



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



KAMILA SOUZA SANTOS

**INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E CLIMÁTICA
NOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

ORIENTADOR: MADSON TAVARES SILVA

Campina Grande - PB

Agosto de 2022

KAMILA SOUZA SANTOS

**INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E CLIMÁTICA
NOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

Tese de Doutorado do Curso Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA

Área de concentração: Engenharia de Recursos Naturais

Campina Grande - PB

Agosto de 2022

S237i

Santos, Kamila Souza.

Influência da vulnerabilidade socioeconômica e climática nos processos de degradação das terras do Estado do Rio Grande do Norte / Kamila Souza Santos. – Campina Grande, 2022.

120 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. Madson Tavares Silva".

Referências.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Análise Multivariada – Risco e Desigualdade. 4. Mapbiomas. 5. Series Temporais. 6. Uso e Cobertura da Terra. 7. Nordeste do Brasil – Região Semiárida – Caatinga. 8. Engenharia de Recursos Naturais. I. Silva, Madson Tavares. II. Título.

CDU 528.8(043)

FICHA CATALOGráfICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

KAMILA SOUZA SANTOS

**INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E CLIMÁTICA
NOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

Tese de Doutorado do Curso Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Madson Tavares Silva - UFCG

Orientador

Prof. Dr. José Dantas Neto - UFCG

Examinador interno

Prof.(a) Dr.(a) Viviane Farias Silva - UFCG

Examinador interno

Dr. Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão - ITV-DS

Examinador externo

Dr. Bruce Kelly da Nobrega Silva - INSA

Examinador externo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM RECURSOS NATURAIS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata da Décima sexta sessão pública de Defesa de **Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao 29 dia do mês de Agosto de 2022, às **14:00** horas, **por meio de videoconferência** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **Madson Tavares Silva/UFCG**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **José Dantas Neto/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão/ITV-DS**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Bruce Kelly da Nobrega Silva/INSA**, como membro externo; , a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 36/2022** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) Kamila Souza Santos** candidato(a) ao Grau de **Doutor(a)** em Engenharia de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **Madson Tavares Silva/UFCG**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Tese sob o título: **"INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E CLIMÁTICA NOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE"** Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Naturais**, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **Madson Tavares Silva/UFCG**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembleia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de **30 dias**, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 29 de Agosto de 2022.

Assinaturas:

Candidata: Kamila Souza Santos

Presidente: Dr. Madson Tavares Silva /UFCG

Examinador interno: Prof. Dr. José Dantas Neto/UFCG

Examinador interno: Prof.(a) Dr.(a) Viviane Farias Silva/UFCG

Examinador externo: Dr. Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão/ITV-DS

Examinador externo: Dr. Bruce Kelly da Nobrega Silva/INSA



Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2022, às 20:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDIVALDO AFONSO DE OLIVEIRA SERRÃO, Usuário Externo**, em 05/09/2022, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2022, às 13:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2022, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **BRUCE KELLY DA NOBREGA SILVA, Usuário Externo**, em 12/09/2022, às 12:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **KAMILA SOUZA SANTOS, Usuário Externo**, em 14/09/2022, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2655557** e o código CRC **4A7C5A7B**.

Referência: Processo nº 23096.055915/2022-50

“Nada é tão nosso, quanto nossos sonhos”.
(Autor desconhecido)

DEDICATÓRIA

*A meus pais **Edivaldo Dax** e **Katia Souza**, a minha irmã **Karina** e a minha avó **Aracy Maciel** (In memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por me dar saúde, força e foco para alcançar meus objetivos e por me guiar neste caminho. Aos meus familiares que me apoiaram em todos os momentos, principalmente nos que foram mais difíceis durante essa trajetória. Toda minha gratidão!

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Madson Tavares Silva, pela paciência em me conduzir até aqui e sempre repassar seus conhecimentos, que foram de suma importância na realização desse trabalho. Por todos seus ensinamentos acadêmicos e troca de experiências, que foram de grande importância, tornando-se essenciais para o resultado final.

Aos meus amigos (Livia Lima, Welinagila Grangeiro, Thais Mendes, André Oliveira, Jamilly Dias, Mariana Siqueira, Silania Andrade e Romero Wanzeler). Por me apoiarem, torcerem e acreditarem em mim. Obrigada pelos momentos inesquecíveis.

Também digo “muito obrigada” aos professores e funcionários em geral do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pelos ensinamentos durante o curso, e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos durante todo o curso.

Encerro aqui mais um ciclo da vida acadêmica e que quero agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Obrigada!

INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E CLIMÁTICA NOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO

