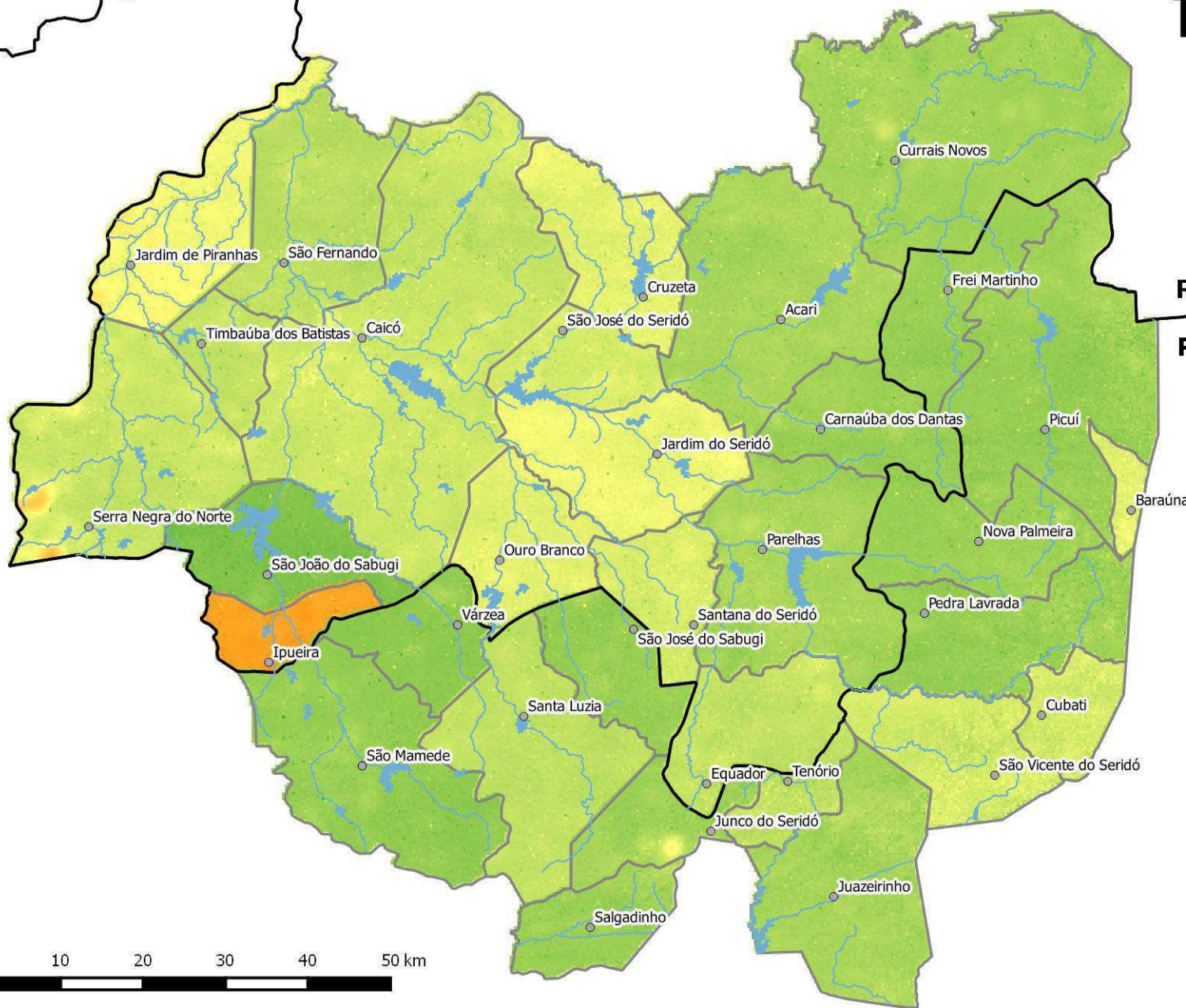
9300000

RN

PB

9250000

9200000

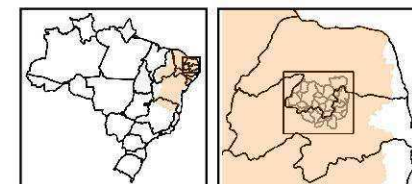


#### IMD-P

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- Açudes

Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S

0 10 20 30 40 50 km





Da mesma forma que os demais índices, o IMD-P varia significativamente entre municípios vizinhos, em razão da utilização de indicadores discretos. A situação mais grave ocorre em Ipueira, município que registra o maior acréscimo na área destinada à atividade agropecuária e também a maior densidade animal, condições que elevam o índice ao seu valor máximo. Observando os dados brutos, além de registrar o maior avanço na fronteira agropecuária, Ipueira ocupa atualmente 96,4% da área de seus estabelecimentos rurais com essa atividade. Este quadro sugere uma ação dos órgãos ambientais na área de modo a negociar o cumprimento do código florestal, que determina um mínimo de 20% de reserva legal no bioma Caatinga.

Por sua vez, a elevada densidade animal registrada em Ipueira indica a necessidade das instituições de assistência técnica e extensão rural atuarem na área com o objetivo de discutirem formas de ampliar a capacidade de suporte das pastagens naturais e plantadas ou mesmo de reduzir as populações de bovinos, caprinos e ovinos de modo a preservarem os recursos naturais do estabelecimento rural e garantir, assim, a sustentabilidade da atividade.

As variações internas ao município são reflexos da variabilidade espacial de alguns de seus indicadores, neste caso a mudança da cobertura vegetal e a ocorrência de incêndios. Este último responde pelas intensas alterações do índice no sudoeste de Serra Negra do Norte, sul de Junco do Seridó e centro-oeste de Currais Novos, onde a intensidade das pressões para desertificação salta uma ou duas categorias acima daquela registrada para o município. Esta prática inadequada pode ser combatida com a conscientização e capacitação do agricultor para utilização de técnicas sustentáveis de preparo e manejo da terra.

Outras variações na intensidade do índice no interior do município indicam a atuação do indicador mudança na cobertura vegetal. Pouco perceptíveis na escala do Mapa 2, as áreas com alterações positivas do índice (verde para amarelo) indicam a existência de alterações no uso e cobertura do solo ou processos de desmatamento mais intensos que a capacidade natural de recuperação do bioma. Na direção oposta, as regiões com alterações negativas do índice (amarelo para verde) representam os locais submetidos à prática de pousio, técnicas agroecológicas de produção ou abandonadas e agora sujeitas aos processos de sucessão ecológica, quando espécies vegetais pioneiras repovoam o ambiente degradado restabelecendo as condições mínimas para surgimento de outras espécies da flora e da fauna.

Por fim, nas demais regiões, o índice reflete diferentes combinações dos indicadores, ora revelando maior intensidade das causas diretas, ora a situação inversa.

O IMD-P sinaliza, ainda, que a maior parte da área de estudo (80,3%) está submetida a intensidades fraca e muito fraca das causas diretas da desertificação (Quadro 10). Embora muito desmatada, este resultado sugere que a maior parte da região registra pouca mudança na cobertura vegetal, reduzida carga animal (ainda que acima do recomendado), recuo na fronteira agropecuária e baixa ocorrência de incêndios.

Quadro 10. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-P

Índice	Área Total	Muito fraco (0 - 0,2)		Fraco (0,2 - 0,4)		Moderado (0,4 - 0,6)		Forte (0,6 - 0,8)		Muito forte (0,8 - 1)	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD-P	11.186	220	2,0	8.757	78,3	2.073	18,5	12	0,1	124	1,1

### 5.2.3 IMD-E: Índice Multicriterial de Desertificação do Estado atual

Ao calcular um índice apenas com os planos de informação da categoria Estado, foi gerada uma maneira de avaliar o quanto a área de estudo está propensa à iniciar ou agravar processos de desertificação. As regiões com os maiores valores do IMD-E indicam que suas condições ambientais, econômicas e sociais as tornam mais susceptíveis à degradação das terras que as demais. Nove indicadores simples e um composto (Risco de Erosão Hídrica do Solo), utilizados para o cálculo do IMD-E conforme árvore hierárquica (Figura 8), são apresentados, espacializados e comentados a seguir.

#### 5.2.3.1 Indicadores de estado

##### Índice de aridez

A susceptibilidade à desertificação por fatores climáticos foi representada pelo Índice de Aridez (Figura 24), obtido pela relação entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial. Calculado conforme a definição do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1992), o índice agrupa as áreas em todo o globo terrestre nas categorias hiperárido ( $IA < 0,05$ ), árido ( $0,05 < IA < 0,20$ ), semiárido ( $0,20 < IA < 0,50$ ), subúmido seco ( $0,50 < IA < 0,65$ ) e subúmido úmido e úmido ( $IA > 0,65$ ). Quanto mais árida, mais susceptível a área está aos processos de desertificação.

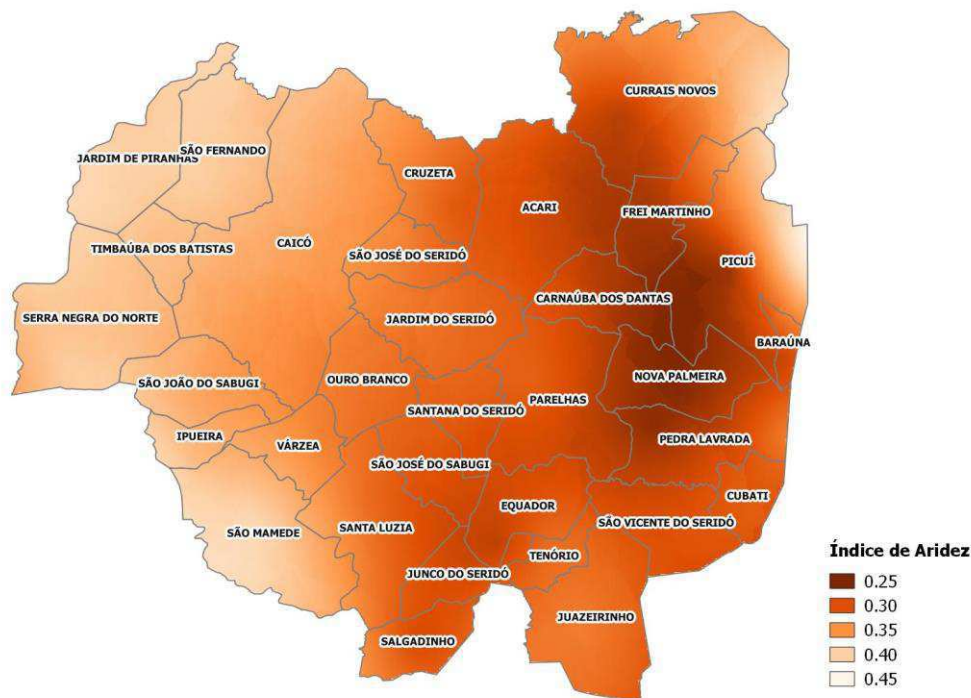


Figura 24: Índice de aridez no Seridó.  
Fonte dos dados: Costa e Brito (2004).

Observa-se que, mesmo pertencendo à microrregiões geográficas semelhantes e localizadas no semiárido, os municípios apresentam índices de aridez bem diferentes, variando de valores próximos ao limite de aridez, nos municípios de Frei Martinho, Picuí, Carnaúba dos Dantas e Nova Palmeira, até valores próximos à categoria subúmido seco, nos municípios de São Fernando, Jardim de Piranhas e São Mamede. Sob a ótica deste indicador, exceto a região oeste e parte leste de Picuí e Currais Novos, toda o restante da área de estudo está submetido a um elevado grau de predisposição à desertificação.

Para uso no cálculo do IMD-E, o indicador foi normalizado a partir da Equação 2 de minimização (IARIDEZ\_nmin), utilizando a seguinte expressão na calculadora raster do QGIS:

$$1 - ( \text{"indice\_aridez\_serido\_UTM@1"} - 0.240334 ) / ( 0.45847 - 0.240334 )$$

### Índice de seca

A propensão à desertificação por fatores climáticos também foi representada pelo índice de seca denominado SPI48-Dez15, que expressa o quanto a precipitação acumulada nos 48 meses anteriores a dezembro de 2015 afastou-se de sua média histórica (Figura 25). Entende-se que a escassez prolongada de chuva potencializa o risco à desertificação.



Figura 25: Índice de seca no Seridó.  
Fonte dos dados: INPE/CPTEC.

Como se observa, toda a área de estudo esteve submetida à uma seca severa de 2012 a 2015, com SPI variando de -3,8 a -1,4. As regiões centro-sul e nordeste apresentaram os maiores déficits de chuva, o que indica, a luz do índice de seca, maior predisposição à desertificação nessas áreas.

Para uso no cálculo do IMD-E, o indicador foi normalizado a partir da Equação 2 de minimização (SPI48\_nmin), através da seguinte expressão na calculadora raster do QGIS:

$$1 - ( \text{"SPI48_serido_UTM@1"} - ( -3.82666 ) ) / ( -1.39285 - ( -3.82666 ) )$$

### Cobertura vegetal

O percentual de cobertura vegetal atual expressa um dos principais indicadores do potencial de degradação da terra, pois a ausência de vegetação expõe o solo à ação erosiva da chuva e do vento e reduz a diversidade biológica responsável por inúmeros serviços ambientais. No item 5.2.2.1, Figura 19, este indicador (CV2015) já foi apresentado, espacializado e comentado como parte do cálculo da mudança da cobertura vegetal, não cabendo aqui outras explicações.

## Grau de fertilidade do solo

O risco de degradação das terras é também dependente do grau de fertilidade do solo. Solos distróficos, de baixa fertilidade natural, apresentam maior susceptibilidade à desertificação em relação aos solos eutróficos, de alta fertilidade. Assim, o grau de fertilidade do solo, obtido do levantamento exploratório de solos para os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, foi utilizado como indicador do processo de desertificação (Figura 26).

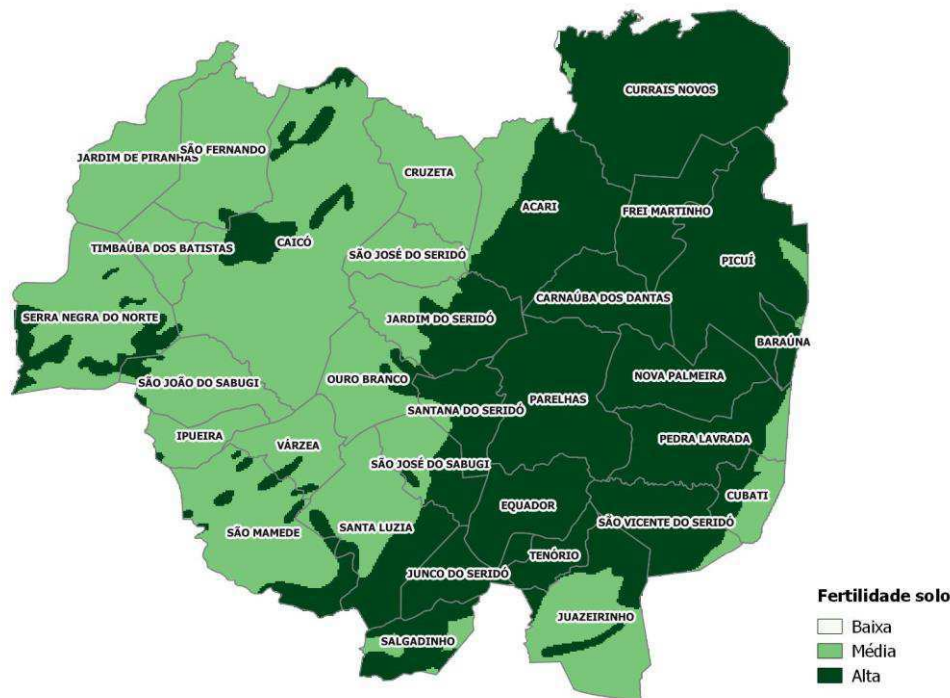


Figura 26: Grau de fertilidade do solo no Seridó.  
Fonte dos dados: Brasil (1971, 1972).

De acordo com este critério, toda a área leste dominada pelos solos eutróficos, principalmente do tipo Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico, oferece a menor predisposição à desertificação, enquanto que na grande porção oeste da área de estudo a susceptibilidade é mediana. Apenas numa pequena área a noroeste do município de Currais Novos, os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos levam o risco de desertificação ao nível máximo.

Para uso no cálculo do IMD-E, o indicador foi normalizado a partir da Equação 2 de minimização (GFSOL\_nmin), através da seguinte expressão na calculadora raster do QGIS:

$$1 - ( "GFSOL@1" - 1 ) / ( 3 - 1 )$$

## Risco de erosão hídrica do solo

A predisposição de uma área à desertificação também foi representada pelo risco de erosão hídrica do solo. Este indicador, conforme explicações exibidas na metodologia, foi

calculado em função da **cobertura vegetal atual** (indicador já exposto anteriormente), declividade do terreno e risco de erosão da classe de textura do solo. Para fins de avaliação do risco de erosão hídrica do solo, cada um de seus componentes foi previamente apresentado, especializado e comentado.

A **declividade** (Figura 27) na maior parte da área de estudo está abaixo de 8%, indicando tratar-se de terrenos planos e suave ondulados onde o risco de erosão hídrica é baixo. A exceção se encontra na encosta oeste do planalto da Borborema e nas serras, regiões com terrenos ondulados e forte ondulados, com declividade variando de 8% a 45%. Para uso no cálculo do indicador de risco de erosão hídrica do solo, a declividade foi normalizada através da aplicação da Equação 1, por meio da seguinte expressão na calculadora raster do QGIS (valor máximo obtido do corte de contagem cumulativa de 99,9%):

$$("declividade@1" > 0 \text{ AND } "declividade@1" \leq 0.728016) * "declividade@1" / 0.728016 + ("declividade@1" > 0.728016) * 1$$

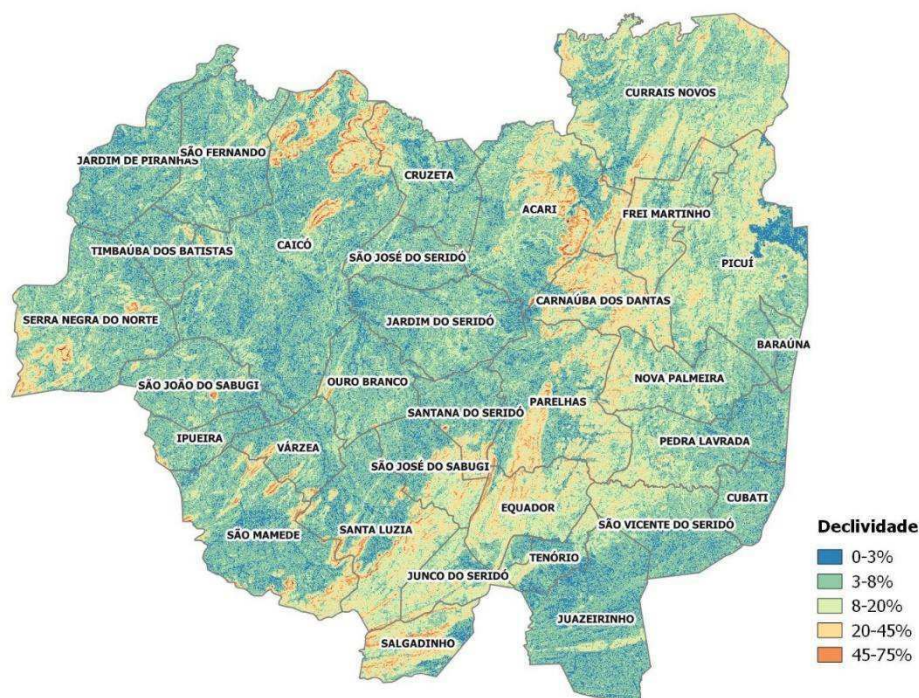


Figura 27: Declividade no Seridó.  
Fonte dos dados: SRTM, Valeriano (2011).

Segundo Lima *et al.* (2002) e Sá *et al.* (2013), a presença de solos das classes Luvisolo Crômico e Planossolo Nátrico conduz a maior parte da área de estudo a fortes riscos de **erosão em função da textura do solo** (Figura 28), em especial a porção oeste, grande parte de Juazeirinho e faixa leste de Pedra Lavrada, Cubati e São Vicente do Seridó. Já em Baraúna, leste de Picuí e Nova Palmeira, nordeste de Pedra Lavrada e Juazeirinho e sul de São Vicente do Seridó, solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolo

Regolítico levam o risco aos seus menores valores. Para fins de cálculo do indicador de risco de erosão hídrica do solo, as classes de textura foram transformadas em escala numérica no intervalo de 0.25 (fraco) a 1.00 (muito forte), passando por moderada (0.5) e forte (0.75).

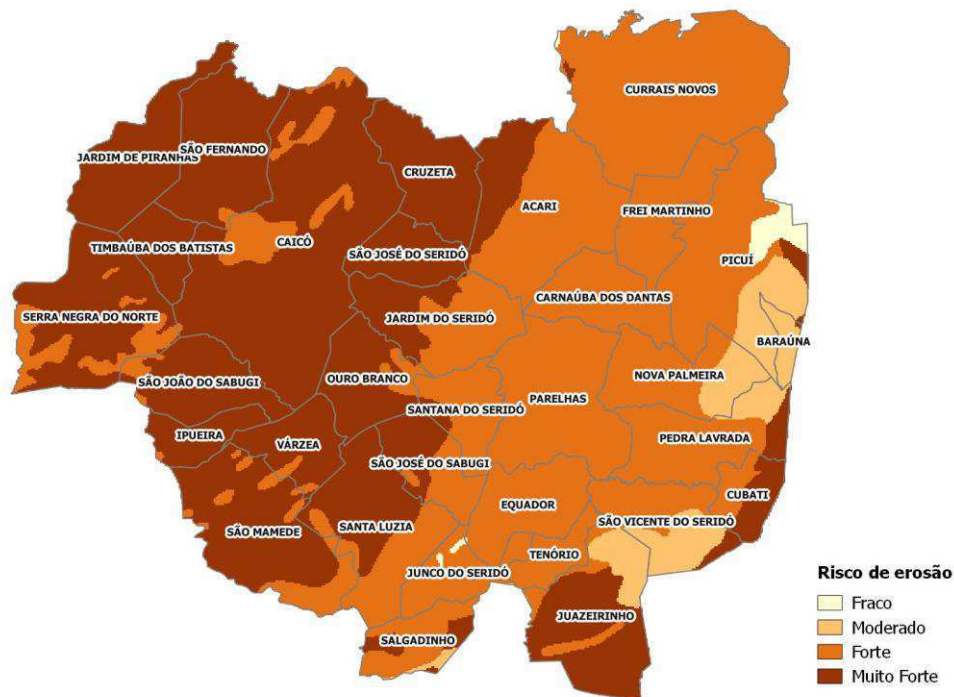


Figura 28: Risco de erosão por tipo de textura da classe de solo no Seridó. Fonte dos dados: Brasil (1971, 1972); Lima *et al.* (2002), Sá *et al.* (2013).

Conforme a metodologia, o indicador de **risco de erosão hídrica do solo** foi então calculado através da média geométrica dos indicadores de cobertura vegetal, declividade do terreno e erodibilidade das classes de solo (Equação 5), implementada na calculadora raster do QGIS através da expressão a seguir.

$$((1 - "CV2015@1") * "decliv_n@1" * "RESOL_n@1") ^ (1 / 3)$$

Observa-se, na Figura 29, que o risco de erosão hídrica do solo é inferior a 0,5 em quase toda a área de estudo, basicamente em função das baixas declividades, excetuando a encosta oeste do planalto da Borborema e as bordas das serras potiguares e paraibanas, onde predomina um alto grau de declividade do terreno. Nestas áreas, a susceptibilidade à desertificação é máxima, pelo critério do risco de erosão hídrica. A melhor situação ocorre na porção leste e sudeste devido à boa cobertura vegetal e a presença de solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolo Regolítico, ambos de baixa erodibilidade.

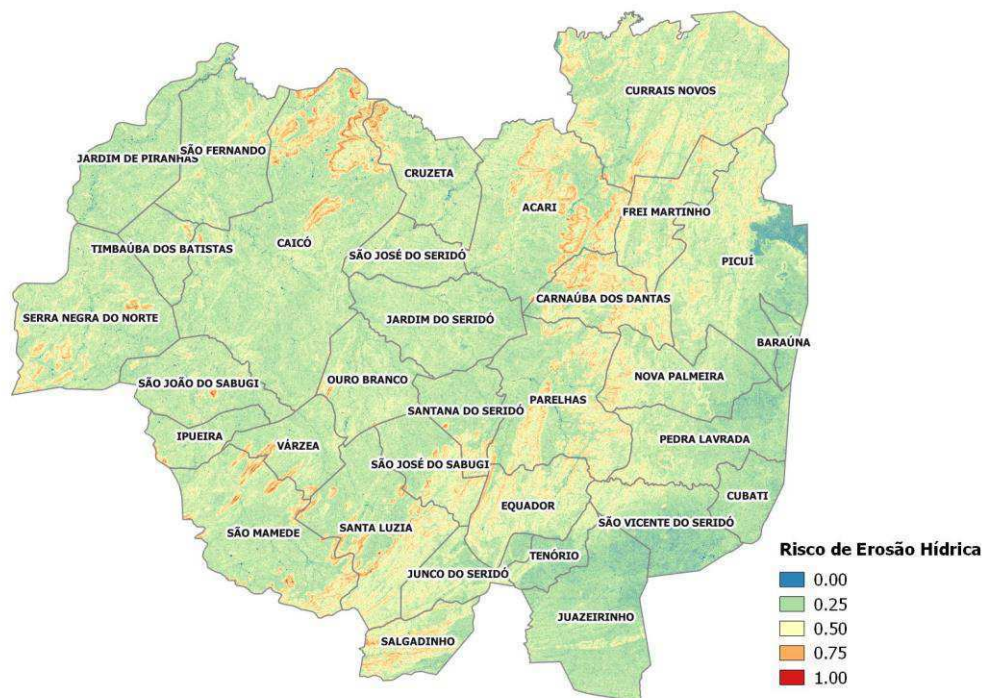


Figura 29: Risco de erosão hídrica no Seridó.  
 Fonte: elaboração própria.

Para uso no cálculo do IMD-E, este indicador foi reamostrado para a resolução de 300m pelo método da interpolação cúbica, disponível na opção Reprojeter Coordenadas no QGIS, e normalizado pela Equação 1 de maximização (REHSOL\_nmax), implementada através da seguinte expressão na calculadora raster:

$$("REHSOL\_300m@1" - 0.097580) / (0.854618 - 0.097580)$$

### Renda per capita rural

Ao lado dos demais indicadores de estado da desertificação, a renda per capita rural (Figura 30) aponta para o grau de susceptibilidade econômica do município à degradação das terras, pois populações rurais com maior renda possuem melhores condições de assegurar o atendimento de suas necessidades básicas sem explorar de forma predatória os recursos naturais de seu entorno.



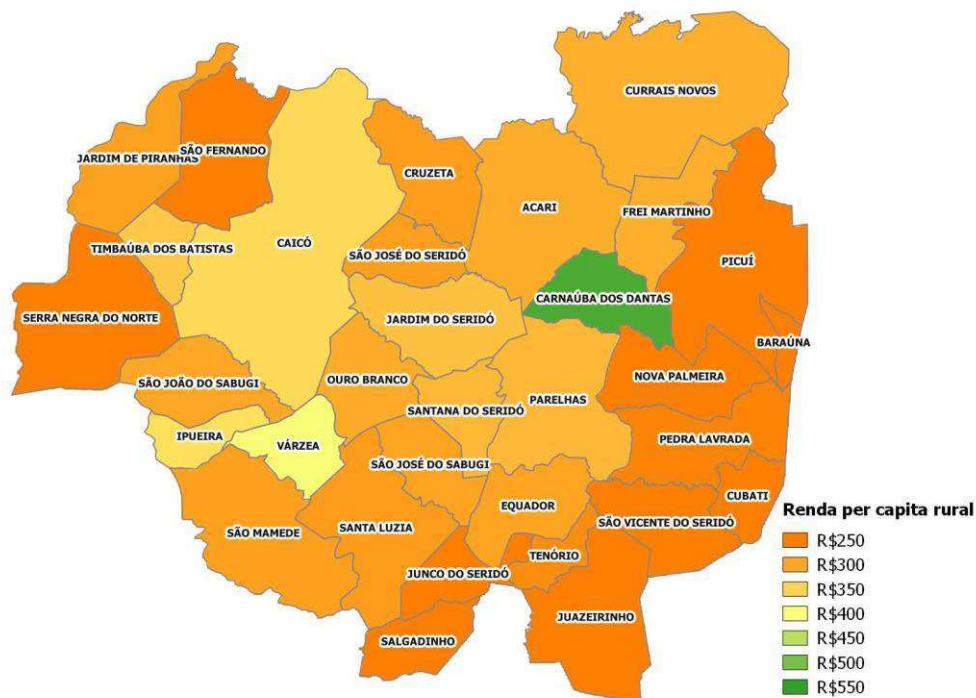


Figura 30: Renda per capita rural no Seridó.  
 Fonte dos dados: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Carnaúba dos Dantas e Várzea representam os municípios com menor predisposição à desertificação, segundo esse critério, pois a renda per capita média de suas populações rurais alcançou, em 2010, os valores de R\$531 e R\$403, respectivamente. Os demais apresentaram maior susceptibilidade, especialmente os municípios de Cubati, Baraúna, Picuí, Serra Negra do Norte, Juazeirinho, São Vicente do Seridó, São Fernando, Junco do Seridó, Nova Palmeira e Salgadinho, todos com renda per capita média inferior a R\$250 na zona rural.

Esse indicador foi normalizado através da Equação 2 de minimização (RPCR2010\_nmin) para uso no cálculo do IMD-E.

### Produtividade das principais culturas temporárias

A produtividade das principais culturas temporárias, como indicador de predisposição à desertificação, foi calculada a partir da relação entre a produção de feijão e milho e suas respectivas áreas colhidas. Uma baixa produtividade vegetal, decorrente da degradação dos solos, torna a área mais susceptível à desertificação. Para minimizar o efeito da chuva no resultado agrícola e, assim, melhor comparar a capacidade produtiva na área de estudo, os valores foram relacionados ao registro pluviométrico de cada município no ano de 2006, mesma data do censo agropecuário utilizado, gerando uma unidade de medida de produtividade de kg/ha/100mm.

A produtividade do feijão (Figura 31) apresentou-se acima de 80 kg/ha/100mm nos municípios de Cubati, Picuí, Juazeirinho e Serra Negra do Norte, o que aponta uma baixa

predisposição à desertificação nessas áreas, à luz deste critério. Em boa parte da região central e sudoeste, a propensão à desertificação é máxima, pois a produtividade cai abaixo dos 40 kg/ha/100mm, chegando a 19,7 kg/ha/100mm em São Fernando.

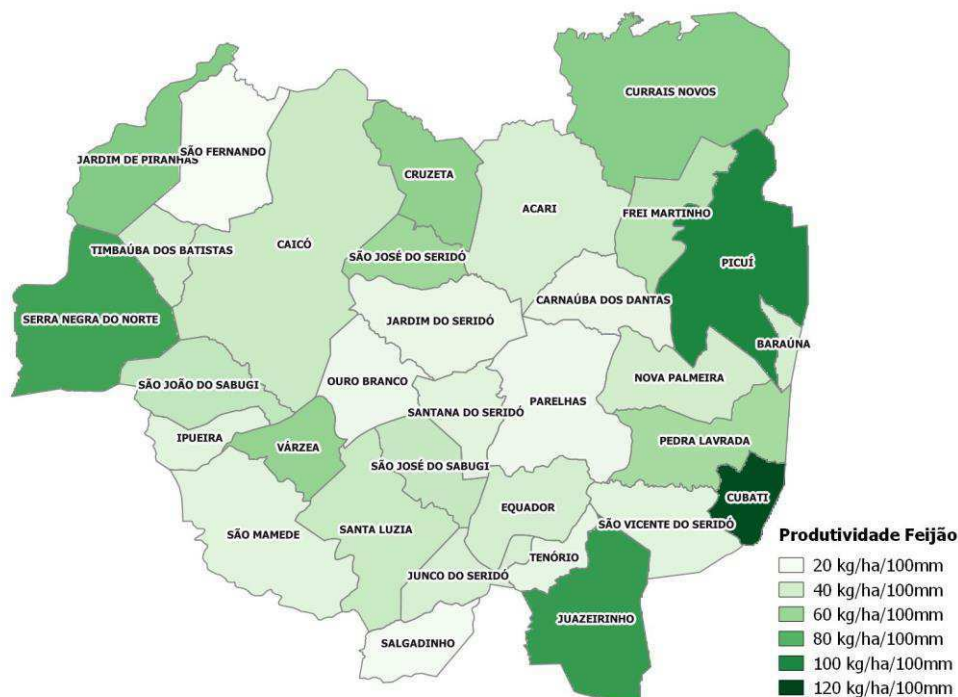


Figura 31: Produtividade das principais culturas temporárias – feijão, no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

No caso do milho (Figura 32), a produtividade teve os máximos registrados nos municípios de Currais Novos, Jardim de Piranhas, Cruzeta, Juazeirinho e Várzea, todos acima de 200 kg/ha/100mm. Observando essas áreas sob o critério da produtividade do milho, é mínima a propensão à desertificação, ao contrário da maior parte da região de estudo onde a produtividade cai abaixo de 100 kg/ha/100mm.

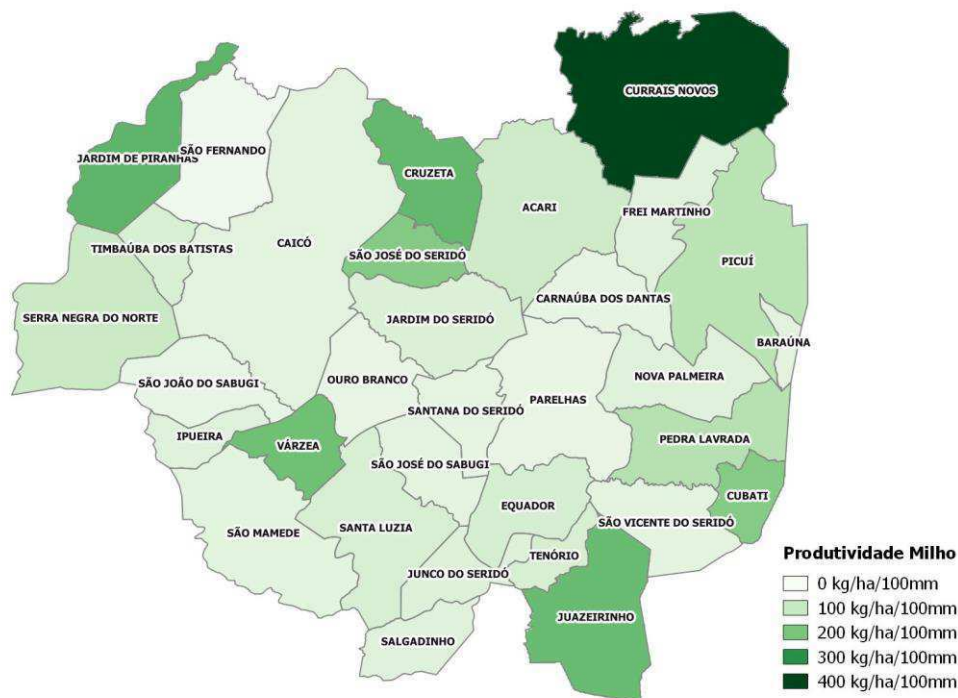


Figura 32: Produtividade das principais culturas temporárias – milho, no Seridó. Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

Para adequação dos dois indicadores ao cálculo do IMD-E, seus valores foram normalizados conforme a Equação 2 de minimização (RCTF2006mm\_nmin e RCTM2006mm\_nmin, respectivamente).

### Densidade de população rural

Entre os fatores que determinam uma maior ou menor susceptibilidade de uma área à desertificação, está a densidade de população rural (Figura 33). Quanto mais indivíduos residem e retiram seu sustento da área rural, maior a possibilidade das práticas não sustentáveis serem utilizadas e promoverem a degradação das terras. O indicador foi calculado pela relação entre a população rural e a área do município, desprezando-se a área da zona urbana.

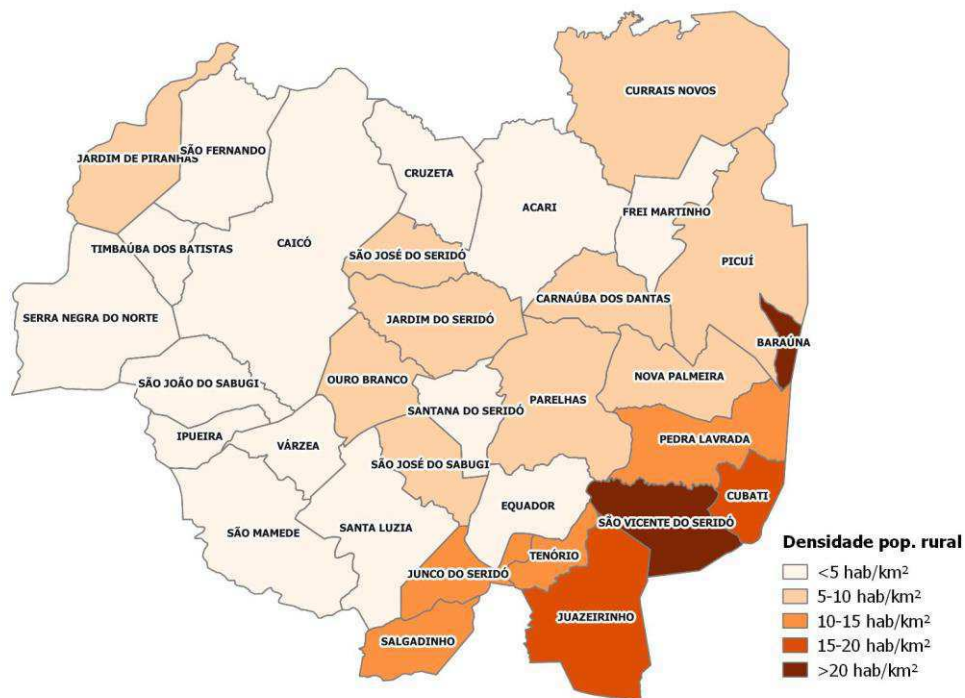


Figura 33: Densidade de população rural no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Nos municípios de Tenório, Pedra Lavrada, Salgadinho, Junco do Seridó, Cubati, Juazeirinho, São Vicente do Seridó e Baraúna, todos no Planalto da Borborema, a densidade de população rural acima de 10 hab/km<sup>2</sup> indica uma maior susceptibilidade à desertificação do que no restante da área de estudo. À luz desse critério, parte das regiões norte e oeste apresentam baixa predisposição à desertificação em decorrência da densidade menor que 5 hab/km<sup>2</sup>.

Pela relação direta com a desertificação, foi utilizada a Equação 1 de maximização (DPRUR\_nmax) para ajuste do indicador ao cálculo do IMD-E.

### Estabelecimentos rurais gerenciados por mulheres

A susceptibilidade ao processo de desertificação foi também estimada pela área dos estabelecimentos rurais gerenciados por mulheres (Figura 34). Este indicador foi sugerido na bibliografia por considerar que as mulheres, guardiãs da família e de grande parte dos conhecimentos tradicionais relacionados ao uso da biodiversidade, desenvolvem práticas mais sustentáveis de uso da terra. Seu cálculo foi efetuado pela relação entre a área dos estabelecimentos rurais sob a direção de mulheres e a área total.

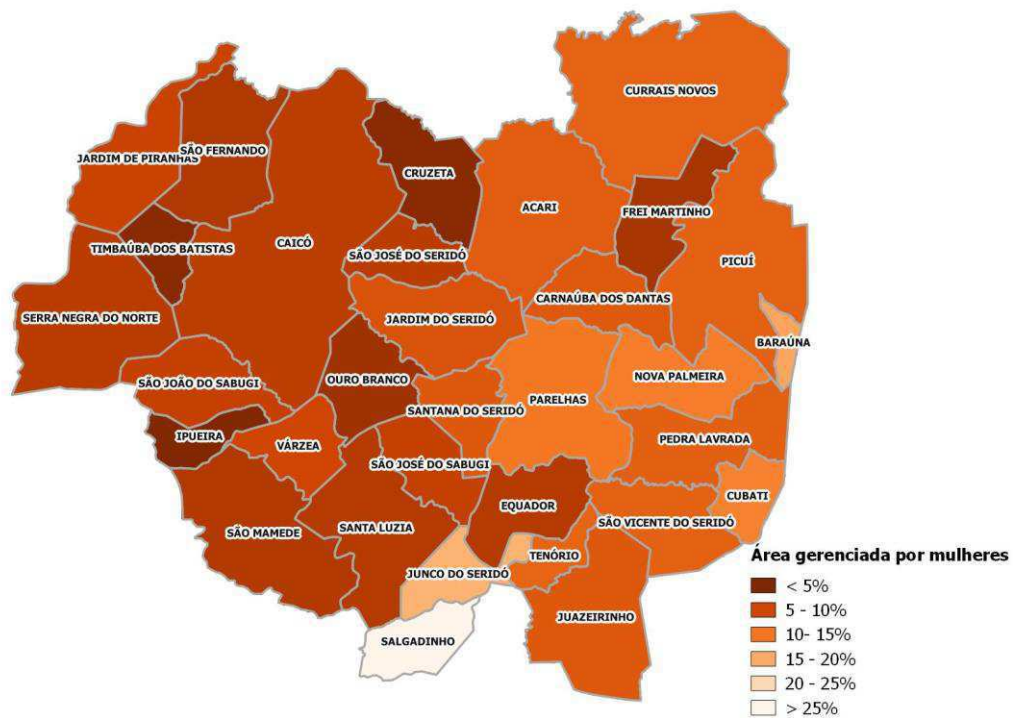


Figura 34: Estabelecimentos rurais gerenciados por mulheres no Seridó.  
 Fonte dos dados: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

Sob a ótica desse indicador, Frei Martinho, Equador e toda a metade oeste da área de estudo, excetuando Várzea, apresentam maior predisposição à desertificação, com percentuais menores que 5%. Os melhores municípios, nesse critério, são Parelhas, Nova Palmeira, Cubati, Baraúna, Junco do Seridó e Salgadinho, todos com mais de 10% da área dos estabelecimentos gerenciados por produtoras rurais, chegando a 29% nesse último.

Para uso no cálculo do IMD-E, sua relação inversa com a desertificação foi ajustada através da Equação 2 de minimização (AEDM<sub>nmin</sub>).

### 5.2.3.2 Resultados do IMD-E

O cálculo do IMD-E foi efetuado com os pesos normalizados apresentados no Quadro 11. Observa-se que, segundo os especialistas, a condição ambiental caracteriza melhor a susceptibilidade de uma área à desertificação do que as condições econômicas e sociais, com pesos equivalentes a 38,7%, 31,1% e 30,2%, respectivamente.

Quadro 11. Indicadores de estado e respectivos planos de informação, pesos brutos (P<sub>i</sub>) e normalizados (p<sub>i</sub>)

Modelo FPEIR	Grupo	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Indicador	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Plano de Informação	P <sub>1</sub> *P <sub>2</sub>
Estado	Condição ambiental	4,1	0,387	Índice de aridez	4	0,201	IARIDEZ_nmin	<b>0,078</b>
				Índice padronizado de precipitação	3,8	0,191	SPI48_nmim	<b>0,074</b>
				Cobertura vegetal	4,3	0,216	CV2015_min	<b>0,084</b>
				Grau de fertilidade do solo	3,7	0,186	GFSOL_nmim	<b>0,072</b>
				Risco de erosão hídrica	4,1	0,206	REHSOL_nmax	<b>0,080</b>
				SOMA	19,9	1,000		
	Condição econômica	3,3	0,311	Renda per capita rural	3,4	0,405	RPCR2010_nmin	<b>0,126</b>
				Produtividade do feijão	2,5	0,298	RCTF2006mm_nmin	<b>0,093</b>
				Produtividade do milho	2,5	0,298	RCTM2006mm_nmin	<b>0,093</b>
				SOMA	8,4	1,000		
	Condição social	3,2	0,302	Densidade de população rural	3,3	0,589	DPRUR_nmax	<b>0,178</b>
				Estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres	2,3	0,411	AEDM_nmin	<b>0,124</b>
				SOMA	5,6	1,000		
	SOMA		10,6	1,000	SOMA			<b>1,000</b>

Os comandos executados na interface de usuário do GRASS para cálculo dos fluxos de importância positivo (Estado+.tif), negativo (Estado -.tif), líquido (Estado.tif) e normalização do índice (IMD-E) podem ser observados no Apêndice 4. O arquivo final do índice foi também exportado para o SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade (Quadro 12), e para o QGIS, onde foi apresentado sob os planos de informação dos espelhos d'água e rede de drenagem (Mapa 3).

700000

750000

800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 3

### Índice Multicriterial de Desertificação do Estado atual (susceptibilidade)

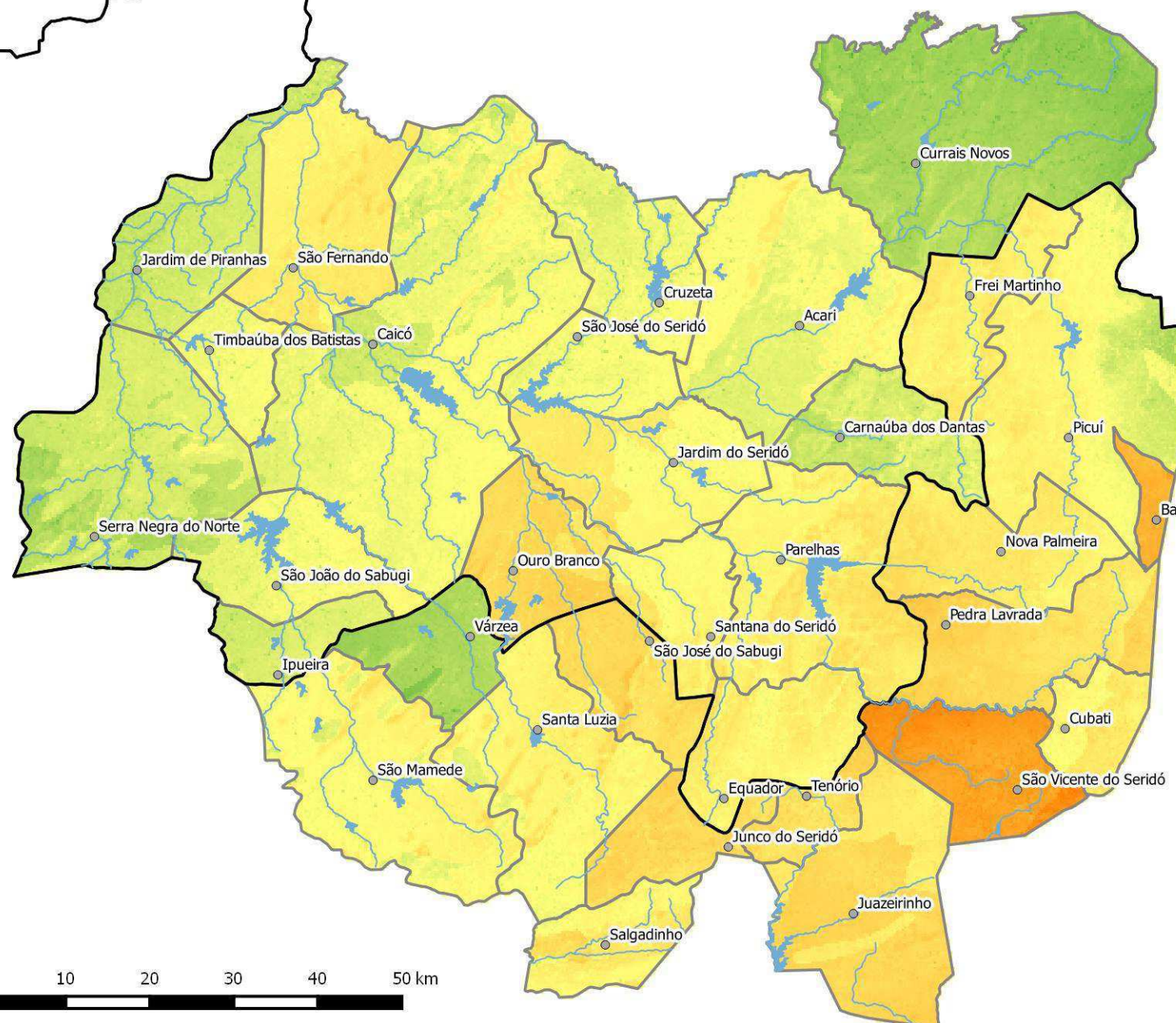
RN

PB

9300000

9250000

9200000



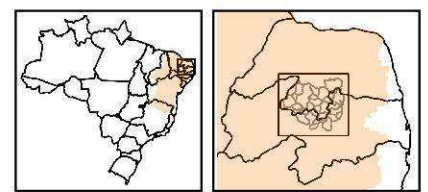
#### IMD-E

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- Açudes



Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S

Por se tratar de um índice calculado em função de 10 indicadores discretos ou continuamente distribuídos, a análise da influência direta de cada um deles passa a ser uma tarefa de difícil execução. Aqui fica explícita a utilidade do processo de avaliação integrada dos indicadores proposto no presente estudo. Através do método de análise de decisão multicritério selecionado, foi possível a elaboração do indicador síntese IMD-E, que retratou, a despeito da quantidade e complexidade dos indicadores, a susceptibilidade da área ao processo de desertificação.