O estado do Rio Grande do Norte (RGN) enfrenta processos de desmatamento de áreas com vegetação nativa, uso intenso das terras, tanto na agricultura quanto na pecuária, essa problemática não deve ser vista apenas como uma questão de ordem ambiental, mas um problema de caráter e efeitos transdisciplinares, áreas de ordem social, econômica, política, ambiental e cultural. O presente trabalho teve como objetivo analisar a vulnerabilidade socioeconômica nos municípios do Estado do RGN, a partir de variáveis descritoras de duas principais dimensões: Socioeconômica e Demográfica, assim como compreender a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões do Estado do RGN, no período de 1985 a 2018. As variáveis incluídas no estudo são do Censo demográfico de 2010 do (IBGE) e do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. A metodologia tomou por base a aplicação de estatística multivariada a partir da técnica de análise fatorial, assim como a análise de agrupamento, gerada através da amplitude da cobertura florestal, foram aplicados testes de tendência de Mann-Kendall, Sen e homogeneidade, utilizou-se a base de dados tabulares em área (Ha), da cobertura e uso do solo, assim como, séries temporais anuais da cobertura florestal. As 5 principais forças atuantes sobre o processo de vulnerabilidade nos municípios do estado do RGN, são: Índice de Gini (93,4%); Índice de Theil (97,3%) (dimensão socioeconômica); População 25 anos ou + (99,8%) e População total (99,9%) (dimensão demográfica); EspVnas (99,8%) e MoInf (98,8%) (dimensão longevidade). A lógica da vulnerabilidade no estado foi definida por fatores que condicionam a capacidade de trabalho e a proporção da população em relação à ocupação do território, predominantemente nas áreas de maior valor econômico e maiores quantitativos populacionais. Apenas 22 dos municípios apresentam baixa vulnerabilidade socioeconômica, de acordo com o Índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVS > 0,43). Em relação a cobertura florestal, algumas microrregiões apresentaram significativa redução de cobertura. Foram elas, Serra de São Miguel, Umarizal, Chapada do Apodi, Médio Oeste e Mossoró, em 2010 e 2013 foram Vale do Açu, Angicos, Médio Oeste, Mossoró, Macau, Baixa Verde e Litoral Nordeste. A maior variabilidade na perda de cobertura florestal (Caatinga), foi em Mossoró, Médio Oeste, Borborema Potiguar e Pau dos Ferros. Mossoró e Serra do Mel foram os municípios que mais perderam cobertura, no entanto, Serra Negra do Norte, Caicó, São João do Sabugi e São Fernando foram os que mais ganharam cobertura. Pau dos Ferros, Umarizal, Seridó Ocidental, Serra de Santana e Macau, tiveram (p-valor <0,05) de perda da cobertura de Caatinga, assim como, perda da cobertura durante o período de 2001 a 2017 e 1978 até meados de 2018, após o ano 2000 observou-se um aumento na cobertura de caatinga (2001 a 2009), dentre 9 anos (2010 a 2017), do período estudado.

Palavras-chave: Análise multivariada, desigualdade, Uso e Cobertura da terra, Caatinga.

INFLUENCE OF SOCIOECONOMIC AND CLIMATIC VULNERABILITY ON LAND DEGRADATION PROCESSES IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT

The state of Rio Grande do Norte (RGN) faces processes of deforestation of areas with native vegetation, intense use of land, both in agriculture and livestock, this problem should not be seen only as an environmental issue, but a problem of transdisciplinary character and effects, areas of social, economic, political, environmental and cultural order. The present work aimed to analyze the socioeconomic vulnerability in the municipalities of the State of RGN, from descriptor variables of two main dimensions: Socioeconomic and Demographic, as well as to understand the space-time dynamics of land use and coverage in the micro-regions of the State of RGN, in the period from 1985 to 2018. The variables included in the study are from the 2010 demographic census of the (IBGE) and the Annual Mapping Project of Land Use and Land Cover in Brazil. The methodology was based on the application of multivariate statistics from the factor analysis technique, as well as cluster analysis, generated through the amplitude of forest cover, Mann-Kendall trend, Sen and homogeneity tests were applied, the tabular database in area (Ha), of land cover and land use was used, as well as, annual time series of forest cover. The 5 main forces acting on the vulnerability process in the municipalities of the RGN state, are: Gini Index (93,4%); Theil Index (97,3%) (socioeconomic dimension); Population 25 years or + (99,8%) and Total Population (99,9%) (demographic dimension); EspVnas (99,8%) and MoInf (98,8%) (longevity dimension). The logic of vulnerability in the state was defined by factors that condition the capacity to work and the proportion of the population in relation to the occupation of the territory, predominantly in areas with higher economic value and higher population numbers. Only 22 of the municipalities present low socioeconomic vulnerability, according to the socioeconomic vulnerability index ($IVS > 0.43$). In relation to forest cover, some microregions presented significant reduction in coverage. They were, Serra de São Miguel, Umarizal, Chapada do Apodi, Médio Oeste and Mossoró, in 2010 and 2013 were Vale do Açu, Angicos, Médio Oeste, Mossoró, Macau, Baixa Verde and Litoral Nordeste. The greatest variability in forest cover loss (Caatinga), was in Mossoró, Médio Oeste, Borborema Potiguar and Pau dos Ferros. Mossoró and Serra do Mel were the municipalities that lost the most cover, however, Serra Negra do Norte, Caicó, São João do Sabugi and São Fernando gained the most cover. Pau dos Ferros, Umarizal, Seridó Ocidental, Serra de Santana and Macau, had (p -value < 0.05) loss of Caatinga cover, as well as, loss of cover during the period from 2001 to 2017 and 1978 to mid-2018, after the year 2000 an increase in Caatinga cover was observed (2001 to 2009), among 9 years (2010 to 2017), of the period studied.

Keywords: Multivariate analysis, inequality, Land use and land cover, Caatinga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fluxo da estrutura da Tese.	22
Figura 2. Resumo gráfico da estrutura da Tese. Fonte: Autor, 2022.	22
Figura 3. Localização da área de estudo. Fonte: Autor, 2019.	50
Figura 4. Resumo das etapas da aplicação da análise multivariada. Fonte: Autor, 2019.	52
Figura 5. Scree plot - Curva da variância individual de cada fator. Fonte: Autor, 2019.	58
Figura 6. Distribuição dos fatores rotacionados (correlação) (Educação e Demográfico) da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte. Fonte: Autor, 2019.	62
Figura 7. Distribuição das dimensões da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte. Dimensão Socioeconômica (A), Demográfica (B), Desenvolvimento (C), Educação (D) e Longevidade (E). Fonte: Autor, 2019.	64
Figura 8. Classificação dos municípios segundo o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS) no estado do Rio Grande do Norte. Fonte: Autor, 2019.	67
Figura 9. Microrregiões da área de estudo. (Fonte: Autor, 2020).....	82
Figura 10. Distribuição espacial da variabilidade da cobertura de Caatinga (Ha) nas microrregiões do estado do Rio Grande do Norte no período de 1986 a 2018. (Fonte: Autor, 2021).....	89
Figura 11. Agrupamento microrregiões (a) e Índice de silhueta (b), no período de 1985 a 2018. (Fonte: Autor, 2021).....	92
Figura 12. Variabilidade temporal da cobertura de Caatinga (Ha) no estado do Rio Grande do Norte. (Fonte: Autor, 2021).....	94
Figura 13. Distribuição espacial (perda e ganho) de cobertura florestal (Caatinga), para o estado do Rio Grande do Norte, em relação ao ano de 2018 e 1985. (Fonte: Autor, 2021)	97
Figura 14. Tendência de perda da cobertura de Caatinga no período de (2018-1985). (Fonte: Autor, 2021).....	98
Figura 15. Variabilidade da cobertura de Caatinga no Grupo 1(A), Grupo 2(B), Grupo 3(C), Grupo 4(D), Grupo5(E), Grupo 6(F) no período de 1985 a 2018. (Fonte: Autor, 2021)	100
Figura 16. Variabilidade da cobertura de Caatinga (Transição) e índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVS) no período de (1985-2018) (Fonte: Autor, 2022).	118
Figura 17. Fluxo da transição da área de cobertura vegetal da Caatinga no período de 1985 a 2021 (Fonte: MapBiomias, 2022).....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis explicativas incluídas no estudo.....	53
Tabela 2. Estatística do teste Kaiser Meyer Olkin – KMO para adequação da amostra.....	57
Tabela 3. Variância total explicada pelos fatores na definição das dimensões.	59
Tabela 4. Cargas fatoriais e comunalidades das componentes principais.	60
Tabela 5. Anos de ocorrência do ENOS	90
Tabela 6. Anos de ocorrência do Dipolo do Atlântico	90
Tabela 7. Estatísticas $K(t)$ do teste de Pettitt para verificar os padrões de quebras estruturais na série temporal no período de 1985 a 2018 (Fonte: Autor, 2022).	101

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

ACP	- Análise de Componentes Principais
ASD	- Áreas Suscetíveis a Desertificação
AF	- Análise fatorial
CAGED	- Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CLUSTER	- Grupo
DATASUS	- departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
EMPARN	- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
EspVnas	- Esperança de vida ao Nascer
EVI	- Enhanced Vegetation Index
FPEIR	- Força motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta
FL	- <i>Fuzzy Logic</i>
Fuzzy	- Difuso
GEE	- Google Earth Engine
G	- Grupo
há	- hectare
IDHMR	- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Renda
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH-M	- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IVDN	- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
IVS	- Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
IVD	- Índice de Vulnerabilidade a Desertificação
IVS	- Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
IDH	- Índice de Desenvolvimento Humano
ISE	- índice de sensibilidade ambiental
IVT	- Índice da Vulnerabilidade da terra
IVS	- Índice de Vulnerabilidade Social
ID	- Índice de Degradação
Input	- Entrada
KMO	- Kaiser Meyer Olkin
LULC	- <i>Land Use Land Cover</i> (Uso e cobertura da terra)
MAPBIOMAS	- Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MODIS	- Moderate - Resolution Imaging Spectroradiometer
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MoInf	- Mortalidade Infantil
MK	- Mann Kendall
NEB	- Nordeste do Brasil ou Nordeste Brasileiro
NDVI	- Normalized Difference Vegetation Index
PBsobre60	- Probabilidade de sobrevivência até 60 anos
PIB	- Produto Interno Bruto
P25+	- População de 25 anos ou mais
PpT	- População Total
P	- p-valor
RAIS	- Relação Anual de Informações Sociais
RGN	- Rio Grande do Norte
RPC	- Renda per capita
SI	- Silhouette/Silhueta
Ts	- Temperatura da Superfície
TM	- <i>Thematic Mapper</i>
t	- Tempo / ano da quebra na serie
VARIMAX	- Rotação Ortogonal
%18+MedComp	- % de 18 anos ou mais com ensino médio completo
%18-24FundComp	- % de 18 a 24 anos com ensino médio completo
Δt	- Variação de Cobertura Florestal

SUMÁRIO

CAPITULO 1.....	18
1. INTRODUÇÃO	18
2. Hipótese	20
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4. Estrutura da Tese.....	21
5. Problemática.....	23
6. Revisão de Literatura	23
7. Referências.....	30
CAPÍTULO 2.....	45
1. INTRODUÇÃO	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.1 Área de estudo.....	49
2.2 Banco de dados	51
2.3 Dados demográficos e socioeconômicos	51
3.1 Análise Fatorial	54
3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS).....	55
3.3 Analise Multivariada	56
4. Resultados e discussão	56
4.1 Dimensões da vulnerabilidade, educação e desenvolvimento no estado do Rio Grande do Norte	60
4.2 Análise dos fatores	61
4.3 Dimensões da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte.....	63
5. Conclusão.....	68
6. Referências.....	69
CAPÍTULO 3.....	77
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	81
2.1Área de estudo.....	81
2.2 Dados	83
3.1 Teste de Mann-Kendall	84
3.2 Estimador de inclinação de Sen's slope (Sen)	85
3.3 Método de agrupamento hierárquico de <i>Ward</i>	86
3.4 Índice de Silhueta	86
4. Resultados e discussão	87
5. Conclusão.....	102

6. Referências.....	103
CAPITULO 4.....	116
CONCLUSÕES GERAIS	116
Referências.....	120

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

Não é de hoje que os recursos naturais estão em processo de esgotamento no Nordeste semiárido brasileiro, entre eles, a perda da cobertura vegetal nativa da caatinga, o que reflete uma série de impactos ambientais, no qual pode-se citar a ocorrência da intensificação do fenômeno de desertificação em algumas regiões nordestinas (Tavares et al., 2019). Variações na cobertura vegetal nativa de determinada região podem ser ocasionadas pelos mais diversos motivos, dentre os quais podem ser gerados por causas naturais ou atividades antrópicas, na qual se destacam o desmatamento e a implantação da agropecuária (Panday et al., 2015).