Não obstante, alguns resultados chamam a atenção e servem como casos demonstrativos da utilização do IMD-E, a exemplo de Baraúna e São Vicente do Seridó, onde foram registrados simultaneamente elevados índices de aridez e de seca, baixa renda per capita rural, baixa produtividade nas culturas de feijão e milho e as maiores densidades de população rural. Tais coincidências definiram os citados municípios como os mais propensos ao processo de desertificação, a despeito dos valores registrados para os demais indicadores.

Reduzir a susceptibilidade nessa área implica em intervir na melhoria desses indicadores. Dentre os fatores relacionados, a aridez e a seca representam fenômenos naturais contra os quais nenhuma medida de combate pode ser praticada a não ser de mitigação de seus efeitos. Já para a baixa renda per capita rural, programas de geração ou transferência de renda podem ser implementados de modo a reduzir a vulnerabilidade econômica da população. A presença de grandes contingentes populacionais na zona rural, por si só, não representa risco de desertificação se as práticas agrícolas adotadas forem adequadas. Aqui cabe a ação dos governos e organizações da sociedade civil para construção de diálogos e troca de saberes com vistas ao desenvolvimento local sustentável.

Currais Novos e Várzea, em situação oposta, registraram os menores valores do IMD-E, contudo, uma avaliação visual das principais influências, que os levaram a essa condição, tornou-se complexa em virtude da grande variabilidade de valores dos indicadores nesses municípios.

Outro indicador que pôde ter sua influência observada foi o grau de fertilidade natural do solo. Nota-se que sua variação é sutilmente refletida no índice, especialmente em Serra Negra do Norte, entorno da cidade de Caicó, leste de Picuí, Pedra Lavrada, Cubati e São Vicente do Seridó, em Juazeirinho e numa faixa central da área de estudo que corta os municípios de Jardim do Seridó, Ouro Branco, Santana do Seridó e São José do Sabugi, onde o valor do índice sofre mudanças visualmente perceptíveis.



A influência dos maiores valores do risco de erosão hídrica do solo, um indicador composto pela declividade, textura do solo e cobertura vegetal, também é notada no resultado do índice. A região da fronteira de São Mamede com Várzea e Santa Luzia, pontuada por diversas serras com risco muito forte, e toda a encosta oeste do planalto da Borborema, com risco moderado e forte, representam as áreas com aumento visível do índice, para as quais medidas de recuperação da cobertura vegetal devem ser conduzidas para minimizar este fator de susceptibilidade e, assim, reduzir o IMD-E.

O cálculo das áreas ocupadas por cada categoria de severidade do IMD-E (Quadro 12) revela que 83,0% da região de estudo está submetida à níveis moderado, forte e muito forte de propensão à desertificação, indicando a necessidade de ações preventivas para conter o início ou o agravamento do processo na maior parte da região.

Quadro 12. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-E

Índice	Área Total	Muito fraco (0 - 0,2)		Fraco (0,2 - 0,4)		Moderado (0,4 - 0,6)		Forte (0,6 - 0,8)		Muito forte (0,8 - 1)	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD-E	11.186	26	0,2	1.880	16,8	7.400	66,2	1.593	14,2	287	2,6

O IMD-E, tal como proposto no presente estudo, assemelha-se ao ESI (*Environmental Sensitivity Index*), desenvolvido por Salvati *et al.* (2013) no âmbito do projeto DESERTLINKS. As diferenças concentram-se na lista utilizada de indicadores, na definição a priori de classes em substituição ao valor real do indicador, e no método de cálculo dos índices através de média geométrica. O objetivo dos dois índices, no entanto, é o mesmo, ou seja, avaliar a susceptibilidade de uma área ao processo de desertificação.

#### 5.2.4 IMD-I: índice multicriterial de desertificação dos impactos

O índice IMD-I representa o quanto as consequências da desertificação estão impactando a área de estudo. Os valores mais expressivos indicam as regiões onde a migração do campo para a cidade e a redução da renda da atividade agropecuária se manifestaram de maneira mais intensa. Conforme árvore hierárquica (Figura 8), os seguintes indicadores foram utilizados para o seu cálculo.

### 5.2.4.1 Indicadores de impacto

#### Taxa de migração do campo para a cidade

Um dos impactos mais visíveis da degradação das terras é a migração da população rural para as cidades. Com a produtividade agrícola e pecuária já reduzidas e sem acesso à quantidade de terra necessária à manutenção da família, habitantes da zona rural são levados a abandonar seus hábitos de vida e migrar para as cidades. Para estimar esse fluxo migratório, foi calculada a variação entre os percentuais de população rural dos dois últimos censos demográficos (Figura 35).

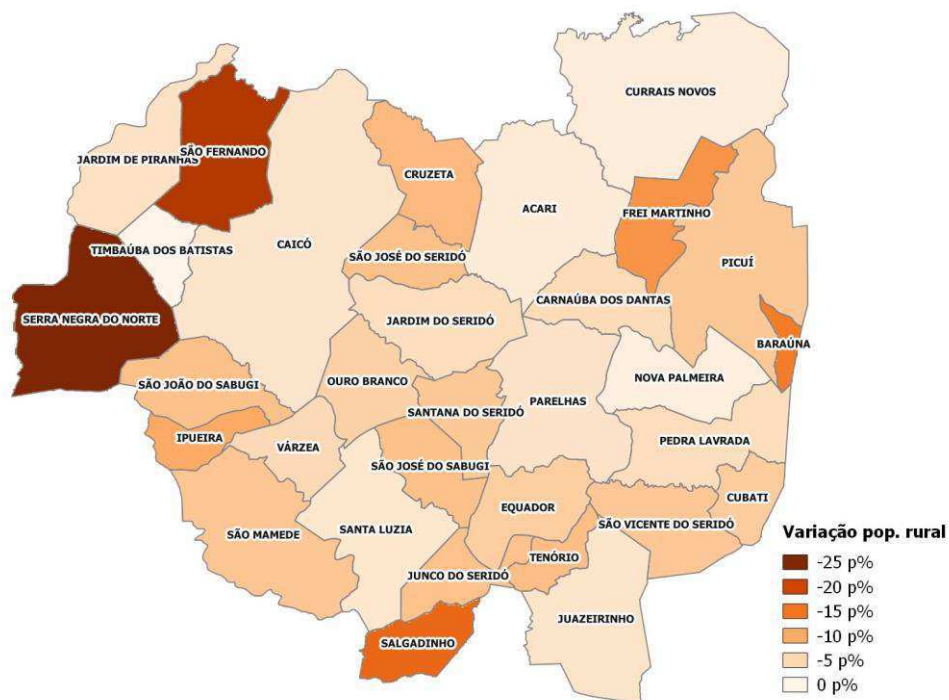


Figura 35: Taxa de migração do campo para a cidade no Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE, Censos Demográficos 2000 e 2010.

Nos municípios de Serra Negra do Norte, São Fernando, Salgadinho, Baraúna e Frei Martinho, a redução na população rural foi maior que 10 pontos percentuais no período de 2000 a 2010. Na direção contrária, o impacto da desertificação, à luz desse indicador, foi menor nos municípios de Juazeirinho, Caicó, Santa Luzia, Acari, Currais Novos e Nova Palmeira, onde a redução foi menor que 3 pontos percentuais. Timbaúba dos Batistas foi o único município que apresentou acréscimo na população rural no período, embora de apenas 1 ponto percentual.

Este indicador foi ajustado pela Equação 2 de minimização (VPR10\_nmin) para uso no cálculo do IMD-I.

## Varição do valor adicionado da agropecuária no PIB

Um dos impactos da desertificação apontado na literatura é a queda na renda auferida pelo trabalho na atividade rural. A degradação da terra, refletida na redução da produtividade vegetal e animal, perda de biodiversidade e diminuição da atividade extrativista, compromete a renda do agricultor e demais trabalhadores rurais. Para estimar este impacto, foi utilizada a variação da participação do valor adicionado da agropecuária no PIB do município (Figura 36), calculada pela inclinação da reta de regressão linear (tendência) da série de dados de 1999 a 2012, normalizada para 100mm de chuva, de modo a minimizar o efeito da precipitação pluviométrica no resultado da agropecuária.

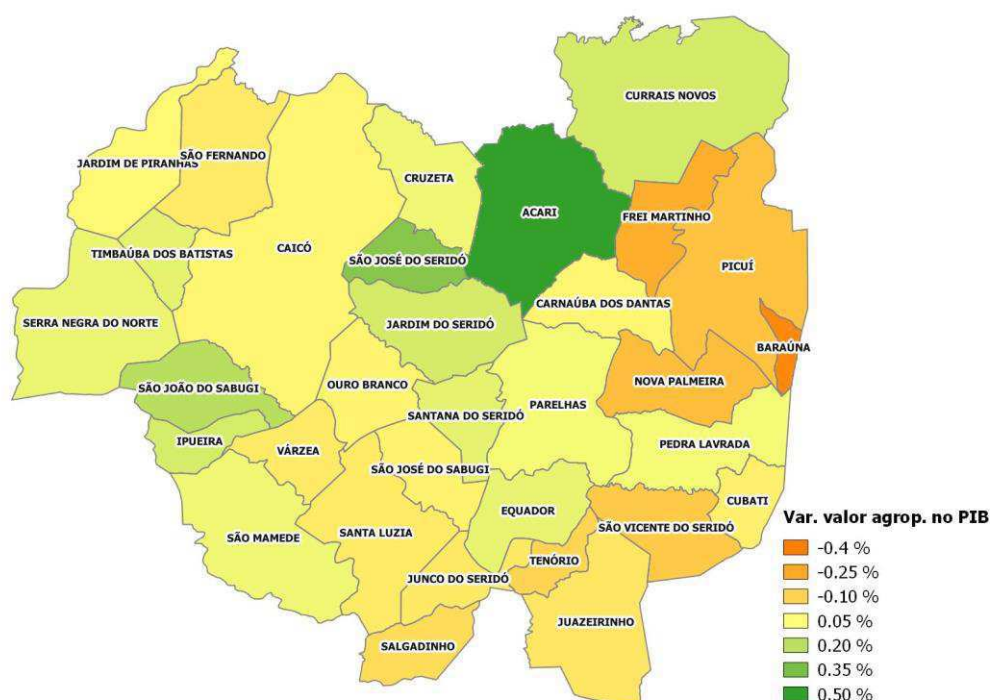


Figura 36: Variação do valor adicionado da agropecuária no PIB do Seridó.  
Fonte dos dados: IBGE.

Observam-se, à luz desse indicador, as consequências da desertificação na renda do trabalhador rural, representadas pelas tendências de quedas anuais de até 0,36% na participação do valor adicionado da agropecuária no PIB, ao longo dos 14 anos da série de dados, especialmente nos municípios de Baraúna, Frei Martinho, Nova Palmeira, Picuí e São Vicente do Seridó. Em diversos outros municípios, principalmente São João do Sabugi, São José do Seridó e Acari, os dados não apresentaram correlação com o processo de degradação das terras, visto que a tendência observada foi de crescimento anual de até 0,5%. Tal comportamento deve ter explicação em outros mecanismos socioeconômicos não relacionados à desertificação e, portanto, não abordados no presente estudo.

Para utilização no cálculo do IMD-I, o indicador foi normalizado através da Equação 2 de minimização (VVA<sub>Amm\_nmin</sub>).

### 5.2.4.2 Resultados do IMD-I

Os seguintes pesos normalizados (Quadro 13) foram utilizados para processamento dos planos de informação. Segundo os especialistas consultados via questionário, a variação do PIB agropecuário caracteriza ligeiramente melhor os impactos da desertificação do que a migração da área rural, com pesos equivalentes a 53% e 47%, respectivamente.

Quadro 13. Indicadores de impacto e respectivos planos de informação, pesos brutos (P<sub>i</sub>) e normalizados (p<sub>i</sub>)

Modelo FPEIR	Grupo	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Indicador	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Plano de Informação	p <sub>1</sub> *p <sub>2</sub>
Impacto	Taxa de migração do campo para a cidade	3,1	0,470	-	-	-	VPR10_nmin	<b>0,470</b>
	Variação da participação da agropecuária no PIB	3,5	0,530	-	-	-	VVAmm_nmin	<b>0,530</b>
	SOMA	6,6	1,000		SOMA			<b>1,000</b>

Os comandos executados na interface de usuário do GRASS para cálculo dos fluxos de importância positivo (Impacto+.tif), negativo (Impacto-.tif), líquido (Impacto.tif) e normalização do índice (IMD-I) podem ser observados no Apêndice 4. O arquivo final do índice foi também exportado para o SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade (Quadro 14), e para o QGIS, onde foi apresentado sob os planos de informação dos espelhos d'água e rede de drenagem (Mapa 4).

700000

750000

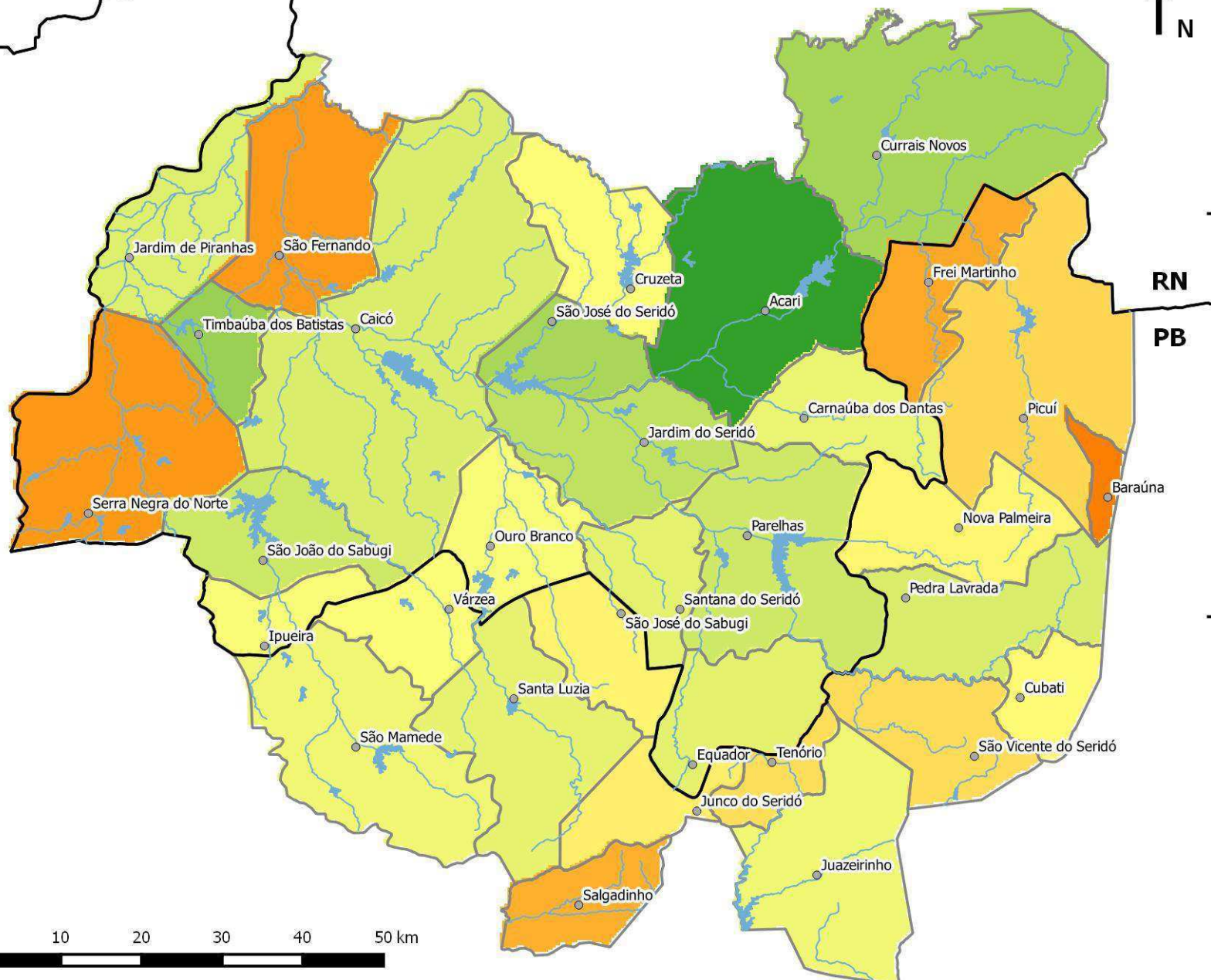
800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 4 Índice Multicriterial de Desertificação dos Impactos (consequências)



9300000

RN

PB

9250000

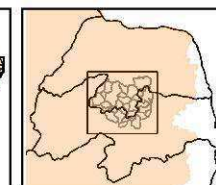
9200000

#### IMD-I

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- Açudes

Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S



O IMD-I, calculado através de dois indicadores discretos, reflete diretamente os dados obtidos dos censos demográfico e agropecuário. O município de Baraúna registra o valor máximo, em função da elevada migração e da maior redução da atividade agropecuária, seguido de Serra Negra do Norte, São Fernando, Frei Martinho e Salgadinho, todos acima de 0,8 (muito forte). Na extremidade oposta, como único município na categoria muito fraco, encontra-se Acari, em função da baixa migração e maior acréscimo da participação da agropecuária no PIB. Os municípios de Timbaúba dos Batistas, Currais Novos, São José do Seridó, Jardim do Seridó, São João do Sabugi e Parelhas representam a categoria fraco, com IMD-I variando de 0,26 a 0,39.

Reduzir as fortes migrações do campo para a cidade e melhorar o rendimento da atividade agropecuária para, assim, reduzir as consequências da desertificação, exigirá da sociedade atacar as causas estruturais e diretas do processo, ou seja, a concentração de terras, desigualdade social no campo, desmatamento e o manejo inadequado da terra. Algumas ações de mitigação também podem ser implementadas, como a proteção social dessa população camponesa que ocupa a periferia das cidades, a complementação da renda daqueles que permanecem no campo, apesar das dificuldades, e a implantação de medidas locais de recuperação de áreas degradadas.

Observando-se toda a área de estudo, 73,5% de sua extensão foi classificada com IMD-I moderado, forte ou muito forte, indicando a necessidade de ações de mitigação das consequências do processo de desertificação na maior parte da região.

Quadro 14. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-I

Índice	Área Total	Muito fraco (0 - 0,2)		Fraco (0,2 - 0,4)		Moderado (0,4 - 0,6)		Forte (0,6 - 0,8)		Muito forte (0,8 - 1)	
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD-I	11.186	609	5,4	2.353	21,0	5.777	51,6	1.046	9,4	1.401	12,5

### 5.2.5 IMD-R: índice multicriterial de desertificação das respostas

Ao processar os planos de informação relativos às respostas da sociedade, foi possível observar como a área de estudo está sendo beneficiada com as ações relacionadas ao combate à desertificação e mitigação de seus efeitos. Os valores menos expressivos do índice indicam que as iniciativas da sociedade civil e do poder público propiciam o enfrentamento do problema de forma mais efetiva que nas demais áreas. A seguir, os indicadores utilizados para a formulação do IMD-R, conforme Figura 8, são apresentados e comentados, individualmente.

### 5.2.5.1 Indicadores de resposta

#### Organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável

Pelo lado da sociedade civil, a organização social é percebida como uma importante resposta ao processo da desertificação na medida em que agrega, especialmente na zona rural, interesses comuns de desenvolvimento e conservação das condições locais de produção agropecuária ou extrativista. O associativismo, o cooperativismo e a organização sindical tendem a estabelecer o interesse coletivo como prioritário, em detrimento dos interesses particulares. Este indicador foi obtido a partir da contagem do número de organizações sociais ativas na área de estudo para cada grupo de 1000 habitantes rurais (Figura 37).

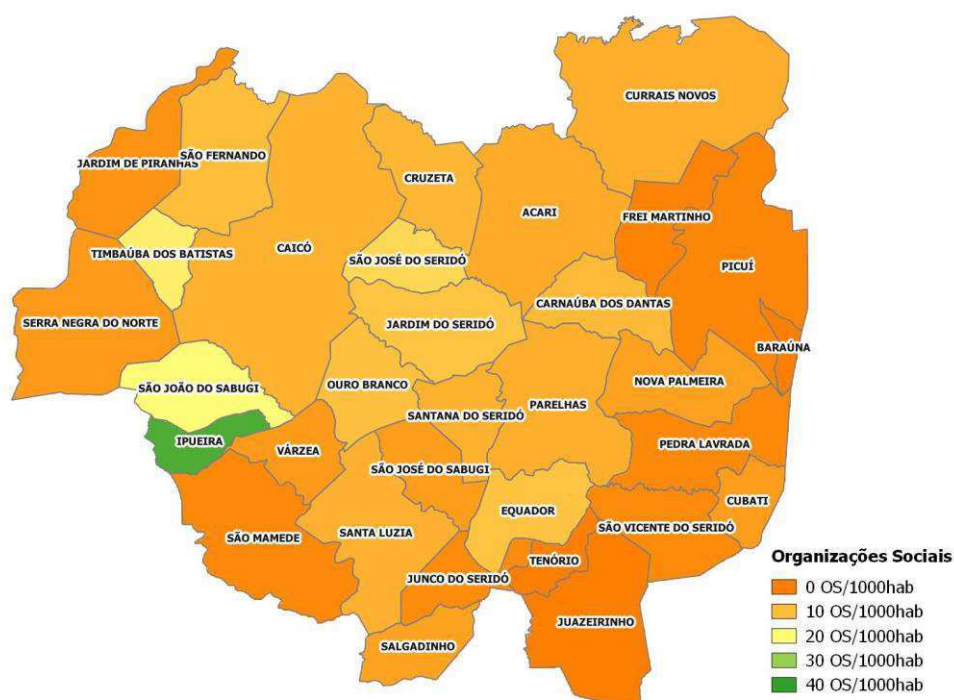


Figura 37: Organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.  
Fonte dos dados: Projeto RN Sustentável e Projeto Cooperar/PB.

À exceção de Ipueira, São João do Sabugi, Timbaúba, São José do Seridó, Jardim do Seridó, Equador e Ouro Branco, todos os demais municípios da área de estudo registram quantidade de organizações sociais por 1000 habitantes rurais menor que 10 (dez), sugerindo uma baixa organização comunitária para fazer frente aos desafios impostos pela degradação das terras e para negociação coletiva junto aos órgãos do poder público encarregados do desenvolvimento local sustentável.

Este indicador foi ajustado para o uso no cálculo do IMD-R através da Equação 2 de minimização (NONG\_nmin).

## Domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água

Os impactos sociais da desertificação podem ser mitigados através de ações de combate à fome, de geração de emprego e renda, de acesso à água, entre outras. A presença de tecnologias sociais de acesso à água (cisternas de consumo e produção, barragem subterrânea, barreiro trincheira, tanque de pedra) reduz os impactos sociais da desertificação. Para fins do presente estudo, o percentual de domicílios rurais atendidos com tecnologias de acesso à água foi utilizado como indicador de resposta da sociedade para o fenômeno (Figura 38).

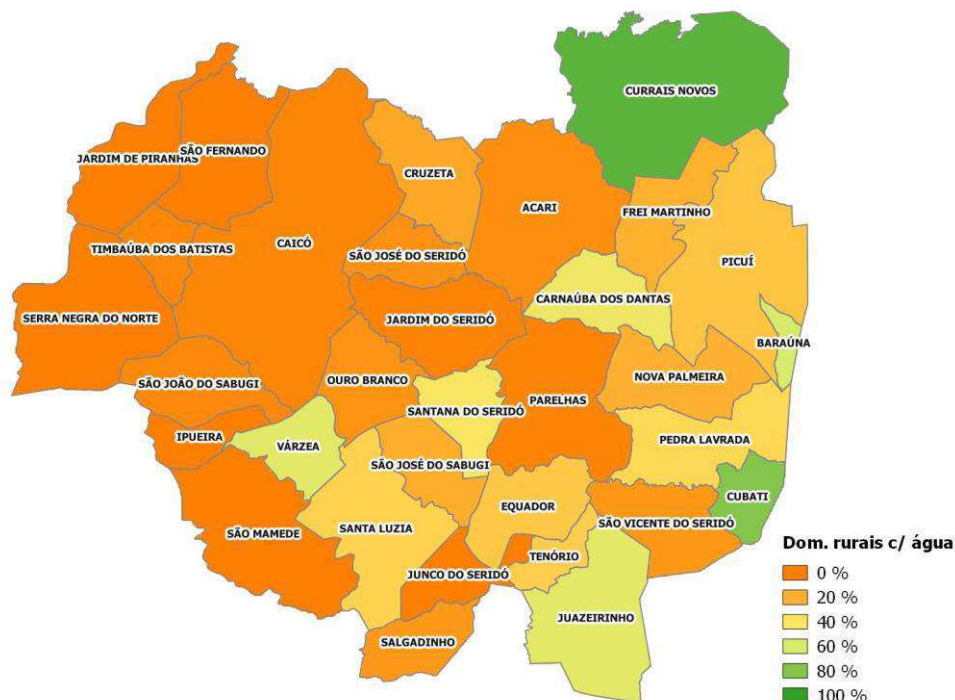


Figura 38: Domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água no Seridó.  
Fonte dos dados: MDS, Programa Cisternas e IBGE, Censo Demográfico 2010.

Observa-se que, na maior parte dos municípios, o percentual de cobertura não atinge 20% dos domicílios rurais, indicando uma baixa ação local de mitigação dos efeitos da degradação das terras. A situação é mais confortável nos municípios de Juazeirinho, Várzea, Baraúna, Cubati e Currais Novos, onde o atendimento ultrapassa 50%, atingindo 89% neste último.

Para adequação do indicador ao cálculo do IMD-R, foi utilizada a Equação 2 de minimização (DTSAA<sub>nmin</sub>).

## Organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável

Em meio às respostas construídas pelo poder público para enfrentamento do problema da desertificação, encontra-se a estruturação de secretarias municipais e instituições federais e estaduais de ensino e pesquisa (Figura 39). Entre as secretarias,



foram selecionadas e contabilizadas aquelas cujas denominações indicam, total ou parcialmente, a preocupação com o desenvolvimento rural sustentável ou à gestão do meio ambiente. Do lado do ensino e pesquisa, foram identificadas e quantificadas as instalações técnicas e universitárias que mantêm cursos com alguma vocação à gestão sustentável do meio ambiente.

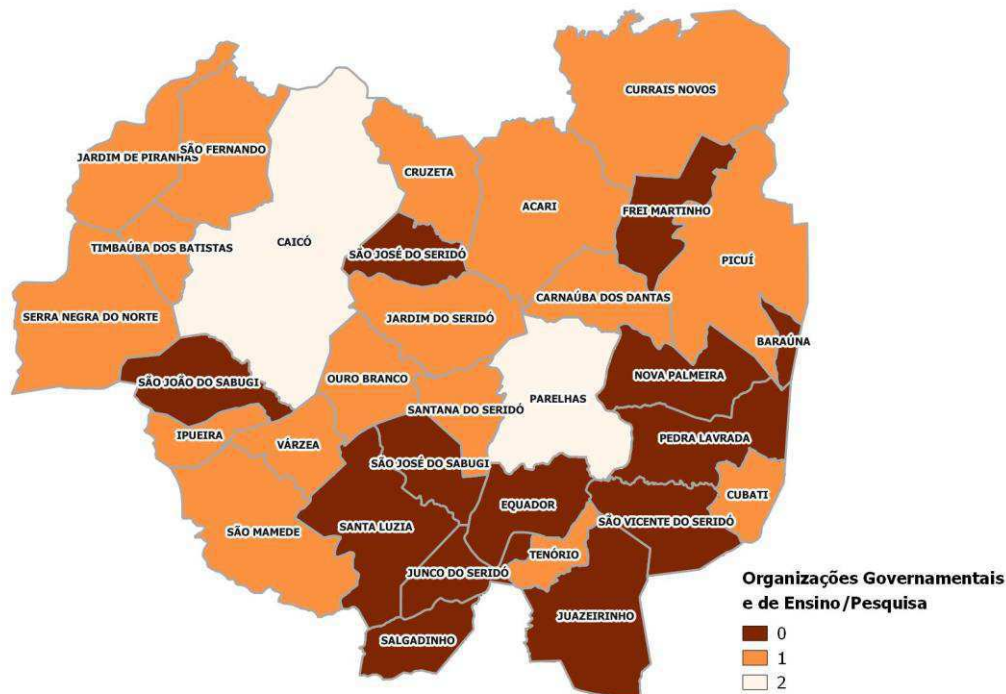


Figura 39: Organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.

Fonte dos dados: Portais dos governos municipais e das instituições de ensino e pesquisa.

Sob o ponto de vista da organização do poder público, os dois melhores municípios são Caicó e Parelhas. O primeiro possui uma Secretaria do Meio Ambiente e um campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte com curso relacionado ao desenvolvimento rural sustentável (Geografia). Apesar de também abrigar campus da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), estes não possuem cursos com as características citadas. Parelhas, por sua vez, possui uma Secretaria de Agricultura, Meio Ambiente e Pesca além de um campus do IFRN com o curso Mineração. Os municípios identificados com apenas uma instituição pública possuem, em suas estruturas administrativas, uma secretaria com vocação para o desenvolvimento rural sustentável. Currais Novos, embora abrigue também um campus do IFRN, este não tem curso com preocupações ambientais. Picuí, outro caso do mesmo grupo, possui campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) com cursos vocacionados ao desenvolvimento rural sustentável (Agroecologia, Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, Mineração e Geologia) mas não uma secretaria com a mesma característica.

Todos os demais municípios, identificados na Figura 39 com nenhuma estrutura pública, representam aqueles cujas capacidades institucionais de resposta aos problemas ambientais são as piores.

Os dados foram normalizados e ajustados para uso no cálculo do IMD-R através da Equação 2 de minimização (NOGIP\_nmin).

### Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável

Ainda como resposta do poder público ao problema da desertificação, encontram-se em execução diversos planos, programas e projetos de desenvolvimento rural sustentável, em nível estadual e regional, financiados com recursos públicos. No estado do Rio Grande do Norte, três iniciativas foram identificadas: Programa Semiárido Potiguar, Plano de Desenvolvimento Territorial Rural Sustentável do Seridó e RN Sustentável - Projeto Integrado de Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Norte. Já no estado da Paraíba, foram duas as ações identificadas: PROCASE - Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Cariri, Seridó e Curimataú e Paraíba Rural Sustentável. Não foram identificados planos e programas na esfera municipal. Este indicador foi construído a partir da quantificação dos programas existentes (Figura 40).

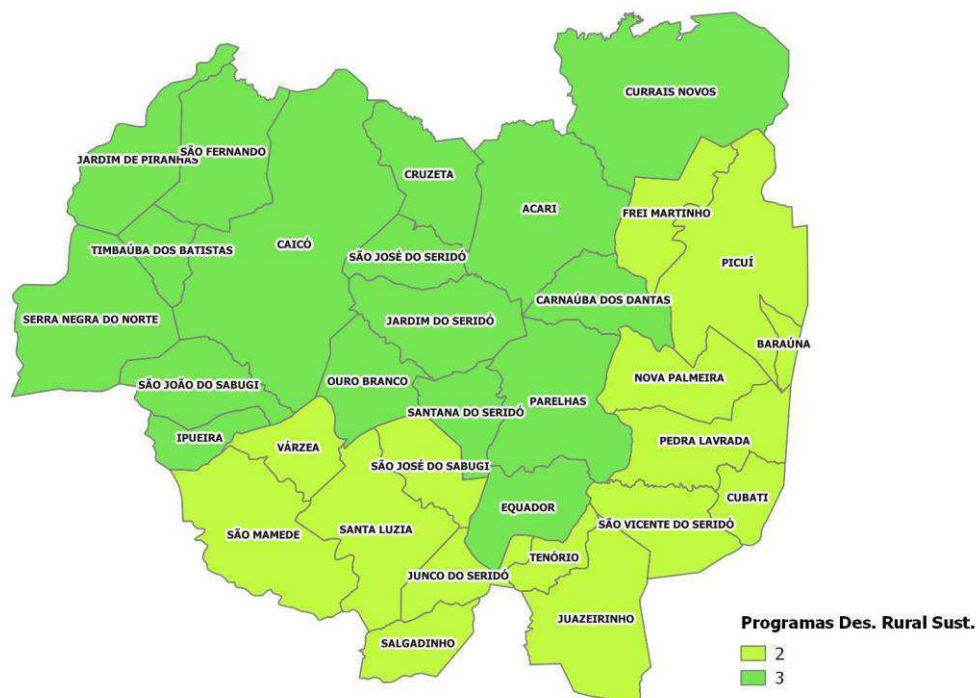


Figura 40: Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável no Seridó.  
Fonte dos dados: Portais dos governos estaduais e municipais.

Observa-se que a diferença entre os municípios reside na ação dos governos estaduais, onde o Rio Grande do Norte se apresenta em melhores condições, com três programas ativos contra dois na Paraíba.

Para uso no cálculo do IMD-R, o indicador foi ajustado através da Equação 2 de minimização (NPDRS\_nmin).

### Variação das transferências governamentais de renda

O combate à pobreza na zona rural vem sendo enfrentado com diversas ações, entre elas, o aumento das transferências de renda através de programas sociais e o acesso à aposentadoria pelos trabalhadores rurais, por força da lei nº 8.213/1991. Observa-se que a participação da renda obtida pelo trabalho na renda total do trabalhador caiu sistematicamente na medida em que as transferências dos governos, em especial da União, passaram a atender um contingente populacional cada vez maior.

Para capturar essa realidade como resultado da ação do poder público de combate à pobreza e, conseqüentemente, à degradação ambiental, a variação da participação das transferências governamentais registradas nos censos demográficos de 2010 e 1991 (Figura 41) foi utilizada como indicador de resposta. Esta participação foi calculada pelo complemento (1-valor) da participação do trabalho na renda domiciliar per capita, por entender que os demais rendimentos componentes da renda são majoritariamente representados pelas transferências governamentais.

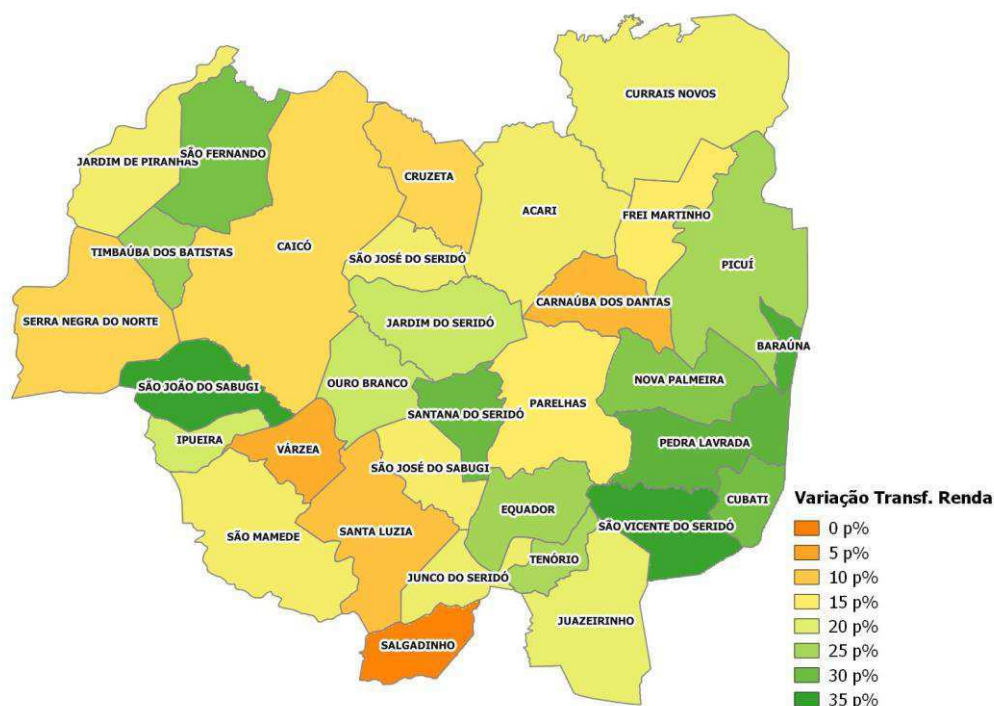


Figura 41: Variação da participação das transferências governamentais de renda no Seridó.  
Fonte dos dados: PNUD, Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.

Observa-se que a ação do poder público de complementação de renda através de transferências diretas, no período de 1991 a 2010, foi mais intensa nos municípios de Santana do Seridó, Pedra Lavrada, Baraúna, São Vicente do Seridó e São João do Sabugi, onde a participação das transferências na renda aumentou em até 34,5 pontos percentuais.

Situação oposta foi verificada nos municípios de Salgadinho, Várzea, Carnaúba dos Dantas e Santa Luzia, onde a variação não alcançou 10 pontos percentuais.

À luz desse indicador, pode-se dizer que os primeiros municípios citados vivenciam medidas mitigadoras mais expressivas contra os impactos da desertificação dado que a baixa renda vem sendo compensada por transferências governamentais que tornaram a população menos dependente dos recursos naturais de seu entorno. Tal ação pública não alcançou os demais municípios na mesma intensidade, especialmente aqueles onde o aumento da participação das transferências ficou abaixo dos 20 pontos percentuais, ou em razão da renda per capita já se encontrar em níveis relativamente melhores ou por falta de mobilização do poder público local para inclusão da população mais carente nos programas oficiais de transferência de renda.

Para adequação da relação inversa com a desertificação e uso no cálculo do IMD-R, o indicador foi normalizado através da Equação 2 de minimização (VPTR10-91\_nmin).

#### Nível de proteção por unidade de conservação.

Como ação local de proteção do meio ambiente, foi investigada a existência de unidades de conservação na região de estudo. Apenas duas áreas foram identificadas: Estação Ecológica do Seridó, no município de Serra Negra do Norte, e pequena parte da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Salobro, ao norte do município de Caicó, invisível na escala da ilustração a seguir. Diferentes níveis de proteção foram atribuídos às unidades, dependendo de sua natureza: proteção integral, para a estação ecológica, e uso sustentável, para a RPPN. Às demais áreas da região de estudo foi atribuído o nível nulo de proteção (Figura 42).

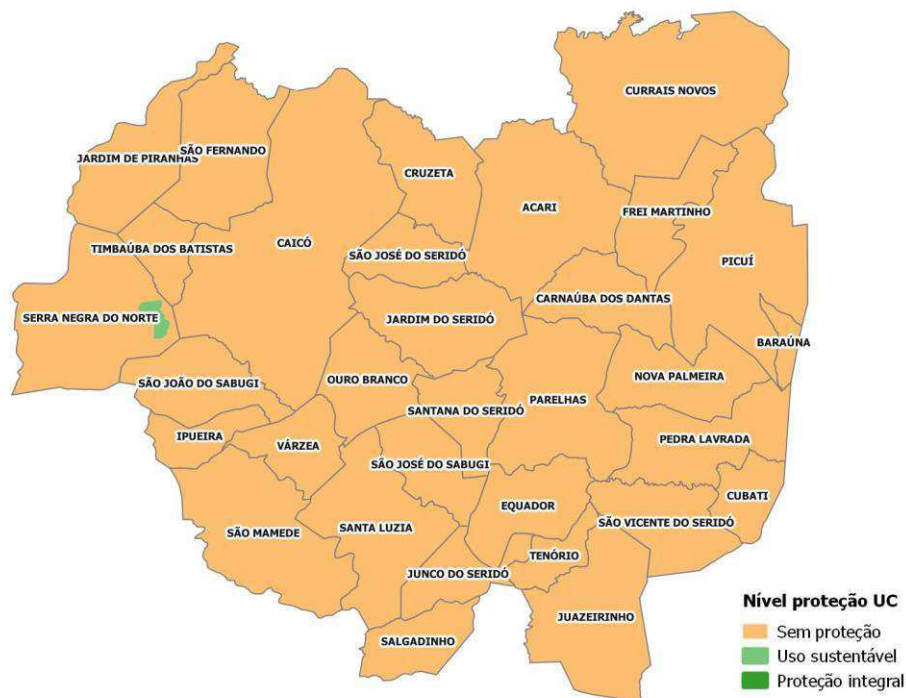


Figura 42: Nível de proteção por unidade de conservação no Seridó.  
 Fonte dos dados: MMA, Cadastro Nacional de Unidades de Conservação.

À luz desse indicador, apenas a área abrangida pela Estação Ecológica do Seridó recebeu a proteção máxima como resposta ao processo de degradação das terras. Todo o restante da área de estudo, exceto a pequena parte de RPPN citada, não possui qualquer ação de proteção ambiental registrada no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000).

Para ajustar o indicador ao cálculo do IMD-R, foi aplicada a Equação 2 de minimização (NPUC<sub>nmin</sub>).

### 5.2.5.2 Resultados do IMD-R

Os pesos normalizados de importância dos diversos indicadores são apresentados no Quadro 15. Observa-se que, na opinião dos especialistas, a organização do poder público e da sociedade civil caracterizam de maneira semelhante as respostas ao processo de desertificação, com pesos equivalentes a 49,3% e 50,7%, respectivamente.

Quadro 15. Indicadores de resposta e respectivos planos de informação, pesos brutos (P<sub>i</sub>) e normalizados (p<sub>i</sub>)

Modelo FPEIR	Grupo	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Indicador	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Plano de Informação	P <sub>1</sub> *P <sub>2</sub>
Resposta	Organização do poder público	3,7	0,493	Organismos governamentais e instituições de pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável	3,6	0,243	NOGIP_nmin	<b>0,120</b>
				Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável	4	0,270	NPDRS_nmin	<b>0,133</b>
				Programas de transferência de renda	3,4	0,230	VPTR10-91_nmin	<b>0,113</b>
				Nível de proteção por unidade de conservação.	3,8	0,257	NPUC_nmin	<b>0,127</b>
				SOMA	14,8	1,000		
	Organização da sociedade civil	3,8	0,507	Organizações não-governamentais dedicadas ao desenvolvimento rural	3,6	0,493	NONG_nmin	<b>0,250</b>
				Famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água	3,7	0,507	DTSAA_nmin	<b>0,257</b>
				SOMA	7,3	1,000		
	SOMA	7,5	1,000	SOMA				<b>1,000</b>

Os comandos executados na interface de usuário do GRASS para cálculo dos fluxos de importância positivo (Resposta+.tif), negativo (Resposta-.tif), líquido (Resposta.tif) e normalização do índice (IMD-R) podem ser observados no Apêndice 4. O arquivo final do índice foi exportado para o SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade (Quadro 16), e para o QGIS, onde foi apresentado sob os planos de informação dos espelhos d'água e rede de drenagem (Mapa 5).

700000

750000

800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 5 Índice Multicriterial de Desertificação das Respostas

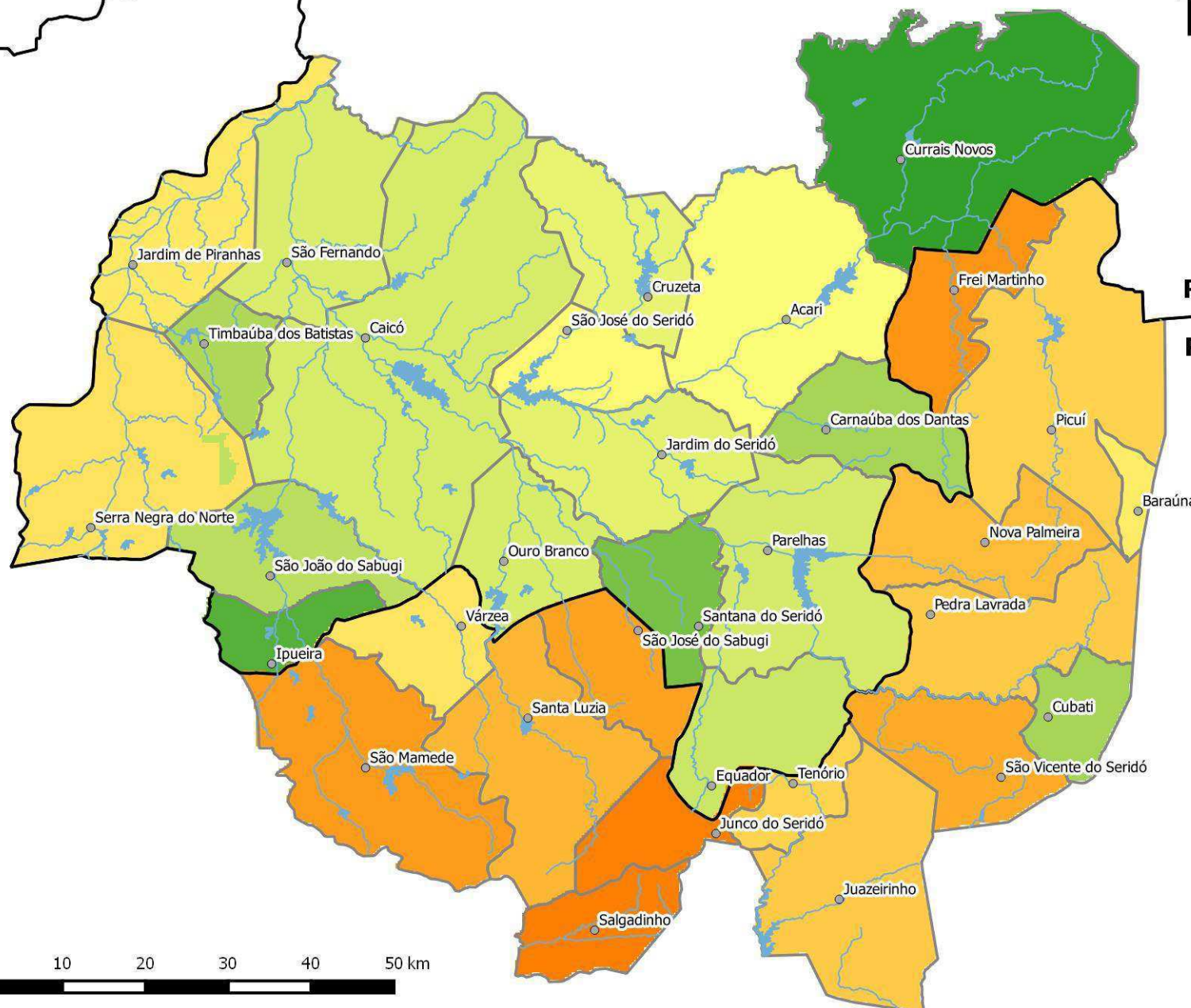
RN

PB

9300000

9250000

9200000



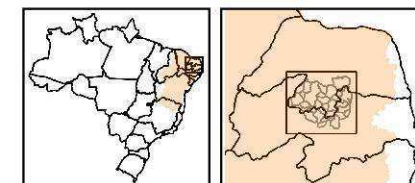
#### IMD-R

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- Açudes



Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S

Observa-se que o IMD-R é composto majoritariamente por indicadores discretos, oriundos de pesquisa institucional, banco de dados do Sistema Cisternas e censo demográfico, fato que explica sua rápida variação entre os municípios. Além dessa característica, é perceptível a diferença no valor do índice quando se atravessa a fronteira RN-PB, em razão da influência da quantidade de programas de desenvolvimento rural sustentável, o único indicador de escala estadual.