No estado do Pará, onde as taxas de desmatamento estão entre as mais altas do Brasil, Jusys (2016) descreve a criação de gado como o mais forte motor do desmatamento. Para reduzir a perda e degradação da floresta na Amazonia, são essenciais a delimitação de áreas protegidas e políticas públicas eficazes de gestão florestal.

Ainda sobre essa problemática (Mikwa et al., 2016; Tyukavina et al., 2018) estudaram as diferentes utilizações da terra, principalmente a agricultura de pequena escala, que foram alegadamente responsáveis por cerca de 84% das perturbações florestais na Bacia do Congo entre 2000 e 2014, fragmentando-as em outros novos tipos de uso e cobertura da terra (LULC). Os modelos mais alarmantes de previsão da cobertura florestal nesta área mostram que a situação é susceptível de se agravar (Mikwa et al. 2016).

O processo de desertificação quase sempre se inicia com o desmatamento e a substituição da vegetação nativa por outra cultivada. O cultivo continuado, com a retirada dos produtos agrícolas e sem reposição dos nutrientes retirados, leva à perda da fertilidade do solo (Sampaio et al., 2003; Perez-Marin et al., 2006).

As atividades econômicas realizadas no bioma Caatinga tem ocasionado impactos no meio ambiente que comprometem a fauna e a flora, e as técnicas de reflorestamento são escassas e ineficientes para atender a economia de forma sustentável, prejudicando o equilíbrio do ecossistema e a perda da biodiversidade para as futuras gerações (Demartelaere, 2022).

Segundo Marengo (2017) embora a seca possa contribuir para a desertificação, as principais razões para tal são o sobrepastoreio, o aumento da frequência dos incêndios, desmatamento e/ou a sobre-exploração das águas subterrâneas.

A percepção de que a desertificação está relacionada à ocorrência de secas e à forma como o homem se relaciona com o meio, principalmente para fins de exploração econômica é um forte indicativo de que, em espaços como o Rio Grande do Norte, torna-se premente repensar as estratégias de produção e de sobrevivência da sociedade (MMA, 2005). De acordo com Araújo et al. (2014) em relação à sociedade, a mesma se inclui no âmago das causas e potencialização da desertificação, bem como sofre diretamente os efeitos do problema. Os indicadores sociais e econômicos, no entanto, assumem um papel coadjuvante nas investigações (Oliveira Junior, 2018).

De acordo com Sampaio et al. (2003), os municípios com menor IDH-M são mais susceptíveis à degradação que conduz ao ciclo de desertificação. A redução da taxa de analfabetismo pode indicar o quanto uma determinada população pode ampliar sua compreensão em relação a práticas de preservação ambiental e uso mais racional dos recursos naturais.

Conforme Pinheiro (2015), o processo de degradação ambiental e vulnerabilidade socioeconômica funcionam como um mecanismo de realimentação, de forma que a mudança do uso e cobertura da terra é considerado um dos mais graves problemas ambientais da atualidade, afetando milhares de pessoas. Esse processo causa sérios problemas econômicos e sociais em várias regiões do mundo, assim como em algumas regiões do nordeste.

Diante disso, os indicadores têm sido geralmente utilizados como instrumentos para avaliar a vulnerabilidade das populações e territórios. Eles não só permitem fazer comparações entre os sistemas avaliados, como também facilitam a visualização de informação sobre o que precisa ser adaptado de forma simples e objetiva (ENGLE e LEMOS, 2010).

Foi realizado um estudo de avaliação na comunidade da reserva florestal ribeirinha de Jhok no Paquistão, para destacar os fatores que contribuem para a vulnerabilidade dos meios de subsistência. O valor do Índice de Vulnerabilidade de Subsistência (IVS) foi mais elevado para fatores sociodemográficos e degradação ambiental, o que indica que as más condições econômicas levam a um baixo perfil social e a um maior esgotamento dos recursos naturais (Shahzad, 2021).

O estado do Rio Grande do Norte enfrenta processos de desmatamento de áreas com vegetação nativa, uso intenso das terras, tanto na agricultura quanto na pecuária, essas ações estão se agravando com o passar dos anos, sendo assim essa problemática não deve ser vista apenas como uma questão de ordem ambiental, mas um problema de caráter e efeitos transdisciplinares, abrangendo diversas áreas da sociedade de ordem social, econômica, política, ambiental e cultural.

Sendo assim, vale salientar a importância deste estudo dentro da comunidade científica, pois, a problemática vem sendo tratada na maioria das vezes de forma parcial, ou seja, os estudos vêm sendo feitos de maneira fragmentada, correndo assim o risco de pesquisar a questão numa abordagem específica e não abrangendo todos os quadros que respondem a mudança do uso e cobertura da terra. Diante da circunstância utilizou-se técnicas estatísticas que ajudam a moldar e criar um Índice, para os municípios do Rio Grande do Norte. As informações geradas serão agregadas, para que assim possam auxiliar no entendimento e identificação de áreas que se encontram mais susceptíveis/vulneráveis a degradação das terras.

Dessa forma, espera-se auxiliar para a discussão e aprofundamento do tema em questão, para que se consiga indicar medidas que possam auxiliar os órgãos que tratam dessa problemática visando o desenvolvimento sustentável e que propicie qualidade de vida a população.

2. Hipótese

Experimentando a possibilidade de que as ações antrópicas tem influência sobre o uso e cobertura da terra e por consequência na economia, tem-se os objetivos descritos a seguir.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Identificar as relações existentes entre o processo de degradação ambiental e a vulnerabilidade socioeconômica do estado do Rio Grande do Norte.

3.2 Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar a vulnerabilidade socioeconômica do RGN a partir de técnicas de análise fatorial.
- 2) Definir padrões espaciais de aglomerados de vulnerabilidade socioeconômica.

- 3) Determinar as dimensões que irão compor o índice de vulnerabilidade socioeconômica.
- 4) Analisar a influência do uso e ocupação da terra nos processos de degradação no estado do RGN.

4. Estrutura da Tese

Esta tese será organizada da seguinte forma: O **Capítulo 1** apresenta a introdução, hipótese, objetivo geral e específico, justificativa, revisão de literatura e o referencial teórico. No **Capítulo 2** apresenta-se uma caracterização da vulnerabilidade do RGN a partir de técnicas de análise fatorial, usando dados do Censo demográfico do ano de 2010 do IBGE. Definiram-se padrões espaciais de aglomerados de vulnerabilidade socioeconômica e foram determinadas as dimensões que irão compor o índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVS). No **Capítulo 3** será apresentado a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões do estado do Rio Grande do norte, no período de 1985 a 2018, por meio da análise de séries temporais de cobertura florestal (Caatinga), assim como a influência do uso e ocupação da terra nos processos de degradação no estado do Rio Grande do Norte; Finalmente, no **Capítulo 4** serão apresentadas as considerações finais da tese. Na sequência a publicação que deu origem ao **Capítulo 2** e ao **Capítulo 3**, bem como a estrutura da tese (Figura 1).

- ✓ Capítulo 2 – SANTOS, K.S.; SILVA, M. T.; OLIVEIRA, A. B.; SERRÃO, E.A.O. “**Aplicação da Análise Fatorial para Determinação da Vulnerabilidade Socioeconômica do Estado do Rio Grande do Norte**”. Anuário do Instituto de Geociências, 2021, v. 44, 36049.
- ✓ Capítulo 3 – SANTOS, K.S.; SILVA, M. T.; OLIVEIRA, A. B.; DIAS, L.S.; CÂMARA, K.C.; ALMEIDA, G.S.S.; JUSTINO, F.F.S.; JUSTINO, F.F.S “**Temporal Variability of the Cover of the Dry Forest (Caatinga) in the State of Rio Grande do Norte**”. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, V.13 N.07, 2022.

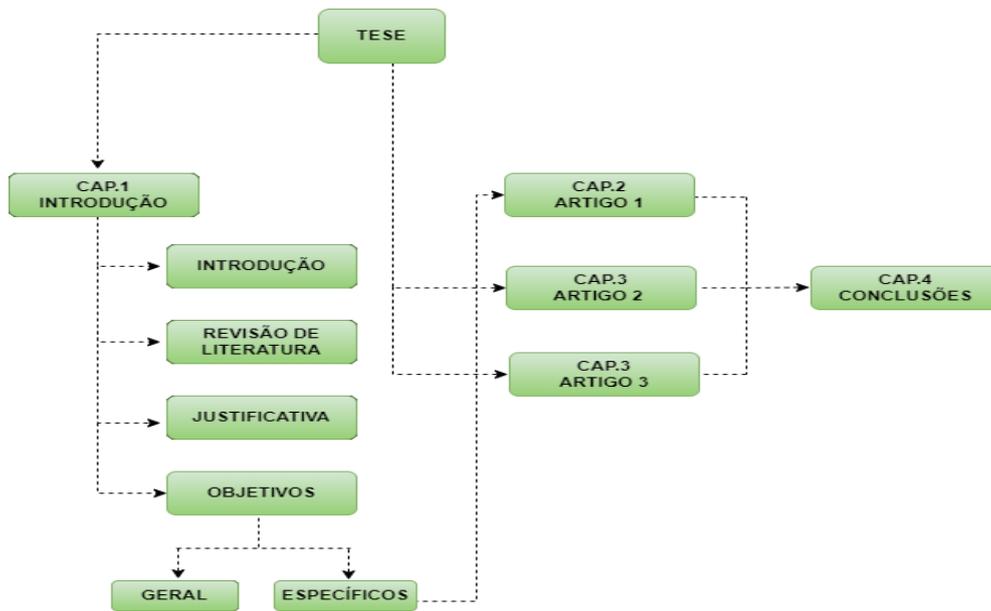


Figura 1. Diagrama de fluxo da estrutura da Tese.