Currais Novos, Ipueira, Santana do Seridó, Cubati, Carnaúba dos Dantas e Timbaúba dos Batistas representam os municípios com os melhores conjuntos de ações para combate à desertificação e mitigação de seus efeitos. Currais Novos, o melhor entre todos, destaca-se por ser um município potiguar e, portanto, área de ação dos três programas de desenvolvimento rural sustentável do Rio Grande do Norte, por registrar o maior percentual de domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água (89,4%), por possuir, na estrutura administrativa municipal, a Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente, e por registrar um aumento, embora mediano, nas transferências governamentais de renda (17,2 p%).

Salgadinho, Junco do Seridó, Frei Martinho, São Mamede, São José do Sabugi e São Vicente do Seridó apresentam os piores valores do IMD-R, todos enquadrados na categoria muito forte em função, basicamente, do reduzido nível de organização social, baixo percentual de domicílios rurais com acesso à água, inexistência de secretaria municipal vinculada ao meio ambiente (exceto São Mamede) e ausência de qualquer instituição de ensino e pesquisa com curso vocacionado ao desenvolvimento rural sustentável.

Nota-se que a presença da Estação Ecológica do Seridó, em Serra Negra do Norte, uma iniciativa concreta de proteção integral do meio ambiente, reduziu drasticamente o IMD-R nessa região do município, levando-o da classificação forte (0,61) para fraco (0,35), resultado que denota bem a influência do indicador “Nível de proteção por unidade de conservação”, o único continuamente distribuído.

O cálculo da área ocupada por cada categoria de severidade do índice indica que 80,1% da região de estudo está submetida às classes moderado, forte e muito forte, denotando baixa organização da sociedade e do poder público para o combate à desertificação e mitigação de seus efeitos.

Quadro 16. Área ocupada pelas diversas classes do IMD-R

Índice	Área Total	Muito fraco (0 - 0,2)		Fraco (0,2 - 0,4)		Moderado (0,4 - 0,6)		Forte (0,6 - 0,8)		Muito forte (0,8 - 1)	
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD-R	11.186	1.157	10,3	1.074	9,6	4.245	37,9	3.100	27,7	1.610	14,4



### **5.3 Índice Multicriterial geral de Desertificação**

Nesta seção, será apresentado o índice resultado do processamento de todos os indicadores de desertificação propostos no presente estudo. O método de cálculo dos pesos foi semelhante ao aplicado no desenvolvimento dos índices multicriteriais referentes às categorias DPSIR. A mudança ocorreu na utilização das respostas do questionário relativas à importância que se deve atribuir às forças motrizes, às pressões, ao estado atual, às consequências e às respostas da sociedade no enfrentamento da desertificação e mitigação de seus efeitos. Desta maneira, os pesos foram aplicados conforme o Quadro 17 e o IMD calculado também através do complemento `r.mcd.promethee` do GRASS. Como se pode observar, os especialistas sugeriram os seguintes percentuais para ponderar as categorias DPSIR: forças motrizes (19,6%), pressões (23,3%), estado atual (21,2%), impactos (19,0%) e respostas da sociedade (16,9%).

Quadro 17. Indicadores de desertificação e respectivos planos de informação, pesos brutos (Pi) e normalizados (pi)

Modelo FPEIR	P <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	Grupo	P <sub>2</sub>	p <sub>2</sub>	Indicador	P <sub>3</sub>	p <sub>3</sub>	Plano de Informação	P <sub>1</sub> *P <sub>2</sub> *P <sub>3</sub>
Força Motriz	3,7	0,196	Concentração de terra	3,5	0,333	Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal	3,3	0,500	AEMMF_nmax	0,0326
						Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade	3,3	0,500	AERNP_nmax	0,0326
						<b>SOMA</b>	<b>6,6</b>	<b>1,000</b>		
			Influência da população urbana	3,4	0,324			INFPOP_nmax	0,0634	
			Desigualdade social	3,6	0,343	Analfabetismo	3,2	0,464	ANALF_nmax	0,0311
						População abaixo da linha de pobreza	3,7	0,536	PRALP_nmax	0,0360
			<b>SOMA</b>	<b>10,5</b>	<b>1,000</b>					
Pressão	4,4	0,233	Desmatamento	4,5	0,489	Avanço da fronteira agropecuária	3,7	0,463	AFAGP_nmax	0,0527
						Mudança na cobertura vegetal	4,3	0,538	CV15-90_nmin	0,0612
						<b>SOMA</b>	<b>8</b>	<b>1,000</b>		
			Manejo inadequado da terra	4,7	0,511	Carga animal	4,2	0,506	UAPHA_nmax	0,0602
						Recorrência de incêndio	4,1	0,494	INCENDIO_nmax	0,0587
			<b>SOMA</b>	<b>9,2</b>	<b>1,000</b>					
Estado	4,0	0,212	Condição ambiental	4,1	0,387	Índice de aridez	4	0,201	IARIDEZ_nmin	0,0165
						Índice padronizado de precipitação	3,8	0,191	SPI48_nmim	0,0156
						Cobertura vegetal	4,3	0,216	CV2015_min	0,0177
						Grau de fertilidade do solo	3,7	0,186	GFSOL_nmim	0,0152
						Risco de erosão hídrica	4,1	0,206	REHSOL_nmax	0,0169
						<b>SOMA</b>	<b>19,9</b>	<b>1,000</b>		
			Condição econômica	3,3	0,311	Renda per capita rural	3,4	0,405	RPCR2010_nmin	0,0267
						Produtividade do feijão	2,5	0,298	RCTF2006mm_nmin	0,0196
						Produtividade do milho	2,5	0,298	RCTM2006mm_nmin	0,0196
			<b>SOMA</b>	<b>8,4</b>	<b>1,000</b>					
			Condição social	3,2	0,302	Densidade de população rural	3,3	0,589	DPRUR_nmax	0,0377
						Estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres	2,3	0,411	AEDM_nmin	0,0262
						<b>SOMA</b>	<b>5,6</b>	<b>1,000</b>		
<b>SOMA</b>	<b>10,6</b>	<b>1,000</b>								
Impacto	3,6	0,190	Taxa de migração do campo para a cidade	3,1	0,470		VPR10_nmin	0,0895		
			Variação da participação da agropecuária no PIB	3,5	0,530		VVAAMm_nmin	0,1010		
			<b>SOMA</b>	<b>6,6</b>	<b>1,000</b>					
Resposta	3,2	0,169	Organização do poder público	3,7	0,493	Organismos governamentais e instituições de pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável	3,6	0,243	NOGIP_nmin	0,0203
						Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável	4	0,270	NPDRS_nmin	0,0226
						Programas de transferência de renda	3,4	0,230	VPTR10-91_nmin	0,0192
						Nível de proteção por unidade de conservação.	3,8	0,257	NPUC_nmin	0,0214
						<b>SOMA</b>	<b>14,8</b>	<b>1,000</b>		
			Organização da sociedade civil	3,8	0,507	Organizações não-governamentais dedicadas ao desenvolvimento rural	3,6	0,493	NONG_nmin	0,0423
						Famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água	3,7	0,507	DTSAA_nmin	0,0435
						<b>SOMA</b>	<b>7,3</b>	<b>1,000</b>		
<b>SOMA</b>	<b>7,5</b>	<b>1,000</b>								
<b>SOMA</b>	<b>18,9</b>	<b>1,000</b>								

Os comandos executados na interface de usuário do GRASS para cálculo dos fluxos de importância positivo (Desertificacao+.tif), negativo (Desertificacao-.tif), líquido (Desertificacao.tif) e normalização do índice (IMD) podem ser observados no Apêndice 4. O arquivo final do índice foi também exportado para o SPRING, para cálculo das áreas de cada categoria de severidade (Quadro 18), e para o QGIS, onde foi apresentado sob os planos de informação dos espelhos d'água e rede de drenagem (Mapa 6).

700000

750000

800000



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Programa de Pós Graduação em Recursos  
Naturais

### Avaliação e comparação espacial do processo de desertificação

## Mapa 6 Índice Multicriterial de Desertificação

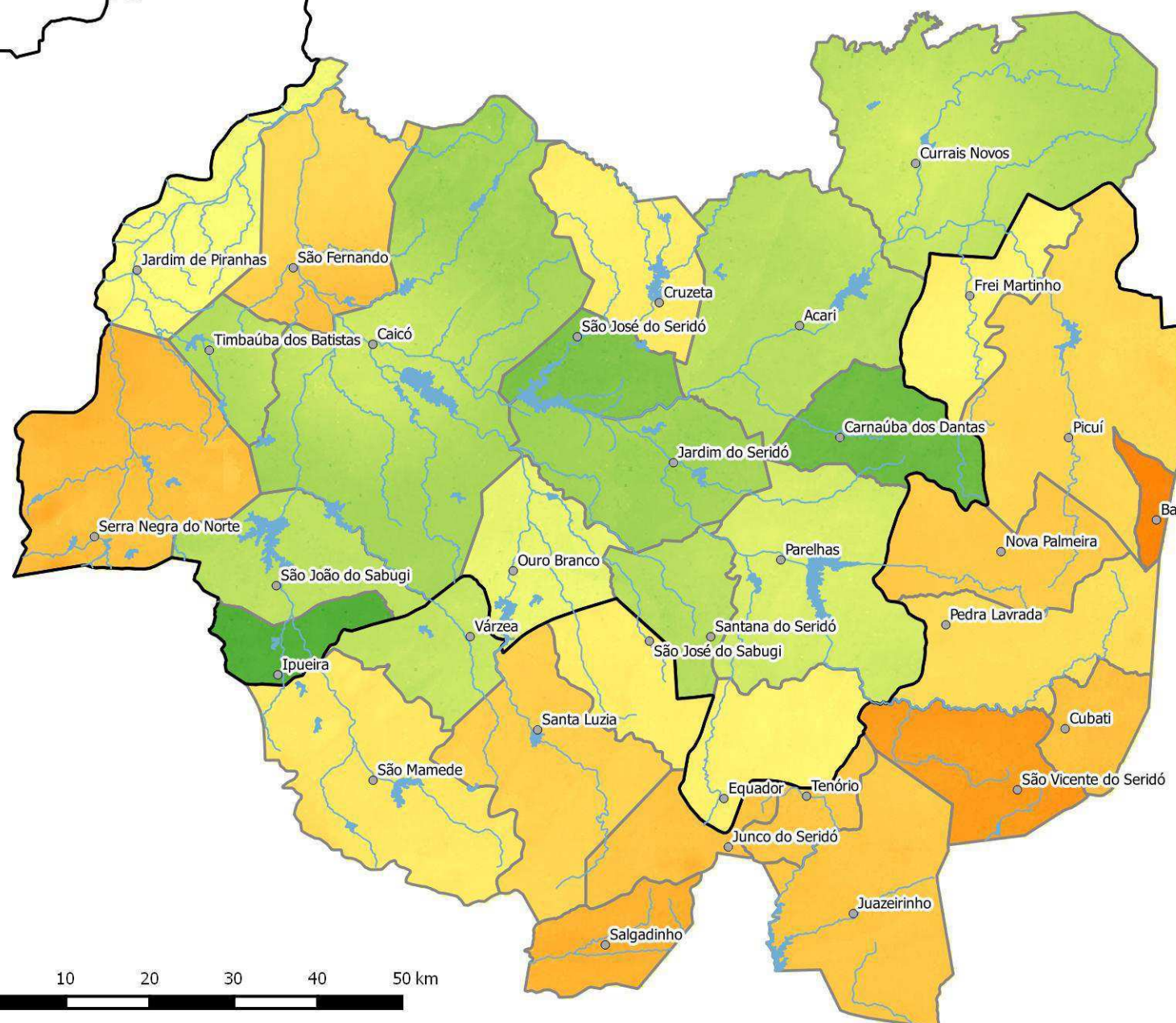
RN

PB

9300000

9250000

9200000



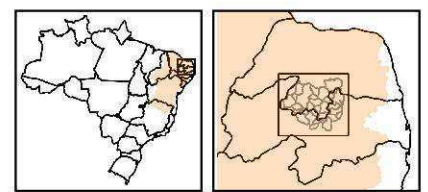
#### IMD

- Muito Fraco
- Fraco
- Moderado
- Forte
- Muito Forte

- Sedes Municipais
- Hidrografia
- ▭ Açudes



Fonte: Ricardo da Cunha Correia Lima



Datum: SIRGAS 2000  
Projeção: UTM 24S

Ao reunir todos os indicadores, o IMD representa o conjunto das causas estruturais, causas diretas, susceptibilidade, consequências e ações da sociedade. Sua finalidade, como indicador síntese, é auxiliar o processo de tomada de decisão na definição de políticas públicas de enfrentamento do processo de desertificação ao indicar as áreas mais críticas e, portanto, mais necessitadas da ação dos governos e sociedade.

Analisar os resultados do IMD a partir da influência direta de cada um de seus 27 indicadores não é uma tarefa possível de ser efetuada. No entanto, sua interpretação pode ser realizada a partir da observação dos índices multicriteriais de desertificação referentes ao modelo DPSIR. Afinal, estes índices agregam todos os indicadores em suas composições e, portanto, afetam o comportamento do IMD na proporção dos pesos estabelecidos para cada uma das categorias DPSIR.

Observa-se que o IMD identifica Baraúna e São Vicente do Seridó como os municípios em situação de maior severidade da desertificação. Este diagnóstico é corroborado pelo IMD-F, IMD-E, IMD-I e IMD-R, todos enquadrando os referidos municípios nas classes moderado, forte ou muito forte. Na posição oposta estão Carnaúba dos Dantas e Ipueira, municípios apontados pelo IMD com intensidade de desertificação muito fraca. De maneira análoga, este resultado reflete o desempenho no IMD-F, IMD-E, IMD-I e IMD-R, onde os municípios figuram nas classes moderado, fraco ou muito fraco.

De uma maneira geral, o IMD indica que 59,7% da área de estudo encontra-se submetida a intensidades moderadas, fortes e muitos fortes do processo de desertificação (Quadro 18). Esta constatação sugere a necessidade de intervenção governamental e da sociedade civil na maior parte da região de modo a reduzir as causas estruturais e diretas do processo para, conseqüentemente, atenuar a susceptibilidade da área à degradação bem como minimizar as conseqüências sobre o meio ambiente e comunidades rurais.

Quadro 18. Área ocupada pelas diversas classes do IMD

Índice	Área Total km <sup>2</sup>	Muito fraco (0 - 0,2)		Fraco (0,2 - 0,4)		Moderado (0,4 - 0,6)		Forte (0,6 - 0,8)		Muito forte (0,8 - 1)	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IMD	11.186	500	4,5	4.006	35,8	2.498	22,3	3.773	33,7	409	3,7

A intervenção deve ter como objetivo melhorar localmente o desempenho dos indicadores ambientais, socioeconômicos ou institucionais do município ou região de interesse. Para tanto, deve-se efetuar uma análise dos componentes do IMD, identificando os índices parciais de desertificação que mais contribuíram para seu comportamento e, a partir desses, verificar quais indicadores comprometeram o desempenho da área. Como

exemplo dessa análise, o município de Baraúnas, citado com o pior IMD, precisaria ser alvo de um conjunto de ações para reduzir, especialmente, os seguintes índices:

- IMD-F: ampliar o programa de reforma agrária para reduzir a concentração de terra; assegurar investimentos na educação básica para diminuir a taxa de analfabetismo; ampliar o acesso aos programas de transferência de renda para reduzir o contingente rural abaixo da linha da pobreza.
- IMD-P: expandir o acesso à assistência técnica rural de modo a minimizar o desmatamento e a pressão da carga animal excessiva.
- IMD-E: desenvolver programas de geração de emprego e renda para elevar a renda per capita rural; financiar iniciativas de produção agroecológica com vistas à melhoria da produtividade agrícola e redução da pressão exercida pela alta densidade populacional no campo; incentivar programas de empoderamento da mulher agricultora com o objetivo de ampliar o número de estabelecimentos rurais sob sua responsabilidade.

Como visto, o IMD deve ser utilizado como indicador síntese de todas as dimensões do processo de desertificação, na medida em que compara a severidade do fenômeno na área de interesse e aponta as regiões mais críticas onde as causas estruturais e diretas do processo precisam ser atacadas, a predisposição à ocorrência ou agravamento do fenômeno necessita ser minimizada, os impactos carecem ser mitigados e a organização do poder público e da sociedade civil requer ser ampliada.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados apresentados para os diversos índices, observa-se que a escolha do modelo conceitual DPSIR, para organização dos indicadores e cálculo dos índices multicriteriais, possibilitou uma avaliação da desertificação a partir de suas relações de causa e efeito, e não apenas a partir da análise do risco, propensão ou susceptibilidade à ocorrência do fenômeno. Este é o foco da metodologia desenvolvida pelo projeto MEDALUS (KOSMAS *et al.*, 1999) e ainda aplicada em estudos recentes (HOSSEINI *et al.*, 2012; LADISA *et al.*, 2012; DE PINA TAVARES *et al.*, 2015; VIEIRA *et al.*, 2015; SYMEONAKIS *et al.*, 2016), para mapear a sensibilidade ambiental de uma determinada área ao processo de desertificação, sem avaliar, no entanto, a cadeia de causalidades e respostas da sociedade.

Outros estudos, utilizando metodologias próprias, também concentraram seus esforços em mapear o risco à desertificação através de indicadores, tais como cobertura vegetal, declividade, tipo de solo, clima, pressão antrópica, entre outros (ZHANG *et al.*, 2010; SÁ *et al.*, 2013; KHIRE, AGARWADKAR, 2014; BECERRIL-PIÑA *et al.*, 2015). Apesar de utilizarem importantes descritores do processo, tais iniciativas limitaram a modelagem da realidade a alguns dos seus aspectos, notadamente ambientais, desprezando importantes fatores presentes na relação meio ambiente e sociedade.

Observa-se, também, que os índices multicriteriais propostos no presente estudo foram calculados a partir dos reais valores observados de cada indicador, representados por matrizes de pixels e não a partir de uma interpretação ou pontuação definida subjetivamente. A primeira abordagem preserva integralmente a natureza espacial e quantitativa dos indicadores, que podem ter sua representatividade ajustada por pesos atribuídos por especialistas. A segunda abordagem exige o fatiamento do indicador em classes para que, através da atribuição de pontuações ou conceitos para cada classe, o índice possa ser representado (KOSMAS *et al.*, 1999; ZHANG *et al.*, 2010; SÁ *et al.*, 2013; VIEIRA *et al.*, 2015). Resta claro que esta abordagem uniformiza a área classificada numa determinada categoria, desprezando as variações do indicador em seu interior.

A abordagem utilizada (classificação e subordinação de alternativas, na qual as preferências dos decisores são construídas a partir da comparação par a par, quando se verifica qual alternativa é superior em cada critério) tornou o cálculo do índice robusto aos indesejáveis efeitos de compensação intercritérios. Abordagens por média aritmética, ponderada ou mesmo geométrica, como na metodologia do projeto MEDALUS e suas aplicações, homogeneízam os resultados, mascarando aspectos importantes que deveriam ser considerados.

Os resultados apresentados e discutidos na seção anterior também permitem concluir que, utilizando técnicas de análise de decisão multicritério integradas a sistemas de informações geográficas, foi possível estruturar um sistema de avaliação da desertificação que possibilitasse uma análise conjunta dos indicadores, preservando a natureza espacial da informação.

A avaliação dos especialistas, quanto à capacidade dos indicadores propostos caracterizarem os diversos aspectos da desertificação, foi considerada aceitável tendo em vista o elevado grau de consistência do questionário, avaliado pelo coeficiente alfa de Cronbach. Adicionalmente, a escolha de indicadores já consolidados na literatura e a extensa busca por dados confiáveis e disponíveis, aliada às diversas metodologias de cálculo propostas, garantiram que todos os indicadores utilizados atendessem satisfatoriamente às condições de descritores do problema: mensurabilidade, acessibilidade, relevância, facilidade de interpretação, credibilidade, aceitabilidade e existência de séries históricas.

A organização dos indicadores em planos de informação num SIG permitiu uma análise espacial do processo de desertificação, identificando as regiões mais atingidas, à luz de cada descritor do problema e, após o cálculo dos índices multicriteriais, as áreas com níveis mais intensos do fenômeno.

O IMD-F, que tem como indicadores a concentração de terra, a desigualdade social e a cultura do consumo, permitiu identificar as áreas onde as forças motrizes da desertificação se manifestam com maior intensidade, auxiliando e orientando a reação da sociedade através de políticas públicas para reforma agrária, combate à pobreza, melhoria da educação, entre outras.

Através do IMD-P, foi possível avaliar de que maneira as pressões sobre o meio ambiente atuam na área em direção à degradação das terras. Os indicadores de desmatamento, representados pela variação da cobertura vegetal e pela variação da área utilizada pela atividade agropecuária, apontaram as áreas onde a fiscalização dos órgãos ambientais necessita agir com maior eficácia. Já os indicadores de manejo inadequado da terra, representados pelo excesso de animais na pastagem e pela utilização do fogo, identificaram as regiões com maior carência de assistência técnica com vistas a uma utilização sustentável das terras agrícolas.

Utilizando os resultados do IMD-E, foi possível identificar as áreas mais susceptíveis ao processo de desertificação. Para estas regiões, em particular, os governos e a sociedade civil devem desenvolver políticas de mitigação dos efeitos das secas prolongadas e da aridez natural, programas de geração ou transferência de renda com vistas à redução da

fragilidade econômica da população, medidas de assistência técnica através de diálogos de saberes em prol das práticas sustentáveis de produção agrícola, entre outras. Em suma, um conjunto de ações para redução da vulnerabilidade ambiental, econômica e social ao processo de desertificação.

Como uma das principais consequências da desertificação, a migração do campo para a cidade, um dos indicadores do IMD-I, pode ter seus efeitos minimizados através de políticas de proteção social das populações rurais que engrossam o contingente nas periferias das maiores cidades, onde a qualidade de vida é das mais baixas.