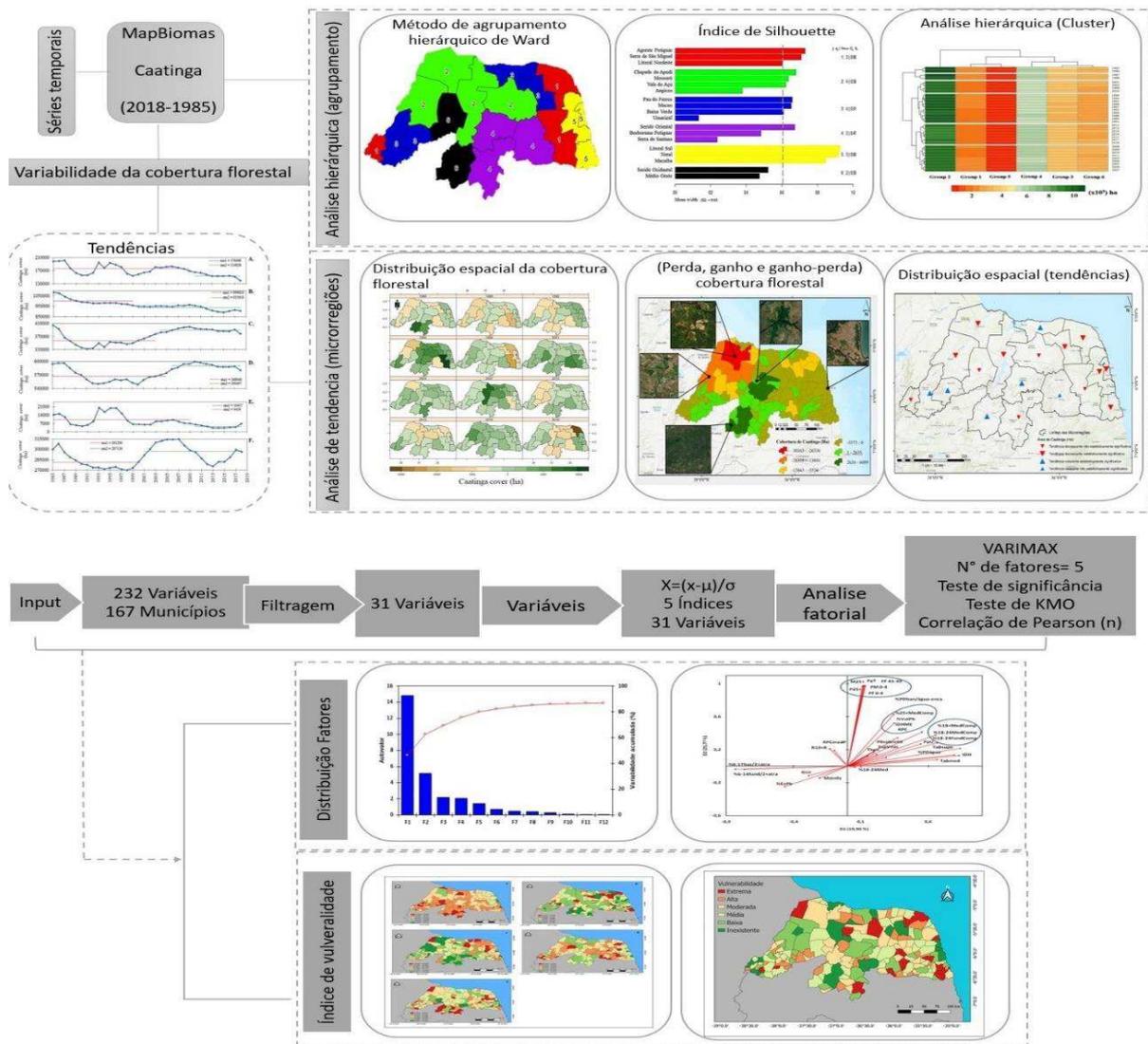


Figura 2. Resumo gráfico da estrutura da Tese. Fonte: Autor, 2022.

5. Problemática

A realidade social e econômica nos países em desenvolvimento, apresenta amplos problemas que criam condições para o mais elevado grau de vulnerabilidade, com destaque para o aumento dos índices de desigualdades e vulnerabilidades socioeconômicas e demográficas. Portanto, busca-se a compreensão dessa realidade através dos índices e indicadores, assim como a nortear a análise, elaboração e execução de políticas sociais. Outro fator importante é a associação da vulnerabilidade socioeconômica com o uso e cobertura da terra.

Isso demonstra a importância da exposição da vulnerabilidade nos estudos referentes a mudança do espaço pois indica a exposição da população ao ambiente no qual está inserida além de ser consideração em escala temporal, a capacidade dos grupos sociais e do ambiente de se recuperarem de eventos de degradação (Mendonça, 2004). Neste sentido, a utilização de uma abordagem mais ampla das relações existentes entre a natureza e a sociedade possibilita relacionar essa dupla dinâmica (social e ambiental) permitindo a diferenciação de situações espaciais pois as condições econômicas, sociais, políticas e culturais da população e a capacidade de absorver ou resistir aos impactos diante da materialização de um risco (Mendonça et al., 2016).

Diante desse pressuposto, este trabalho visa identificar a associação da vulnerabilidade do uso e cobertura da terra, assim como compreender a dinâmica espaço temporal da cobertura florestal no estado do Rio Grande do Norte.

6. Revisão de Literatura

6.1 Estudos Ambientais

As ligações entre os processos de desertificação, a variabilidade climática e as mudanças climáticas globais foram investigadas por Hulme e Kelly (1993) que tentaram responder: 1) as mudanças climáticas causam desertificação? 2) a desertificação pode produzir mudanças climáticas? Esses pesquisadores seguiram os passos já produzidos por Hare (1985), mas usando dados mais atualizados e um novo conceito de desertificação. Segundo De Oliveira (2020) ecossistemas florestais intactos oferecem um ecossistema excepcional e valor do serviço através da mitigação das alterações climáticas, regulação das bacias hidrográficas e conservação da biodiversidade.

Nicholson (1993) e Xue e Shukla (1993) analisaram a contribuição da interação entre a circulação de grande escala e o uso indevido dos recursos naturais para o processo de desertificação do Sahel, enquanto Ferreira et al. (1994) diagnosticaram a existência de núcleos em processos de desertificação no Nordeste, constataram que o clima é fator importante para o agravamento dos efeitos da desertificação.

Segundo Brito (2004) no período de atuação do fenômeno El Niño, as condições climáticas do Nordeste tornam-se bastante vulneráveis aos processos de desertificação. No caso específico dos anos de La Niña verifica-se aumento significativo do índice efetivo de umidade, quando comparado com os períodos de Atlântico Sul negativo e El Niño, porém inferiores aos dos anos de Atlântico Sul positivo, onde se observam pequenas áreas com clima árido ocorrendo, portanto, uma redução da vulnerabilidade aos processos de desertificação.