Por fim, através do IMD-R, foi possível identificar os municípios com maior deficiência na organização da sociedade civil e do poder público para fazer frente aos desafios do combate à desertificação e mitigação de seus efeitos. Para estes municípios, medidas devem ser tomadas com o objetivo de ampliar o associativismo na zona rural, o acesso à água, o ingresso nos programas de complementação de renda, a demarcação de unidades de proteção integral, além de uma melhor organização das instituições de ensino e pesquisa e da estrutura administrativa municipal de modo a incluir a preocupação com o desenvolvimento rural sustentável.

Como espaço para pesquisas futuras, o único aspecto subjetivo da proposta, representado pela definição de pesos através da opinião de especialistas, pode ser objeto de melhorias. É possível utilizar a técnica de purificação de escala prevista na análise de confiabilidade pelo coeficiente alfa de Cronbach, quando é simulada a eliminação ou substituição de perguntas, ou seja, indicadores, com a finalidade de verificar quais questões estão prejudicando a confiabilidade do questionário. Adicionalmente, ao invés de utilizar a média como aproximação da opinião de consenso, técnicas de resolução de conflitos também podem ser aplicadas para agregação das preferências. Ainda como alternativa, oficinas de trabalho ou estudos mais aprofundados, com a participação de especialistas, poderiam emprestar maior adequação aos pesos atribuídos aos indicadores e assim melhor modelar o processo de desertificação.

Como outra oportunidade de melhoria no sistema de avaliação aqui apresentado, o complemento `r.mcda.promethee` do GRASS poderia ser aprimorado com a implementação de todas as funções de preferência previstas no método, e seus respectivos limiares de indiferença e preferência. Desta maneira, valores extremos de alguns indicadores poderiam ser melhor tratados de modo a terem seus efeitos minimizados sobre o cálculo dos índices.

Para possibilitar a aplicação da técnica de análise de decisão multicritério proposta e classificar a extensa área semiárida brasileira em níveis de severidade de desertificação, uma alteração metodológica poderia ser proposta a partir da definição de valores de



referência para cada indicador com os quais todos os pixels da área de interesse seriam confrontados. Desta maneira, a comparação pixel - pixel aplicada no presente estudo daria lugar a uma comparação pixel – referência, reduzindo drasticamente a quantidade de operações matemáticas para o cálculo dos fluxos de importância, cerne do método PROMETHEE. Tal adaptação permitiria a classificação da severidade da desertificação em função de padrões regionais, e não apenas através da comparação dos desempenhos de cada unidade de área frente às demais, fato que possibilitaria a aplicação do método para todo o Semiárido brasileiro.

Por fim, espera-se que os resultados apresentados nesse trabalho tenham sido suficientes para nortear uma ação de avaliação da desertificação em todo o semiárido brasileiro como forma de subsidiar a formulação de políticas públicas de desenvolvimento sustentável da região.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, E. M. Indicadores de desertificación para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Perú. In ABRAHAM, E. M., BEEKMAN, G. B. Indicadores de la desertificación para América del Sur. Mendoza, IICA, 2006, p.189-207.

ABRAHAM, E. M.; CORSO, M. L.; MACCAGNO, P. Tierras secas y desertificación en Argentina. In RÉVORA, S. A. (Coord.), Evaluación de la desertificación en Argentina: resultados del Proyecto LADA/FAO, Buenos Aires, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2011, p.11-64.

ABRAHAM, E. M.; MONTAÑA, E.; TORRES, L. Procedimiento y marco metodológico para la obtención de indicadores de desertificación em forma participativa. In ABRAHAM, E. M., BEEKMAN, G. B. Indicadores de la desertificación para América del Sur. Mendoza, IICA, 2006, p.37-64.

ADESE – Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó. Diagnóstico do uso da lenha nas atividades agroindustriais do território do Seridó / RN. Caicó, 2008,130p.

ALVES, J. História das secas: séculos XVII a XIX. 2. ed. Mossoró/RN. ESAM/FGD, Coleção Mossoroense, v. CCXXV, 1982.

ANDRADE, M. C. Espaço, polarização e desenvolvimento: a teoria dos pólos de desenvolvimento e a realidade nordestina.2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1970, 145p.

ANDRADE, M. C. Lutas camponesas no Nordeste. 2. ed. São Paulo. Ática, 2000.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo v. 4, p. 149-153, 1981.

BECERRIL-PIÑA, R.; MASTACHI-LOZA, C. A.; GONZALEZ-SOSA, E.; DÍAZ-DELGADO, C.; BÂ, K. M. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. Journal of Arid Environments, n. 120, p. 4-13, 2015.

BEEKMAN, G. B. El Programa de Combate a la Desertificación y Mitigación de los efectos de la Sequía en América del SUR. In ABRAHAM, E. M., BEEKMAN, G. B. Indicadores de la desertificación para América del Sur. Mendoza, IICA, 2006, p.21-35.

BENAYOUN R., MONTGOLFIER J., TERGNY J., LARITCHEV O. Linear programming with multiple objective functions: Step method (stem). Mathematical Programming, v. 1, n. 1, 1971, p 366-375

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research, v.24, 1986, p.228-238

BRASIL. Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 jul. 2015. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato/2015-2018/2015/lei/L13153.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato/2015-2018/2015/lei/L13153.htm), acesso em 30/11/2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro. 1971.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. 1972.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Brasília, 2005, 32 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil, Brasília, 2007a, 134 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros, Brasília, 2007b, 17 p.

BROWN, L. R. China losing war with advancing deserts. *Appropriate Technology*, UK: Research Information Ltd, 2003, v.3, n.3, p.6.

CABELLO J. M.; NAVARRO, E.; PRIETO, F.; RODRÍGUEZ, B.; RUIZ, F. Multicriteria development of synthetic indicators of the environmental profile of the Spanish regions. *Ecological Indicators*, v. 39, 2014, p. 10-23.

CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CARVALHO, O. Áreas prioritárias para o combate à desertificação: aspectos técnicos e institucionais. In: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. *Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro*. Petrolina, Embrapa Semiárido, 2009, p.95-123.

CINELLI, M., COLES, S.R., KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, v.46, 2014, p.138–148.

COLOMBIA. Plan de Acción Nacional Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Colombia. Bogota, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005, 138p.

COSTA, D.C.; BRITO, J. I. B. Contribuição do DCA/UFCG ao Plano Nacional de Controle da Desertificação. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.

COSTANTINI, E. A. C.; URBANO, F.; ARAMINI, G.; BARBETTI, R.; BELLINO, F.; BOCCI, M.; BONATI, G.; FAIS, A.; L' ABATE, G.; LOJ, G.; MAGINI, S.; NAPOLI, R.; NINO, P.; PAOLANTI, M.; PERCIABOSCO, M.; TASCONE, F. Rationale and methods for compiling an atlas of desertification in Italy. *Land Degradation & Development*, v. 20, n.3, 2009, p. 261-276

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S., AZEVEDO, L. G, DUARTE V., HERNANDEZ, P., and FLORENZANO, T.: *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*, INPE, São José dos Campos-SP, 1996.

CRONBACH, J. L. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, v. 16. n. 3, p. 297-334, 1951.

DE PINA TAVARES, Jacques ; BAPTISTA, Isaurinda ; FERREIRA, Antonio J. D. ; AMIOTTE-SUCHET, Philippe ; COELHO, Celeste ; GOMES, Samuel ; AMOROS, Regla ; DOS REIS, Eduardo Amarildo ; MENDES, Adriano Furtado ; COSTA, Lenira ; BENTUB, Jailson ; VARELA, Larissa van den Elsen, JETTEN, Victor (editor). *Assessment and*

mapping the sensitive areas to desertification in an insular Sahelian mountain region case study of the Ribeira Seca watershed, Santiago Island, Cabo Verde. *Catena* (Giessen), 2015, v.128, p.214-223

DESERTLINKS - Combating Desertification in Mediterranean Europe: Linking Science with Stakeholders. European Commission, Framework Programme 5, 2004. Disponível em <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/index.htm>. Acesso em 04/09/2015.

DIS4ME - Desertification Indicator System for Mediterranean Europe. European Commission, Framework Programme 5, 2005. Disponível em [http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/indicator\\_system/introduction.htm](http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/indicator_system/introduction.htm). Acesso em 04/09/2015.

DREGNE, H. E. La desertificación en los Estados Unidos de América: La naturaleza y sus recursos. *Boletín del Programa sobre el Hombre y la Biosfera*. Paris, UNESCO, v.XIII, n.2 1977, p.11-12.

DUQUE, G. Agricultura familiar em áreas com risco de desertificação: o caso do Brasil semi-árido. In: MOREIRA, E. (organizadora) *Agricultura familiar e desertificação*. João Pessoa, Editora Universitária/UFPB, 2006, p. 77 – 90.

DWE - DesertWatch Extension Project Final Report, 2012. Disponível em [http://www.desertwatch.info/images/stories/Letizia\\_allegati/dw\\_fr\\_2012\\_lowres.pdf](http://www.desertwatch.info/images/stories/Letizia_allegati/dw_fr_2012_lowres.pdf). Acesso em 05/09/2015.

EDWARDS, W. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational behavior and human decision processes*, v. 60, n. 3, 1994, p. 306 -325.

EEA - European Environment Agency. *Environmental indicators: Typology and overview*. Copenhagen, 1999, 19p.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Trans. AGU*, v. 81, n. 48, p. 583–585, 2000.

FERREIRA, D.G.; MELO, H.P.; NETO, F.R.R.; NASCIMENTO, P.J.S.; RODRIGUES, V. Avaliação do quadro da desertificação no Nordeste do Brasil: diagnósticos e perspectivas. *Conferência Nacional da Desertificação*, Fortaleza, 1994. Brasília, Fundação Esquel Brasil, 1994, p.7-55.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. *Anais do XVI SBSR, INPE*, 2013, p.3366-3373

FURTADO, C. *Formação econômica do Brasil*. 32. ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2005, 253p.

GIULIETTI, A. M., BOCAGE NETA, A. L., CASTRO, A. A. J. F. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma da caatinga. In: *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. MMA-UFPE, Brasília, DF: 2004. p.47-90.

GLANTZ, M. H.; ORLOVSKY, N. S. Desertification: a review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, n.9, p.15-22, 1983.

GONZÁLEZ, B. A. El Índice Integral de Salud de Ecosistemas (IISE): un indicador multicriterio de sustentabilidad netamente latino-americano. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, v. 13, p. 57-77, 2009.

GRAU, J. B., ANTON, J. M., TARQUIS, A. M., COLOMBO, F., RIOS, L., CISNEROS, J. M. Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the Chaco Area in Salta Province (Argentina). *Biogeosciences Discussions*, v.7, 2010, p.2601–2630.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. A new rough set approach to evaluation of bankruptcy risk.. In: ZOPOUNIDIS, C. (Ed.), *Operational tools in the management of financial risks*. Springer, US, 1998, p. 121-136.

GUARNIERI, P. Introduction. In: GUARNIERI, P. (editor) *Decision Models in Engineering and Management*. Springer, 2015, p.1-8

HAMADOUCHE, M.A.; MEDERBAL, K.; KOURI, L.; REGAGBA, Z.; FEKIR, Y.; ANTEUR, D. GIS-based multicriteria analysis: an approach to select priority areas for preservation in the Ahaggar National Park, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 7, n.2, 2014, p.419-434.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. *Environmental indicators : a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington: World Resources Institute, 1995, 58 p.

HORA, H. R. M.; MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. *Produto & Produção*, v.11, n.2, p.85-103, 2010.

HOSSEINI, Seyed; SADRAFSHARI, Sahar; FAYZOLAHPOUR, Mehdi. Desertification hazard zoning in Sistan Region, Iran. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, v. 22, n. 5, p.885-894

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25, p.295-309, 1988.

HWANG C. L., YOON K. *Multiple attribute decision making methods and application*. Springer, New York, 1981, 270 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>, acesso em 25/10/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro, 1995. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>, acesso em 25/10/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>, acesso em 25/10/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>, acesso em 25/10/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões*. Rio de Janeiro, v.2, n.2, 1992. 302 p.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro, 2007. 316p.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, 2016. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 16/03/2016.
- JAIN, J. K. Combating desertification in developing countries: Country Reports prepared for the United Nations Conference on Desertification. Jodhpur: Scientific Publishers, 1986, 17p.
- JUNTTI, M.; WILSON, G. A. Conceptualizing Desertification in Southern Europe: Stakeholder Interpretations and Multiple Policy Agendas. *European Environment*, v.15, p.228-249, Wiley InterScience, 2005.
- KEENEY R. L., RAIFFA, H. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Wiley, New York, 1976, 588 p.
- KHIRE, M. V.; AGARWADKAR, Y. Y. Qualitative Analysis of Extent and Severity of Desertification for Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Techniques. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 5, n. 3, p. 1-6, 2014.
- KORHONEN, P., WALLENIUS, J. A Pareto race. *Naval Research Logistics*, v. 35, 1988, p. 615-623.
- KOSMAS, C., KIRKBY, M., GEESON, N. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission, 1999, 87p.
- KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afr.*, v. 52, p. 119-139, 1951.
- LADISA, G. ; TODOROVIC, M. ; TRISORIO LIUZZI, G. A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2012, v. 49, p.103-113.
- LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. de. Limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão. *Documentos*, n. 54, Embrapa Agroindústria Tropical, 2002, 19p.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C. Modelagem de parâmetros biofísicos para desenvolvimento de algoritmo para avaliação e espacialização de risco a desertificação. *Bol. Ciênc. Geod.*, Curitiba, v. 15, n. 4, 2009, p. 652-668.
- MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer, 2015, 331p.
- MARINONI, O. A discussion on the computational limitations of outranking methods for land use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, v.20, n.1, 2006, p.69-87.
- MARTINS, M. B.; XAVIER, A.; FRAGOSO, R.A. Bioeconomic Forest Management Model for the Mediterranean Forests: A Multicriteria Approach. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v.21, 2014, p.101-111.

MASSEI, G.; ROCCHI, L.; PAOLOTTI, L.; GRECO, S.; BOGGIA, A. Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture. *Journal of Environmental Management*, v.146, 2014, p.491-504.

MATALLO JUNIOR, H. Indicadores de Desertificação: Histórico e Perspectivas. Brasília, UNESCO, 2001, 80p.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales, In: Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 1993.

MEDACTION - Policies for Land Use to Combat Desertification. European Commission, Framework Programme 5, 2000. Disponível em <http://research.ncl.ac.uk/medaction/>. Acesso em 25/08/2015.

MEDALUS - Mediterranean Desertification and Land Use. European Commission, Framework Programme 5, 1999. Disponível em <http://www.medalus.demon.co.uk/>. Acesso em 20/08/2015

MEDEIROS FILHO, O. Os Tarairiús: extintos Tapuias do Nordeste. Mossoró/RN: Fundação Guimarães Duque, 1988. (Coleção Mossoroense, n.502).

MORALES, C. Pobreza, desertificación y degradación de tierras. In MORALES, C. PARADA, S. (editores). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago, CEPAL, 2005, p.25-58.

NAÇÕES UNIDAS. Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. Brasília: MMA, 1997.

NASIRI, H.; BOLOORANI, A.D.; SABOKBAR, H.A.F.; JAFARI, H.R.; HAMZEH, M.; RAFII, Y. Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, v.185, n.1, 2013, p.707-718.

NOVAES, W. A década do impasse: da Rio-92 à Rio+10. São Paulo: Estação Liberdade / Instituto Socioambiental, 2002, p.73.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Environmental Indicators: development, measurement and use. OECD, Paris, 2003, 37p.

PAN-BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Brasília, 2004, 213p.

PARZEN, E. On estimation of a probability density function and mode. *The annals of mathematical statistics*, [S.l.], v.33, n.3, p.1065–1076, 1962

PNUD. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília, PNUD, Ipea, FJP, 2013, 96p.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (editores). *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2003, p.3-74.

REDA, A. A. Combating Desertification in Tigray, Ethiopia: Field study on the implementation of the UNCCD in the rural region of Tigray. Linkopings Universitet, Environmental Science Programme, Dissertação de Mestrado, 2007, p. 8 e 9.

RÊGO, A. H. Os sertões e os desertos: o combate à desertificação. Brasília, FUNAG, 2012, 204p.

REYNOLDS, J. F.; GRAINGER, A.; STAFFORD SMITH, D. M.; BASTIN, G.; GARCIA-BARRIOS, L.; FERNA'NDEZ, R. J.; JANSSEN, M. A.; N.JÜRGENS; SCHOLLES, R. J.; VELDKAMP, A.; VERSTRAETE, M. M.; VON MALTITZ, G.; ZDRULI, P. Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. Land Degradation and Development. v.22, 2011, p.166-183.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. Theory and Decision, v.31, p.49-73, 1991.

ROY, B. VINCKE, P. Multicriteria analysis: survey and new directions. European Journal of Operational Research, v.8, p.207-218, 1981.

SÁ, I. B. ; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semiárido Brasileiro. In: Francislene Angelotti; Iêdo Bezerra Sá; Eduardo Assis Menezes; Giampaolo Queiroz Pellegrino. (Org.). Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, v. 1, p. 53-76, 2009.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TAURA, T. A.; DRUMOND, M. A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, 2013, p. 3112-3118.

SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v.48, p.9-26, 1990

SALVATI, L.; MANCINO, G.; De ZULIANE, E.; SATERIANO, A.; ZITTE, M.; FERRARA, A. An expert system to evaluate environmental sensitivity: a local scale approach to desertification risk. Applied Ecology and Environmental Research, v. 11, n. 4, p.611-627, 2013.

SAMPAIO E.V.B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, S. B.; SAMPAIO, G. R. Desertificação no Brasil: Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2003. 202 p.

SAMPAIO, E.V.B.; SALCEDO, I.H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. Congresso Brasileiro de Ciência de Solo, 26, Rio de Janeiro, 1997.

SEMA. Seminário sobre desertificação no Nordeste – Documento Final. Secretaria Especial do Meio Ambiente / Secretaria do Planejamento. Brasília, 1986.

SEMARNAT. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México, 2013, 361 p.



SEPEHR, A.; ZUCCA, C. Ranking desertification indicators using TOPSIS algorithm. *Natural Hazards*, 2012, v.62, p.1137-1153.

STEUER, R. An interactive multiple objective linear programming procedure. *TIMS Studies in the Management Sciences*, v. 6, 1977, p. 225-239.

SYMEONAKIS, Elias; KARATHANASIS, Nikolaos; KOUKOULAS, Sotirios; PANAGOPOULOS, George. Monitoring Sensitivity to Land Degradation and Desertification with the Environmentally Sensitive Area Index: The Case of Lesbos Island. *Land Degradation & Development*, 2016, v.27, n.6, p.1562-1573

UNEP - United Nations Environment Programme. *Global Environment Outlook 3: Past, present and future perspectives*. London, Earthscan Publication, 2002, p. 73-75.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, v. 32, p. 300-309, 2011.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Metodologia para identificação dos processos de desertificação: Manual de Indicadores. Recife, Sudene, 1978, 18p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de Desertificação no Polígono das Secas. In: *Anais do ICB*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1971, pp. 69- 73.

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, 1999, p.264-294.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; DE OLIVEIRA, S. B. P.; DE SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; DE CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, 6, 347-360, doi:10.5194/se-6-347-2015, 2015.

WOLFSLEHNER, B.; VACIK, H. Evaluating sustainable forest management strategies with the Analytic Network Process in a Pressure-State-Response framework. *Journal of Environmental Management*, v. 88, 2008, p. 1-10.

XU, W.; KHOSHROO, N.; BJORNLUND, H.; YIN, Y. Effects of “Grain for Green” reforestation program on rural sustainability in China: an AHP approach to peasant consensus of public land use policies. *Stoch Environ Res Risk Assess*, n. 28, 2014, p. 867-880.

ZHANG, X, WU, B., LING F., ZENG, Y., YAN, N., YUAN, Ch. Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena*, v. 83, n.1, 2010, p. 76-86.

## Apêndice 1 – Quadros resumos das características dos indicadores

### Indicadores de força motriz

<b>Indicador:</b> Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal.		<b>Modelo DPSIR:</b> Força Motriz	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> Estabelecimentos agropecuários menores que o módulo fiscal não oferecem as condições mínimas para o sustento de uma família que, portanto, tende a explorar os recursos naturais de forma predatória.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a área de estabelecimentos agropecuários menores que o módulo fiscal e a área total dos estabelecimentos.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 1421			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> AEMMF			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Área dos Estabelecimentos Menores que o Módulo Fiscal, em percentual da área total, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> AEMMF_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,038	<b>Máx:</b> 0,493	<b>Média:</b> 0,093	<b>DP:</b> 0,104

<b>Indicador:</b> Área dos estabelecimentos rurais sob regime de não propriedade.		<b>Modelo DPSIR:</b> Força Motriz	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> Produtores não proprietários da terra dedicam menor atenção à produção sustentável por não reconhecerem a propriedade como um bem permanente para suas futuras gerações.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a área dos estabelecimentos agropecuários sob regime de não propriedade e a área total dos estabelecimentos.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 840			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> AERNP			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Área dos Estabelecimentos sob Regime de Não Propriedade, em percentual da área total, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> AERNP_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,013	<b>Máx:</b> 0,449	<b>Média:</b> 0,087	<b>DP:</b> 0,092

<b>Indicador:</b> Analfabetismo		<b>Modelo DPSIR:</b> Força Motriz	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> Uma população rural pouco alfabetizada tem maiores dificuldades de se emponderar de novos conhecimentos e técnicas de produção sustentável.			
<b>Como calcular:</b> (1 - taxa de alfabetização das pessoas de 10 anos ou mais de idade da zona rural)			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 1390			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> ANALF			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a taxa de ANALFabetismo, em percentual, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> ANALF_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,123	<b>Máx:</b> 0,298	<b>Média:</b> 0,132	<b>DP:</b> 0,100

<b>Indicador:</b> População abaixo da linha de pobreza		<b>Modelo DPSIR:</b> Força Motriz	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> Populações que não possuem suas necessidades básicas atendidas, investem contra os recursos naturais da região como forma de reduzir seu grau de pobreza.			
<b>Como calcular:</b> Percentual de domicílios rurais com renda domiciliar per capita inferior a 1/2 salário mínimo vigente.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 3563.			

<b>Plano de informação no QGIS: PRALP</b>			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o Percentual de domicílios Rurais Abaixo da Linha de Pobreza, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee: PRALP_nmax</b>			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,288	<b>Máx:</b> 0,669	<b>Média:</b> 0,368	<b>DP:</b> 0,268

<b>Indicador:</b> Influência da população urbana		<b>Modelo DPSIR:</b> Força Motriz	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> hab/km <sup>2</sup>	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> A população urbana consome grandes quantidades de recursos naturais de seu entorno, constituindo uma poderosa força motriz para a degradação das terras.			
<b>Como calcular:</b> Mapa de densidade de Kernel a partir do centróide da área urbana, com raio de influência de 20 km e intensidade proporcional à população urbana.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 3175 e arquivo SHP Sedes Municipais			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> inf_pop_urb_serido_km2_UTM			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camada raster geotiff, resolução 300m, resultante do mapa de densidade de Kernel a partir do centróide da área urbana, com raio de influência de 20km e intensidade proporcional à população urbana.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> INFPOP_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 89.888	<b>Média:</b> 15.312	<b>DP:</b> 13.950

## Indicadores de pressão

<b>Indicador:</b> Avanço da fronteira agropecuária		<b>Modelo DPSIR:</b> Pressão	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> ponto%	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> A utilização de áreas de vegetação nativa para fins agropecuários aumenta a pressão sobre os recursos naturais, favorecendo o processo de desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Diferença entre o percentual de área utilizada para a atividade agropecuária atual (2006) e do censo anterior (1995).			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006 e 1995, SIDRA, Tabela 1011 e 316			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> AFAGP			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o Avanço da Fronteira Agropecuária, em pontos percentuais, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> AFAGP_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> -0,416	<b>Máx:</b> 0,545	<b>Média:</b> 0,029	<b>DP:</b> 0,182

<b>Indicador:</b> Cobertura vegetal 2015		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A presença de cobertura vegetal permanente (culturas permanentes, vegetação arbustiva e arbórea nativa ou exótica) protege o solo contra a erosão hídrica e conserva a diversidade biológica, tornando a área menos propensa à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI), calculado sobre as bandas espectrais da imagem de satélite do final da estação chuvosa (junho, julho ou agosto), época em que a prevalece a vegetação arbórea e arbustiva na Caatinga na área de estudo, normalizado para a escala 0-1, com mínimo obtido de um pixel de solo totalmente exposto e máximo oriundo de um pixel de vegetação totalmente preservada.			
<b>Fonte de dados:</b> Imagem de satélite Landsat 8/OLI, de 25 de julho de 2015, órbita 215, pontos 64 e 65, disponível em <a href="http://landsat.usgs.gov/">http://landsat.usgs.gov/</a> .			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> CV2015			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camadas raster geotiff, resolução 30m, resultante do cálculo do índice de vegetação SAVI sobre a imagem do satélite Landsat 8 OLI, de 25/jul/2015, reamostrado para 300m, representando o percentual de cobertura vegetal.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> CV2015_min			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 1	<b>Média:</b> 0.415	<b>DP:</b> 0.118

<b>Indicador:</b> Cobertura vegetal 1990		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Para cálculo da variação da cobertura vegetal, foi necessário calcular o valor do percentual de cobertura vegetal em 1990.			
<b>Como calcular:</b> Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI), calculado sobre as bandas espectrais da imagem de satélite do final da estação chuvosa (junho, julho ou agosto), época em que a prevalece a vegetação arbórea e arbustiva na Caatinga na área de estudo, normalizado para a escala 0-1, com mínimo obtido de um pixel de solo totalmente exposto e máximo oriundo de um pixel de vegetação totalmente preservada.			
<b>Fonte de dados:</b> Imagem de satélite Landsat 5/TM, de 18 de junho de 1990, órbita 215, pontos 64 e 65, disponível em <a href="http://landsat.usgs.gov/">http://landsat.usgs.gov/</a> .			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> CV1990			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camadas raster geotiff, resolução 30m, resultante do cálculo do índice de vegetação SAVI sobre a imagem do satélite Landsat 5/TM, de 18 de junho de 1990, reamostrado para 300m, representando o percentual de cobertura vegetal.			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 1	<b>Média:</b> 0.371	<b>DP:</b> 0.124

<b>Indicador:</b> Mudança na cobertura vegetal		<b>Modelo DPSIR:</b> Pressão	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> ponto%	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A mudança na cobertura vegetal permanente indica o avanço ou retrocesso da desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Diferença entre os valores do índice de vegeção normalizado para duas datas distintas: 2015 e 1990 (25 anos), em pontos percentuais.			
<b>Fonte de dados:</b> Imagens de satélite Landsat 8/OLI (25/07/15) e Landsat 5/TM (18/06/90), órbita 215, pontos 64 e 65, disponíveis em <a href="http://landsat.usgs.gov/">http://landsat.usgs.gov/</a> .			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> CV15-90			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camada raster geotiff, resolução 30m, resultante da diferença entre os planos de informação do percentual de cobertura vegetal para os anos de 2015 e 1990 (25 anos), reamostrado para 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> CV15-90_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> -1	<b>Máx:</b> 1	<b>Média:</b> 0.043	<b>DP:</b> 0.109

<b>Indicador:</b> Carga animal		<b>Modelo DPSIR:</b> Pressão	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> UA/ha	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> O excesso de animais degrada a pastagem, compacta o solo e contribui para a degradação das terras.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a quantidade de Unidades Animal e a área de pasto plantado e nativo. Uma Unidade Animal (UA = 450 kg de peso vivo) corresponde a: bovinos (0,7 UA/cabeça), ovinos e caprinos (0,15 UA/ cabeça).			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 1749 e 1274			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> UAPHA			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o Número de Unidades Animal Por Hectare, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> UAPHA_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,253	<b>Máx:</b> 2,369	<b>Média:</b> 0,374	<b>DP:</b> 0,398

<b>Indicador:</b> Recorrência de incêndio		<b>Modelo DPSIR:</b> Pressão	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> focos/km <sup>2</sup>	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> A prática do uso do fogo e os incêndios florestais acentuam o processo de desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Mapa de densidade de Kernel a partir dos focos de incêndio na região (georreferenciados) para um determinado período (10 anos, 19/03/2006 a 16/03/2016).			
<b>Fonte de dados:</b> Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, INPE, disponível em <a href="http://www.inpe.br/queimadas">http://www.inpe.br/queimadas</a> , acesso em 16 de março de 2016.			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> Foco_Inc_serido_km2_UTM			

<b>Descrição do plano de informação:</b> Camada raster geotiff, resolução 300m, resultante do mapa de densidade de Kernel a partir das coordenadas dos focos de incêndio, com intensidade unitária e raio de influência de 2000m (dimensão aproximada do pixel da imagem do satélite).			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> INCENDIO_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 1.974	<b>Média:</b> 0.031	<b>DP:</b> 0,076

## Indicadores de estado

<b>Indicador:</b> Índice de aridez		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> adimensional	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Climas áridos e semiáridos acentuam os riscos à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial para as cidades e distritos da região.			
<b>Fonte de dados:</b> Costa e Brito (2004)			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> indice_aridez_serido_UTM			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camada raster geotiff derivada da interpolação (Krigagem) dos dados pontuais de índice de aridez para as cidades e distritos da região e entorno, com resolução de 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> IARIDEZ_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0.240334	<b>Máx:</b> 0.45847	<b>Média:</b> 0.21973	<b>DP:</b> 0.16079

<b>Indicador:</b> Índice de seca		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> adimensional	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A escassez prolongada de chuva potencializa o risco à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Quantidade de desvios padrão que afastaram a precipitação acumulada nos 48 meses que antecederam Dez/15 (quatro anos de seca) de sua média de longo prazo, representado pelo SPI ( <i>Standard Precipitation Index</i> ).			
<b>Fonte de dados:</b> CPTEC/INPE, disponível em <a href="http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt">http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt</a> (arquivo geotiff recebido por solicitação enviada por email).			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> SPI48_serido_UTM			
<b>Descrição do plano de informação:</b> SPI48 Dez/15 - Índice Padronizado de Precipitação para os 48 meses que antecederam Dez/15, camada raster geotiff, resolução 0.25°, reamostrada para resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> SPI48_nmim			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> -3.827	<b>Máx:</b> -1.393	<b>Média:</b> -2.888	<b>DP:</b> 0.473

<b>Indicador:</b> Grau de fertilidade do solo		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> baixa, média, alta	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Os solos com baixa fertilidade são mais susceptíveis à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Obtido do mapeamento das classes de solo e sua descrição: distrófico ou baixa fertilidade (LVd), normal ou média fertilidade (NC, SS) e eutrófico ou alta fertilidade (Ce, Lve, REe, Re)			
<b>Fonte de dados:</b> Brasil (1971, 1972)			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> GFSOL			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo texto da camada vetorial solos.shp que indica o nível de fertilidade de cada tipo de solo (distrófico, normal ou eutrófico), convertido em atributo numérico (1, 2 ou 3, respectivamente), e utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> GFSOL_nmim			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 1	<b>Máx:</b> 3	<b>Média:</b> 1.680	<b>DP:</b> 1.263

<b>Indicador:</b> Risco de erosão hídrica - declividade		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> A declividade do terreno representa diferentes riscos de erosão hídrica, apontando maior ou menor propensão à desertificação.			

<b>Como calcular:</b> Função da topografia. Plano (< 3%), Suave Ondulado (entre 3% e 8%), Ondulado (entre 8% e 20%), Forte Ondulado (entre 20% e 45%), Montanhoso (entre 45% e 75%) e Escarpado (> 75%).			
<b>Fonte de dados:</b> SRTM, Valeriano et al., 2009			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> declividade			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Camada raster geotiff, resolução 30m, resultante dos dados SRTM, processados e disponibilizados pelo projeto Topodata, reamostrado para resolução 300m.			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0.001	<b>Máx:</b> 0.728	<b>Média:</b> 0.094	<b>DP:</b> 0.099

<b>Indicador:</b> Risco de erosão hídrica - textura do tipo de solo		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> fraco, moderado, forte, muito forte	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> As diversas classes de textura do solo representam diferentes riscos de erosão hídrica, apontando maior ou menor propensão à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Função da erodibilidade das classes de solo. Fraco (LVd, LVe), Moderado(Ce, REe), Forte (Re) e Muito Forte (NC, SS), convertidas para 0.25, 0.50, 0.75 e 1.0, respectivamente.			
<b>Fonte de dados:</b> Brasil (1971, 1972); Lima et al. (2002), Sá et al. (2013)			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> RESOL			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo texto da camada vetorial solos.shp que indica o nível do potencial de erosão hídrica de cada tipo de solo, convertido em atributo numérico na escala (0,1), e utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,250	<b>Máx:</b> 1	<b>Média:</b> 0,566	<b>DP:</b> 0,421

<b>Indicador:</b> Risco de erosão hídrica		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Ambiental	<b>Unidade de medida:</b> adim	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> A susceptibilidade à desertificação é dependente do risco de erosão hídrica do solo, este uma função da cobertura vegetal, declividade do terreno e textura do tipo de solo.			
<b>Como calcular:</b> Média geométrica dos indicadores de cobertura vegetal, declividade do terreno e erodibilidade das classes de solo, conforme <b>Erro! Fonte de referência não encontrada.</b>			
<b>Fonte de dados:</b> indicadores CV2015, decliv_n e RESOL			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> REHSOL			
<b>Descrição do plano de informação:</b> camada raster, resolução 30m, derivada da aplicação da <b>Erro! Fonte de referência não encontrada.</b> ) na calculadora raster, reamostrada para 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> REHSOL_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0.098	<b>Máx:</b> 0.855	<b>Média:</b> 0.366	<b>DP:</b> 0.109

<b>Indicador:</b> Renda per capita rural		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> R\$(2010)	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Populações rurais com maior renda per capita representam menor risco à degradação ambiental por possuírem melhores condições de assegurar suas necessidades básicas.			
<b>Como calcular:</b> Valor do rendimento nominal médio mensal per capita dos domicílios rurais.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 3563.			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> RPCR2010			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Renda Per Capita Rural, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> RPCR2010_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 210,50	<b>Máx:</b> 531,62	<b>Média:</b> 194,49	<b>DP:</b> 146,87

<b>Indicador:</b> Produtividade das principais culturas temporárias - feijão		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> kg/ha/100mm	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Uma baixa produtividade vegetal, decorrente da degradação dos solos, torna a área mais susceptível à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a produção e a área colhida, no censo atual, para cada 100mm de chuva.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 1823			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> RCTF2006mm			

<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o Rendimento da Cultura Temporária Feijão, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> RCTF2006mm_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 19,71	<b>Máx:</b> 117,32	<b>Média:</b> 47,72	<b>DP:</b> 23,40

<b>Indicador:</b> Produtividade das principais culturas temporárias - milho		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Uso da terra	<b>Unidade de medida:</b> kg/ha/100mm	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Uma baixa produtividade vegetal, decorrente da degradação dos solos, torna a área mais susceptível à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a produção e a área colhida, no censo atual, para cada 100mm de chuva.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 1824			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> RCTM2006mm			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o Rendimento da Cultura Temporária Milho, em quilos por hectare, utilizados para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> RCTM2006mm_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 13,52	<b>Máx:</b> 425,67	<b>Média:</b> 95,07	<b>DP:</b> 88,16

<b>Indicador:</b> Densidade de população rural		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> hab/km <sup>2</sup>	<b>Relação com a desertificação:</b> Direta	
<b>Justificativa:</b> Uma maior densidade de população rural torna a área mais propensa ao processo de desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre a população rural e a área do município			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 3175			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> DPRUR			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Densidade de População RURAL, em habitantes por km <sup>2</sup> , utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> DPRUR_nmax			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 1,48	<b>Máx:</b> 20,42	<b>Média:</b> 7,51	<b>DP:</b> 5,00

<b>Indicador:</b> Estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres		<b>Modelo DPSIR:</b> Estado	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> Estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres oferecem menor risco à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Percentual da área dos estabelecimentos rurais gerenciados por mulheres em relação à área total			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censo Agropecuário 2006, SIDRA, Tabela 786			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> AEDM			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Área dos Estabelecimentos Dirigidos por Mulheres, em percentual da área total, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> AEDM_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,00	<b>Máx:</b> 0,29	<b>Média:</b> 0,07	<b>DP:</b> 0,05

## Indicadores de impacto

<b>Indicador:</b> Taxa de migração do campo para a cidade		<b>Modelo DPSIR:</b> Impacto	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> ponto%	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A migração de populações para a área urbana é sinal da presença da desertificação no meio rural.			
<b>Como calcular:</b> Variação entre os percentuais de população rural do censo atual (2010) e do censo anterior (2000), 10 anos.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, Censos Demográficos 2000 e 2010, SIDRA, Tabela 202			

<b>Plano de informação no QGIS:</b> VPR10			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a variação, em pontos percentuais, da população rural entre os anos de 2010 e 2000, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> VPR10_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> -0,26	<b>Máx:</b> 0,01	<b>Média:</b> -0,07	<b>DP:</b> 0,06

<b>Indicador:</b> Variação do valor adicionado da agropecuária no PIB		<b>Modelo DPSIR:</b> Impacto	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A degradação da terra promove a redução da produção agropecuária e sua participação no produto interno bruto.			
<b>Como calcular:</b> Inclinação da reta de regressão linear (tendência) da série de dados de 1999 a 2012 do valor adicionado da agropecuária no PIB municipal, normalizada para 100mm de chuva.			
<b>Fonte de dados:</b> IBGE, SIDRA, Tabela 21			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> VVAmm			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Variação, em pontos percentuais, do Valor Adicionado bruto da Agropecuária no PIB, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> VVAmm_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> -0,0036	<b>Máx:</b> 0,005	<b>Média:</b> 0,003	<b>DP:</b> 0,0015

## Indicadores de resposta

<b>Indicador:</b> Organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Institucional	<b>Unidade de medida:</b> unid/1000hab	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A estruturação de organizações sociais em torno do tema desenvolvimento sustentável favorece o combate à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Quantidade de organizações da sociedade civil (associações, cooperativas, sindicatos) por 1000 habitantes da área rural.			
<b>Fonte de dados:</b> Mapeamento das Organizações Sociais e de Produtores Familiares do Rio Grande do Norte (RN Sustentável, 2014) e Projeto Cooperar - Subprojetos, disponível em <a href="http://cooperar.pb.gov.br/?pg=dados_sociais">http://cooperar.pb.gov.br/?pg=dados_sociais</a> .			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> NONG			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o número de organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no município, por 1000 habitantes rurais, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> NONG_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 4,6	<b>Máx:</b> 37,23	<b>Média:</b> 7,44	<b>DP:</b> 7,20

<b>Indicador:</b> Domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A presença de tecnologias sociais de acesso à água (cisternas de consumo e produção, barragem subterrânea, barreiro trincheira, tanque de pedra) reduz os impactos sociais da desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Relação entre o número de domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água e número de domicílios rurais total.			
<b>Fonte de dados:</b> Sistema Cisternas, disponível em <a href="http://aplicacoes.mds.gov.br/cistesc">http://aplicacoes.mds.gov.br/cistesc</a> , acesso em 21/05/2016, e IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 1395			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> DTSAA			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o percentual de Domicílios rurais beneficiados com Tecnologias Sociais de Acesso à Água, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> DTSAA_nmin			
<b>Estatística básica</b>			



<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 0,89	<b>Média:</b> 0,22	<b>DP:</b> 0,24
---------------	------------------	--------------------	-----------------

<b>Indicador:</b> Organismos governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Institucional	<b>Unidade de medida:</b> unid	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A estruturação do governo e das instituições públicas de pesquisa em torno do tema desenvolvimento sustentável favorece o combate à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Quantidade de secretarias e órgãos do governo municipal que tratam do tema meio ambiente e quantidade de instituições de ensino e pesquisa federais e estaduais com cursos na área ambiental.			
<b>Fonte de dados:</b> Portais dos governos municipais e das instituições de ensino e pesquisa.			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> NOGIP			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o número de Organismos Governamentais e Instituições de ensino e Pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável no município, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> NOGIP_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 2	<b>Média:</b> 0,66	<b>DP:</b> 0,59

<b>Indicador:</b> Programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Institucional	<b>Unidade de medida:</b> unid	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A existência de programas de desenvolvimento sustentável financiados com recursos públicos favorece o combate à desertificação.			
<b>Como calcular:</b> Quantidade de programas de desenvolvimento sustentável estaduais, regionais e municipais financiados com recursos públicos.			
<b>Fonte de dados:</b> Portais dos governos estaduais e municipais.			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> NPDRS			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica o número de programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável no município, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> NPDRS_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 2	<b>Máx:</b> 3	<b>Média:</b> 2,53	<b>DP:</b> 0,50

<b>Indicador:</b> Variação da participação das transferências governamentais		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Socioeconomia	<b>Unidade de medida:</b> %	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A transferência de renda efetuada pelos governos através de programas sociais e da aposentadoria do trabalhador rural contribuem para a redução da pobreza e, conseqüentemente, da pressão sobre os recursos naturais.			
<b>Como calcular:</b> Variação da participação das transferências governamentais na renda total entre 1991 e 2010			
<b>Fonte de dados:</b> PNUD, Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil, disponível em <a href="http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/">http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/</a>			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> VPTR10-91			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial municipios.shp, que indica a Variação da Participação das Transferências governamentais na Renda total, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> VPTR10-91_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0,008	<b>Máx:</b> 0,345	<b>Média:</b> 0,200	<b>DP:</b> 0,084

<b>Indicador:</b> Nível de proteção por unidade de conservação.		<b>Modelo DPSIR:</b> Resposta	
<b>Tema:</b> Institucional	<b>Unidade de medida:</b> nulo, uso sustentável, proteção integral	<b>Relação com a desertificação:</b> Inversa	
<b>Justificativa:</b> A presença de unidades de conservação inibe a degradação das terras.			
<b>Como calcular:</b> Mapeamento das unidades de conservação, disponível em formato shape, definindo um atributo numérico (0, 1 ou 2) referente ao nível de proteção (nulo, uso sustentável ou proteção integral).			

<b>Fonte de dados:</b> Ministério do Meio Ambiente, disponível em <a href="http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georeferenciados">http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georeferenciados</a>			
<b>Plano de informação no QGIS:</b> NPUC			
<b>Descrição do plano de informação:</b> Atributo numérico da camada vetorial uc_serido.shp que indica o Nível de Proteção por Unidade de Conservação, convertido do atributo texto do tipo de unidade de conservação, utilizado para geração da camada raster geotiff, resolução 300m.			
<b>Plano de informação no GRASS para r.mcda.promethee:</b> NPUC_nmin			
<b>Estatística básica</b>			
<b>Mín:</b> 0	<b>Máx:</b> 2	<b>Média:</b> 0.002	<b>DP:</b> 0.063

## Apêndice 2 - Questionário para coleta dos pesos a serem atribuídos a cada indicador

### Indicadores para Desertificação

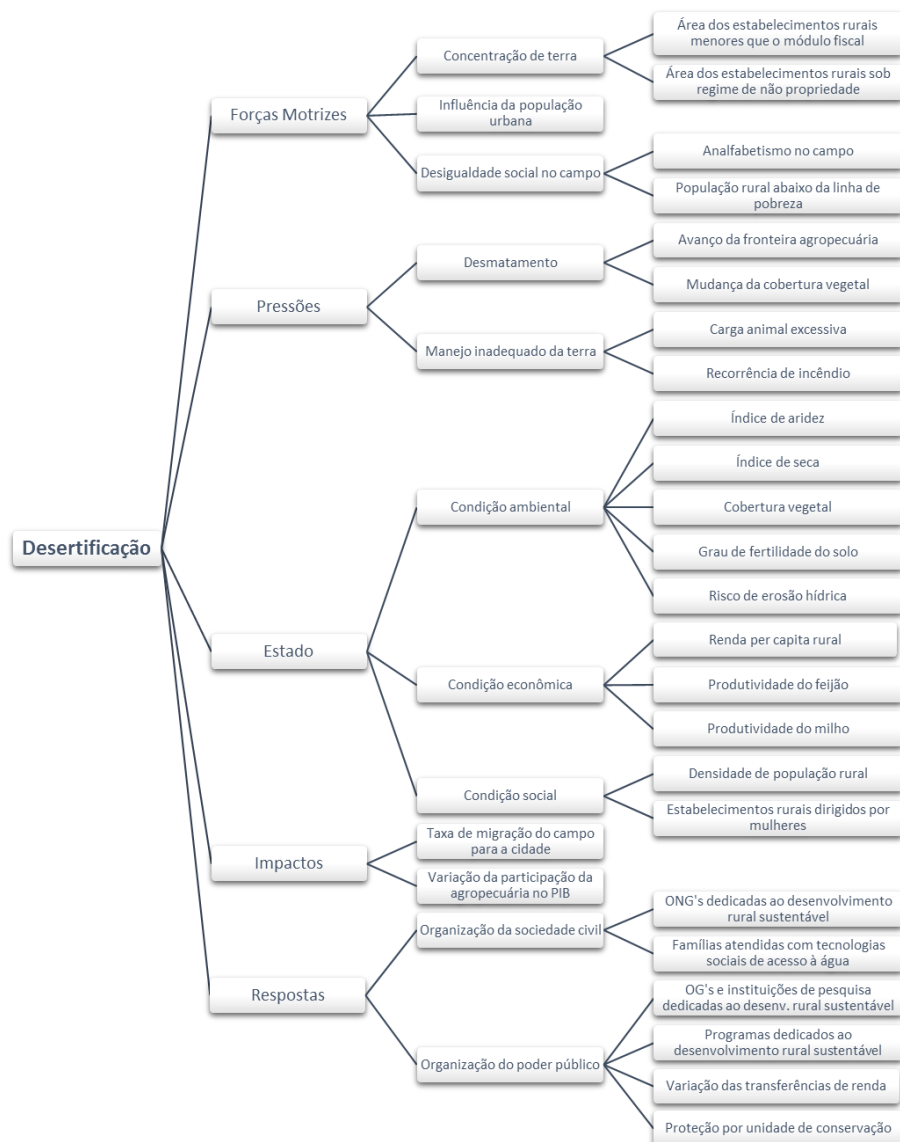
O presente questionário foi elaborado com o objetivo de definir o quão bem os indicadores aqui selecionados caracterizam o processo de desertificação, através da indicação de nota 0 (sem opinião formada), 1 (não caracteriza), 2 (pouco caracteriza), 3 (caracteriza), 4 (caracteriza bem) ou 5 (caracteriza muito bem). As notas serão utilizadas na estruturação de um sistema de análise integrada para avaliação do grau de severidade do processo de desertificação em regiões do Semiárido brasileiro.

Os indicadores foram obtidos para a escala municipal, através dos censos demográfico e agropecuário, de consultas e mapeamentos diversos, e organizados em árvore hierárquica, conforme figura a seguir. Para facilitar o entendimento da cadeia de causas e efeitos do fenômeno, foram agrupados nas seguintes categorias: causas estruturais, causas diretas, predisposição à desertificação, consequências e iniciativas de combate e mitigação. A indicação de notas será solicitada por nível hierárquico, iniciando-se pelo primeiro à esquerda, até o terceiro à direita, dos indicadores propriamente ditos.