Os números apresentados mostram que o Nordeste experimenta intensa dinâmica do clima, ou seja, uma área pode apresentar clima sub-úmido em determinado período, e árido em outro. Esta dinâmica contribui, possivelmente, com as pressões dos processos de desertificação. Os núcleos em processos de desertificação, existentes no Nordeste, estão inseridos nas áreas que apresentam maior fluabilidade do clima. Sendo assim, do ponto de vista do clima, o Nordeste, como um todo, é uma região suscetível aos processos de desertificação e que a variabilidade climática, possivelmente, é um dos fatores responsáveis pelo desequilíbrio do clima da região (Brito, 2004).

Os impactos ambientais provocados pelas secas influenciam diretamente a sociedade e sua economia. As secas reduzem as atividades geradoras de riquezas, diminuindo o poder de compra da população envolvida e proporcionando um baixo nível de desenvolvimento, levando essa população a um déficit social, cultural e de saúde. Contribuindo assim para a continuidade da degradação ambiental e os processos de desertificação (Carvalho e Egler, 2002).

Os impactos climáticos de uma desertificação em grande escala no NEB foram avaliados com o uso de um modelo de circulação geral atmosférica. O clima do NEB mostra sensibilidade à mudança na vegetação. Sud e Fennessy (1982), complementa o estudo de Dirmeyer e Shukla (1996), que não encontraram mudanças significativas da precipitação devido à substituição da cobertura do NEB por vegetação semi-deserta. Na estação chuvosa, quando as mudanças têm a maior magnitude, os resultados mostram

uma diminuição da precipitação. Oyama e Nobre (2004) mostram que a remoção da vegetação no nordeste do Brasil diminuiria consideravelmente a precipitação.

De acordo com Geist et al. (2004) a desertificação é impulsionada por um conjunto de variáveis, das quais são fatores climáticos, fatores econômicos, crescimento populacional e influências remotas. Esses fatores impulsionam a expansão das terras agrícolas, destroem o equilíbrio do solo, da vegetação, do ar e da água, bem como a qualidade de vida humana

Segundo Sampaio et al (2003), o principal impacto antrópico na região é a retirada da vegetação para lenha. Sá e Angelotti (2009) confirmam esse pensamento e complementam, afirmando que o desmatamento se destina a extração de lenha para alimentar os fornos das mais de 80 fábricas de cerâmicas que se espalham pela região.

De acordo com Sales (2006), a área sempre teve a pecuária extensiva associada à agricultura de subsistência como principal atividade econômica. Com o surgimento da cultura algodoeira, a região atingiu seu apogeu econômico, levando a um grande adensamento populacional. A atividade mineradora, entre as décadas de 1930 e 1940, ainda que de forma pontual, tornou-se outro fator de forte impacto ambiental. A atividade cerâmica é a que chama mais a atenção, não só pelo desmatamento, como também pela retirada da argila, o que na visão de Sampaio et al. (2003) deixa crateras, imprestáveis para a agricultura.

6.2 Índices de vulnerabilidade

De acordo com o quadro conceptual de vulnerabilidade; estudos demonstraram que diferentes fatores trabalham em conjunto num cenário específico de uma forma dinâmica para determinar a vulnerabilidade de um sistema (Shahzad, 2021).

Segundo Shahzad (2021) o Paquistão é conhecido por ter impacto das alterações climáticas, especialmente sob a forma de catástrofes naturais, o estudo atual foi teve o objetivo de explorar a vulnerabilidade dos meios de subsistência de comunidades afetadas pelas inundações que vive nos arredores de Jhok Reserve Forest e avaliar que fatores contribuem mais para a vulnerabilidade dos agregados familiares face às alterações climáticas.

Silva (2014) utilizou o índice de desenvolvimento humano e o índice de pobreza humano municipal para descrever a situação socioeconômica da região do Cariri, na Paraíba. Nesse trabalho, observou a importância desses índices para o aprofundamento do conhecimento sobre o processo de desertificação no Cariri, identificando a população absoluta como responsável pela pressão sobre os recursos naturais.

No Brasil, o método indicador também tem sido aplicado para avaliar a vulnerabilidade a mudança do clima. Os estudos relacionaram os impactos das alterações climáticas com uma maior vulnerabilidade a eventos hidrometeorológicos a nível nacional (Debortoli, 2017), os processos demográficos e de migração em várias regiões do país (Barbieri et al. 2011), e às condições socioeconômicas do Brasil municípios que criam hotspots sócio climáticos (Confalonieri et al., 2007).

As características da vulnerabilidade são influenciadas pelos sistemas sociais e biofísicos em que as pessoas vivem (Alam et al. 2017; Murniati et al. 2017). É necessário compreender as projeções climáticas relacionadas com as sociedades humanas, sistemas políticos, e perfil de saúde para compreender a complexa rede de problemas que evoluíram em diferentes comunidades como resultado de alterações climáticas.

Tsesmelis et al. (2019) utilizaram o índice padrão de vulnerabilidade à seca e o índice de áreas sensíveis ao ambiente para avaliar as características da vulnerabilidade à seca e à desertificação no semiárido mediterrâneo. Ambos os índices podem fornecer informações úteis aos formuladores de políticas e podem impor as medidas locais de adaptação a esses riscos. Os resultados podem indicar que o fator mais importante para esses procedimentos são os déficits nos recursos hídricos, devido às chuvas mais baixas do que o normalmente esperado ou a uma maior demanda de água na sociedade.

Ebru Gül e Sabit Erşahin (2019) avaliaram a vulnerabilidade à desertificação de uma paisagem semiárida de uma área de aproximadamente 1.000 ha na Anatólia, Turquia, sob diferentes usos da terra, usando o índice de sensibilidade ambiental. Os resultados obtidos descobriram que o uso da terra foi o principal fator de desertificação nessa região, com as terras cultivadas tendo um valor médio do índice de sensibilidade ambiental (ISE), significativamente maior do que as terras florestadas ($P < 0,01$).