Para guardar a consistência do questionário, é necessário responder a todas as questões de um nível para avançar para o próximo. O tempo estimado para preenchimento é de 10 a 20 minutos.

\*Obrigatório

### Árvore de indicadores



## Como melhor podemos caracterizar o processo de desertificação em uma região, para fins de seu enfrentamento?

1. Por meio de suas causas estruturais? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

2. Por meio de suas causas diretas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

3. Por meio da predisposição da área à desertificação? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

4. Por meio de suas consequências? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

5. Por meio das iniciativas de combate e mitigação? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

## Como melhor podemos caracterizar as causas estruturais da desertificação?

6. Através da concentração de terra? \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

7. Através da desigualdade social no campo? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

8. Através da pressão da população urbana sobre os recursos naturais de seu entorno? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar as causas diretas da desertificação?

9. Por meio do desmatamento? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

10. Por meio do manejo inadequado da terra? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar a predisposição de uma área à desertificação?

11. Através da condição do meio ambiente? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

12. Através da condição econômica da população? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

13. Através da condição social da população? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar as consequências da desertificação?

14. Por meio da migração do campo para a cidade? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

15. Por meio da redução da renda da atividade agropecuária? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar as iniciativas de combate à desertificação?

16. Através das ações da sociedade civil? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

17. Através das ações do poder público? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

## Como melhor podemos caracterizar a concentração de terras como causa estrutural da desertificação?

18. Por meio da área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

19. Por meio da área dos estabelecimentos rurais nas mãos de não proprietários? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

## Como melhor podemos caracterizar a desigualdade social no campo como causa estrutural da desertificação?

20. Através da taxa de analfabetismo? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

21. Através da população rural abaixo da linha de pobreza? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

## Como melhor podemos caracterizar o desmatamento como causa direta da desertificação?

22. Por meio do avanço da fronteira agropecuária? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

23. Por meio da mudança da cobertura vegetal? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar o manejo inadequado da terra como causa direta da desertificação?

24. Através da carga animal excessiva? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

25. Através da frequência do uso do fogo? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar a predisposição ambiental de uma área à desertificação?

26. Por meio do índice de aridez? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

27. Por meio do índice de seca? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

28. Por meio da cobertura vegetal? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem



29. Por meio do grau de fertilidade do solo? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

30. Por meio do risco de erosão hídrica do solo? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar a predisposição econômica de uma área à desertificação?

31. Através da renda per capita rural? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

32. Através da produtividade do feijão? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

33. Através da produtividade do milho? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Como melhor podemos caracterizar a predisposição social de uma área à desertificação?

34. Por meio da densidade de população rural? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

35. Por meio da quantidade de estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

### Como melhor podemos caracterizar as iniciativas da sociedade civil de combate à desertificação e mitigação de seus efeitos?

36. Através da quantidade de organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

37. Através da quantidade de famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

### Como melhor podemos caracterizar as iniciativas do poder público de combate à mitigação de seus efeitos?

38. Por meio da quantidade de organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

39. Por meio da quantidade de programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

40. Por meio do alcance dos programas de transferência de renda? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

41. Por meio das áreas protegidas através de unidades de conservação? \*

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	
Sem opinião formada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caracteriza muito bem

Por favor, identifique-se.

42. Nome:

---

43. Nível de escolaridade \*

Marcar apenas uma oval.

- Técnico/Básico
- Graduação
- Especialização
- Mestrado
- Doutorado

44. Área de formação profissional \*

---

45. Tipo de atuação profissional \*

Marque todas que se aplicam.

- Professor
- Pesquisador
- Gestor público ou privado
- Assessor técnico
- Outro

46. Se desejar, deixe aqui seu comentário.

---

---

---

---

O INSA e a UFCG agradecem sua participação.

### Apêndice 3 – Respostas ao questionário de coleta dos pesos a serem atribuídos a cada indicador

Questão	Categoria FPEIR / Grupo de indicadores / Indicadores	Entrevistados																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Causas estruturais	3	4	2	5	4	1	2		4	4	4	2	4	4	4	5	5	
2	Causas diretas	5	4	5	5	5	5	4	4	2	5	5	5	5	4	3	5	4	
3	Predisposição da área à desertificação	5	4	2	5	3	4	5	5	4	1	3	2	4	3	4	5	4	
4	Consequências	3	3	2	5	3	1	1	2	5	5	5	2	2	5	4	4	3	
5	Iniciativas de combate e mitigação	2	2	1	4	2	2	1	3	1	5	3	3	2	4	4	4	3	
6	Concentração de terra	2	4	2	5	2	2	4		2	5	4	3	4	3	3	5	5	
7	Desigualdade social no campo	4	3	2	5	1	3	2	2	5	5	4	3	5	3	3	5	5	
8	Pressão da população urbana sobre os recursos naturais de seu entorno	3	2	3	5	2	1	3	1	4	5	3	2	2	5	3	2	4	
9	Desmatamento	5	5	4	5	4	5	3	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	
10	Manejo inadequado da terra	5	5	3	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	
11	Condição do meio ambiente		4	3	5	4	5	5	2	3	5	3	5	5	2	4	5	4	
12	Condição econômica da população	2	4	2	4	2	4	2	3	5	4	3	2	2	3	4	4	4	
13	Condição social da população		2	2	4	2	1	2	3	5	5	3	1	3	4	4	4	4	
14	Migração do campo para a cidade	3	4	2	4	2	1	2	1	2	5	4	3	2	2	3	5	2	
15	Redução da renda da atividade agropecuária	2	5	2	4	2	3	3	2	3	5	5	3	4	4	4	5	3	
16	Ações da sociedade civil	2	5		5	3	2	3	3	3	5	3	3	3	4	4	4	3	
17	Ações do poder público	2	5	2	5	3	5	4	4	3	5	3	4	3	4	4	5	4	
18	Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal	3	4	1	5	2	1	4		3	5	3	4	5	3	2	3	2	
19	Área dos estabelecimentos rurais nas mãos de não proprietários	1	2	1	5	2	5	4		4	5	4	2	2	3	3	4	2	
20	Taxa de analfabetismo	2	2	2	4	1	1	4	3	5	5	4	2	5	3	3	5	2	
21	População rural abaixo da linha de pobreza	4	4	2	4	1	5	4	3	4	5	4	1	5	3	3	5	5	
22	Avanço da fronteira agropecuária	2	5	2	5	2	5	2	5	4	5	5	5	5	5	4	3	1	
23	Mudança da cobertura vegetal	5	5	5	5	5	1	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	1	
24	Carga animal excessiva	4	5	3	5	4	5	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5	1	
25	Frequência do uso do fogo	4	4	2	5	4	4	3	4	3	5	5	4	4	4	4	4	3	
26	Índice de aridez	3	4	4	5	5	4	2	4	3	5	3	5	5	4	3	5	5	
27	Índice de seca	3	4	1	5	5	4	2	4	4	5	3	3	4	4	3	4	5	
28	Cobertura vegetal	5	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	3	5	4	
29	Grau de fertilidade do solo	4	2	5	4	5	1	5	3	5	5	4	4	3	3	3	5	5	
30	Risco de erosão hídrica do solo	4	4	4	4	5	5	5	3	4	5	5	4	4	5	4	5	3	
31	Renda per capita rural	4	4	1	4	2	5	1	3	4	4	3	2	5	3	3	4	4	
32	Produtividade do feijão	2	4	1	4	1	1	5	2	2	4	3	2		3	2	3		
33	Produtividade do milho	2	4	1	4	1	1	5	2	2	4	3	2		3	2	3		
34	Densidade de população rural	4	4	1	5	1		4	2	3	5	4	2	5	4	4	1	2	
35	Quantidade de estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres	2	3	1	4	1		4	1	3	1		1		5	3	1	2	
36	Quantidade de organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável?	3	5	1	5	4	5	4	2	3	5	3	3	3	3	4	4	3	
37	Quantidade de famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água	3	4	1	5	3	5	5	3	4	5	4	2	3	5	3	4	3	
38	Quantidade de organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável	4	5	1	5	4	4	4	3	3	5	3	3	3	3	4	4	4	
39	Quantidade de programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável	5	5	1	5	4	5	5	3	4	5	4	3	3	4	4	5	4	
40	Programas de transferência de renda	4	4	2	4	2	5	3	2	5	5	4	2	3	4	3	5	2	
41	Áreas protegidas através de unidades de conservação	3	4	1	5	5	5	4	3	4	5	4	4	5	4	4	5	3	
	Total	128	159	88	191	122	131	145	112	151	192	155	127	146	155	142	173	137	168

Questão	Categoria FPEIR / Grupo de indicadores / Indicadores	Entrevistados															Média	DP	Variância (respostas)
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
1	Causas estruturais	2	5	2	3	3	4	5	5	4	3	3		5	5	3,7	1,15	1,33	
2	Causas diretas	4	4	3	4	3	5	5	5	5	3	5	5	4	4	4,4	0,8	0,69	
3	Predisposição da área à desertificação	4	5	4	3	4	5	5	5	3	4	3	5	4	4,0	1,1	1,13		
4	Consequências	3	5	4	4	3	3	5	5	4	5	5	4	5	3	3,6	1,3	1,67	
5	Iniciativas de combate e mitigação	2	4	4	4	4	2	3	4	5	4	5	5	5	1	3,2	1,3	1,71	
6	Concentração de terra	2	4	2	4	2	3	3	5	4	2		5	5	5	3,5	1,2	1,43	
7	Desigualdade social no campo	2	5	2	4	2	3	3	5	4	3	3	5	5	3	3,6	1,2	1,54	
8	Pressão da população urbana sobre os recursos naturais de seu entorno	4	3	3	4	4	3	5	3	5	5	5	3	4	4	3,4	1,2	1,41	
9	Desmatamento	5	5	4	4	4	2	5	5	4	4	5	5	5	4	4,5	0,7	0,52	
10	Manejo inadequado da terra	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,7	0,5	0,27	
11	Condição do meio ambiente	3	5	4	3	3	4	4	4	5	4	5	5	5	3	4,1	1,0	0,93	
12	Condição econômica da população	2	3	2	4	3	4	3	4	4	2	2	5	5	5	3,3	1,1	1,20	
13	Condição social da população	2	5	2	4	3	3	4	2	3	2	3		5	4	3,2	1,2	1,48	
14	Migração do campo para a cidade	2	4	3	2	3	3	4	3	3	4	3	5	4	4	3,1	1,1	1,22	
15	Redução da renda da atividade agropecuária	4	5	3	3	4	3	4	4	4	2	2	2	5	5	3,5	1,1	1,16	
16	Ações da sociedade civil	3	5	3	4	3	4	4	4	4	4	4	5	4	5	3,7	0,9	0,75	
17	Ações do poder público	3	5	3	3	4	4	4	1	4	4	4	3	5	5	3,8	1,0	1,06	
18	Área dos estabelecimentos rurais menores que o módulo fiscal	2	3	3	3		3	3	4		2	5	4	4	4	3,3	1,2	1,35	
19	Área dos estabelecimentos rurais nas mãos de não proprietários	1	4	3	3		3	4	3		4	4		5	5	3,3	1,3	1,71	
20	Taxa de analfabetismo	2	5	3	4	5	2	2	3	2		4	2	5	4	3,2	1,3	1,71	
21	População rural abaixo da linha de pobreza	3	5	2	4	3	4	3	4	4		4	4	5	3	3,7	1,1	1,28	
22	Avanço da fronteira agropecuária	3	5	3	3	4	2	4	4	3	4	1	5	5	4	3,7	1,3	1,69	
23	Mudança da cobertura vegetal	4	4	5	3	5	2	5	4	4	4	4	5	5	5	4,3	1,1	1,24	
24	Carga animal excessiva	3	5	4	4	3	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4,2	0,9	0,76	
25	Frequência do uso do fogo	4	5	4	3	5	5	5	3	4	5	4	4	4	5	4,1	0,8	0,58	
26	Índice de aridez	4	5	3	5	3	4	5	4	4	4	4	2	5	4	4,0	0,9	0,81	
27	Índice de seca	3	5	3	4	3	4	5	4	4	3	4	2	5	5	3,8	1,0	1,02	
28	Cobertura vegetal	4	3	4	3	4	4	5	3	5	3	4	5	5	5	4,3	0,8	0,62	
29	Grau de fertilidade do solo	3	4	3	2	3	3	5	3	3	2	4	5	5	4	3,7	1,1	1,24	
30	Risco de erosão hídrica do solo	3	5	3	4	3	4	5	4	5	4	1	5	5	4	4,1	0,9	0,82	
31	Renda per capita rural	3	5	3	4	3	3	3	3	3	1	4	5	4	5	3,4	1,1	1,28	
32	Produtividade do feijão	2	4	2	4	1	2	2	3			1	2	1	3	2,5	1,2	1,37	
33	Produtividade do milho	2	4	2	4	1	2	2	3			1	2	1	3	2,5	1,2	1,37	
34	Densidade de população rural	4	2	3	4	3	4	5	4		3	1	5	2	5	3,3	1,3	1,82	
35	Quantidade de estabelecimentos rurais dirigidos por mulheres	1	1	3	2	3	1	1	3		4	1		1	4	2,3	1,3	1,74	
36	Quantidade de organizações sociais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável?	4	4	2	3	3	4	3	4	4	5	3	4	2	5	3,6	1,0	1,03	
37	Quantidade de famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água	4	5	2	3	3	3	5	4	5	3	3	4	5	4	3,7	1,1	1,11	
38	Quantidade de organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável	2	5	3	3	4	3	5	4	2	3	3	2	4	5	3,6	1,0	1,03	
39	Quantidade de programas dedicados ao desenvolvimento rural sustentável	2	5	3	3	4	4	5	4	4	4	3	4	5	5	4,0	1,0	0,97	
40	Programas de transferência de renda	3	2	3	3	3	4	4	4	2	3	3	4	5	4	3,4	1,0	1,03	
41	Áreas protegidas através de unidades de conservação	4	4	3	4	5	4	4	3	2	4	3	5	3	3	3,8	1,0	0,91	
																Soma das variâncias das respostas		47,97	
		Total	121	176	124	144	130	139	166	155	136	130	134	150	177	172	Variância dos totais	540,82	

## Apêndice 4 – Planos de informação, vetores de pesos e comandos GRASS para cálculo dos índices multicriteriais de desertificação

### IMD-F: Forças Motrizes

#### Planos de informação:

AEMMF\_nmax, AERNP\_nmax, INFPOP\_nmax, ANALF\_nmax, PRALP\_nmax

#### Vetor de pesos:

0.167,0.167,0.324,0.159,0.184

#### Comandos:

##### Análise multicritério:

```
r.mcd.promethee criteria=AEMMF_nmax@Promethee,AERNP_nmax@Promethee,INFPOP_nmax@Promethee,ANALF_nmax@Promethee,PRALP_nmax@Promethee weight=0.167,0.167,0.324,0.159,0.184 positiveflow=ForcaMotriz+ negativeflow=ForcaMotriz-
```

##### Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="ForcaMotriz+_nodata" = if( "ForcaMotriz+@Promethee" ==0 ,null() , "ForcaMotriz+@Promethee" )
r.mapcalc expression="ForcaMotriz-_nodata" = if( "ForcaMotriz-@Promethee" ==0 ,null() , "ForcaMotriz-@Promethee" )
```

##### Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression=ForcaMotriz = "ForcaMotriz+_nodata@Promethee" - "ForcaMotriz-_nodata@Promethee"
```

##### Normalização do índice

```
r.mapcalc expression="IMD-F" = ( ForcaMotriz@Promethee - ( -4912.1 ) ) / ( 7321.8 - ( -4912.1 ) )
```

### IMD-P: Pressões

#### Planos de informação:

AFAGP\_nmax, CV15-90\_nmin, UAPHA\_nmax, INCENDIO\_nmax

#### Vetor de pesos:

0.226,0.263,0.259,0.252

#### Comandos:

##### Análise multicritério:

```
r.mcd.promethee criteria=AFAGP_nmax@Promethee,CV15_90_nmin@Promethee,UAPHA_nmax@Promethee,INCENDIO_nmax@Promethee weight=0.226,0.263,0.259,0.252 positiveflow=Pressao+ negativeflow=Pressao-
```

##### Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="Pressao+_nodata" = if( "Pressao+@Promethee" ==0 ,null() , "Pressao+@Promethee" )
r.mapcalc expression="Pressao-_nodata" = if( "Pressao-@Promethee" ==0 ,null() , "Pressao-@Promethee" )
```

##### Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression=Pressao = "Pressao+_nodata@Promethee" - "Pressao-_nodata@Promethee"
```

##### Normalização do índice

```
r.mapcalc expression="IMD-P" = ( Pressao@Promethee - ( -6646.8 ) ) / ( 13248.7 - ( -6646.8 ) )
```

### IMD-E: Estado

#### Planos de informação:

IARIDEZ\_nmin, SPI48\_nmim, CV2015\_min, GFSOL\_nmim, REHSOL\_nmax, RPCR2010\_nmin, RCTF2006mm\_nmin, RCTM2006mm\_nmin, DPRUR\_nmax, AEDM\_nmin

#### Vetor de pesos:

0.078,0.074,0.084,0.072,0.080,0.126,0.093,0.093,0.178,0.124

#### Comandos:

##### Análise multicritério:

```
r.mcd.promethee criteria=IARIDEZ_nmin@Promethee,SPI48_nmim@Promethee,CV2015_min@Promethee,GFSOL_nmim@Promethee,REHSOL_nmax@Promethee,RPCR2010_nmim@Promethee,RCTF2006mm_nmin@Promethee,RCTM2006mm_nmin@Promethee,DPRUR_nmax@Promethee,AEDM_nmin@Promethee weight=0.078,0.074,0.084,0.072,0.080,0.126,0.093,0.093,0.178,0.124 positiveflow=Estado+ negativeflow=Estado-
```

Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="Estado+_nodata" = if( "Estado+@Promethee" ==0,null() , "Estado+@Promethee" )
r.mapcalc expression="Estado-_nodata" = if( "Estado-@Promethee" ==0,null() , "Estado-@Promethee" )
```

Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression=Estado = "Estado+_nodata@Promethee" - "Estado-_nodata@Promethee"
```

Normalização do índice

```
r.mapcalc expression="IMD-E" = ( Estado@Promethee - ( -2955.5 ) ) / ( 2919.7 - ( -2955.5 ) )
```

### **IMD-I: Impactos**

**Planos de informação:**

VPR10\_nmin, VVAamm\_nmin

**Vetor de pesos:**

0.470,0.530

**Comandos:**

Análise multicritério:

```
r.mcd.promethee criteria=VPR10_nmin@Promethee,VVAamm_nmin@Promethee weight=0.470,0.530
positiveflow=Impacto+ negativeflow=Impacto-
```

Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="Impacto+_nodata" = if( "Impacto+@Promethee" ==0 ,null() , "Impacto+@Promethee")
r.mapcalc expression="Impacto-_nodata" = if( "Impacto-@Promethee" ==0 ,null() , "Impacto-@Promethee")
```

Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression=Impacto = "Impacto+_nodata@Promethee" - "Impacto-_nodata@Promethee"
```

Normalização do índice

```
r.mapcalc "IMD-I" = ( Impacto@Promethee - (-22420.9) ) / ( 24496.5 - (-22420.9) )
```

### **IMD-R: Respostas**

**Planos de informação:**

NOGIP\_nmin, NPDRS\_nmin, VPTR10-91\_nmin, NPUC\_nmin, NONG\_nmin, DTSAA\_nmin

**Vetor de pesos:**

0.120,0.133,0.113,0.127,0.250,0.257

**Comandos:**

Análise multicritério:

```
r.mcd.promethee criteria=NOGIP_nmin@Promethee,NPDRS_nmin@Promethee,VPTR10_91_nmin@Promethee,
NPUC_nmin@Promethee,NONG_nmin@Promethee,DTSAA_nmin@Promethee
weight=0.120,0.133,0.113,0.127,0.250,0.257 positiveflow=Resposta+ negativeflow=Resposta-
```

Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="Resposta+_nodata" = if( "Resposta+@Promethee" ==0 ,null() ,
"Resposta+@Promethee")
r.mapcalc expression="Resposta-_nodata" = if( "Resposta-@Promethee" ==0 ,null() , "Resposta-
@Promethee")
```

Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression=Resposta = "Resposta+_nodata@Promethee" - "Resposta-_nodata@Promethee"
```

Normalização do índice

```
r.mapcalc expression="IMD-F" = ( Resposta@Promethee - ( -5279.1 ) ) / ( 4819.5 - ( -5279.1 ) )
```

### **IMD: Desertificação (Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos, Respostas)**

**Planos de informação:**

AEMMF\_nmax, AERNP\_nmax, INFPOP\_nmax, ANALF\_nmax, PRALP\_nmax, AFAGP\_nmax, CV15-90\_nmin, UAPHA\_nmax, INCENDIO\_nmax, IARIDEZ\_nmin, SPI48\_nmin, CV2015\_min, GFSOL\_nmin, REHSOL\_nmax, RPCR2010\_nmin, RCTF2006mm\_nmin, RCTM2006mm\_nmin, DPRUR\_nmax, AEDM\_nmin, VPR10\_nmin, VVAamm\_nmin, NOGIP\_nmin, NPDRS\_nmin, VPTR10-91\_nmin, NPUC\_nmin, NONG\_nmin, DTSAA\_nmin

**Vetor de pesos:**

0.033,0.033,0.063,0.031,0.036,0.053,0.061,0.060,0.059,0.016,0.016,0.018,0.015,0.017,0.027,0.020,0.020,0.038,0.026,0.089,0.101,0.020,0.023,0.019,0.021,0.042,0.043

## Comandos:

### Análise multicritério:

```
r.mcda.promethee criteria=AEMMF_nmax@Promethee,AERNP_nmax@Promethee,INFPOP_nmax@Promethee,ANALF_nmax@Promethee,PRALP_nmax@Promethee,AFAGP_nmax@Promethee,CV15_90_nmin@Promethee,UAPHA_nmax@Promethee,INCENDIO_nmax@Promethee,IARIDEZ_nmin@Promethee,SPI48_nmim@Promethee,CV2015_min@Promethee,GFSOL_nmim@Promethee,REHSOL_nmax@Promethee,RP CR2010_nmim@Promethee,RCTF2006mm_nmin@Promethee,RCTM2006mm_nmin@Promethee,DPRUR_nmax@Promethee,AEDM_nmin@Promethee,VPR10_nmin@Promethee,VVAmm_nmin@Promethee,NOG IP_nmin@Promethee,NPDRS_nmin@Promethee,VPTR10_91_nmin@Promethee,NPUC_nmim@Promethee,NONG_nmin@Promethee,DTSAA_nmin@Promethee  
weight=0.033,0.033,0.063,0.031,0.036,0.053,0.061,0.060,0.059,0.016,0.016,0.018,0.015,0.017,0.027,0.020,0.020,0.038,0.026,0.089,0.101,0.020,0.023,0.019,0.021,0.042,0.043 positiveflow=Desertificacao+  
negativeflow=Desertificacao-
```

### Transformação dos valores externos à área de estudo (zero) em *nodata*:

```
r.mapcalc expression="Desertificacao+_nodata" = if( " Desertificacao+@Promethee" ==0 ,null(), " Desertificacao+@Promethee")  
r.mapcalc expression=" Desertificacao-_nodata" = if( " Desertificacao-@Promethee" ==0 ,null(), " Desertificacao-@Promethee")
```

### Cálculo do fluxo de importância líquido:

```
r.mapcalc expression= Desertificacao = " Desertificacao+_nodata@Promethee" - " Desertificacao-_nodata@Promethee"
```

### Normalização do índice

```
r.mapcalc expression="IMD" = ( Desertificacao@Promethee - ( -956.8 ) ) / ( 937.0 - ( -956.8 ) )
```