Dharumarajan et al. (2018) desenvolveram um índice de vulnerabilidade à desertificação para prever os diferentes processos de desertificação no distrito de Anantapur na Índia. Elaboraram um índice de vulnerabilidade a desertificação (IVD),

tendo variáveis de clima, solo, vegetação e o Índice Socioeconômico, combinados em um modelo de índice multivariado. Cerca de 10,2% das terras são identificadas como uma área altamente vulnerável. Esta técnica pode ser extrapolada para regiões/países semelhantes para preparar os mapas de desertificação/degradação da terra.

Salvati et al. (2007) avaliaram a integração de indicadores econômicos e ambientais na avaliação do risco de desertificação, na Europa mediterrânea. Em ecossistemas muito complexos como o Mediterrâneo, o estudo da interação de padrões físicos com características da população é necessário para melhor delinear áreas de risco. Sabe-se que fatores socioeconômicos influenciam as bases de produção de um território, assim como a qualidade de vida é afetada e prejudicada pela extensão da pobreza, mas poucos estudos se aventuraram a traduzir esses processos em valores numéricos e menos ainda tentaram vinculá-los a outros indicadores ambientais.

Shahzad (2021) realizou um estudo com o objetivo de explorar a vulnerabilidade das comunidades afetadas pelas cheias que vivem nos arredores de Jhok Reserve Forest e avaliar que fatores contribuem mais para a vulnerabilidade das famílias face às mudanças climáticas (Shahzad, 2021).

Dave e Sur (2018) Tiveram como objetivo avaliar a vulnerabilidade a desertificação regional para o distrito de Bhavnagar, em Gujarat, na Índia, usando o método de lógica fuzzy. O fator sócio-econômico entra como um importante contributo para avaliar a vulnerabilidade para a desertificação. Assim, neste estudo, o FL foi integrado com fatores naturais e socioeconômicos para a compreensão da vulnerabilidade à desertificação na região de Bhavnagar. Assim, o modelo identifica as áreas de risco com sua severidade e facilita a tomada de decisões apropriadas para o combate e métodos preventivos. O futuro escopo do estudo é prever a severidade do risco no futuro e validar a eficiência do modelo com status futuro.

Lima (2017) 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 FPEIR - força motriz, pressão, estado, impacto e resposta. De acordo com Shahzad (2021) tais abordagens baseadas em índices têm sido utilizadas para quantificar a vulnerabilidade tendo em vista o ambiente localizado.

6.3 Análise multivariada

Os métodos de análise de dados multivariados são amplamente utilizados quando se deseja promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação (Helena et al., 2000; Andrade et al., 2007).

Uma das diversas técnicas de análise exploratória de dados utilizada é a análise multivariada, que corresponde a um grupo de técnicas estatísticas que buscam relacionar os elementos pesquisados, possibilitando, dentre outras funções, promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informações (Hair Junior et al., 2005).

Quanto às técnicas de análise por componentes principais (ACP) e de análise fatorial (AF), as mesmas foram escolhidas por serem técnicas que conduzem a redução dos dados iniciais em uma simplificação estrutural, descrevendo um número de variáveis iniciais a partir de um menor número de variáveis hipotéticas. Com isso, o fenômeno estudado é representado de maneira mais simples, sem que se sacrifiquem informações valiosas e tornando as interpretações mais fáceis (Ferreira, 1996; Reis, 1997).

A AF/ACP demanda três etapas: a primeira consiste na preparação da matriz de correlação [R]; a segunda na extração dos fatores comuns e a possível redução de variáveis explicativas e, por último, na rotação dos eixos relativos aos fatores comuns, com o objetivo de tornar a solução mais simples e facilmente interpretável (Toledo e Nicoletta, 2002).

Schmidtlein et al. (2008) fizeram uma análise de sensibilidade do índice de vulnerabilidade social. Primeiro, o IVS foi calculado para vários níveis de agregação no estado da Carolina do Sul e com um subconjunto das variáveis originais para determinar o impacto de alterações escalares e variáveis na construção do índice. Três locais de estudo: Charleston, SC; Los Angeles, Califórnia; e Nova Orleans, LA. Schmidtlein et al. (2008) utilizaram 54 variações únicas do IVS, que foram calculadas para cada área de estudo e avaliadas usando análise fatorial. Verificou-se que diminuições na escala de agregação resultam em reduções na variância explicada pela ACP. Concluíram que o subconjunto de variáveis empregadas forneceu uma representação da vulnerabilidade com similaridade adequada àquela derivada usando o conjunto completo de variáveis sociais empregadas no IVS, e que ambas as abordagens identificam um conjunto semelhante de unidade de estudo altamente vulneráveis. O IVS fornece uma compreensão das dimensões espaciais da vulnerabilidade social em diversos contextos.

Silva e Ribeiro (2004) objetivaram elaborar um Índice de Degradação que fosse capaz de aferir o atual estágio de degradação ambiental dos 22 municípios do Estado do

Acre. Os métodos utilizados para a construção do ID foram à análise multivariada (análise fatorial) e análise de regressão. Os resultados indicam que o Estado do Acre possui um índice de degradação médio de 30,74%.

Filgueras et al. (2013) utilizaram a técnica de análise multivariada a um conjunto de dados da exploração agropecuária, do Censo de 2006 (IBGE, 2009), para se criar um índice de degradação ambiental para o conjunto das 22 microrregiões paraense. O resultado do índice de degradação ambiental médio estadual foi de 0,36. Estão acima dessa média sete microrregiões, sendo que Guamá encontra-se no patamar de alta degradação. O resultado da análise de aglomerados, através do dendograma, veio corroborar com a formação de dois grupos entre as microrregiões paraenses, no qual se classificam com baixa e alta degradação.

6.4 Análise Geoestatística

A geoestatística se tem mostrado de grande utilidade para caracterizar e mapear a variação espacial das propriedades dos sistemas (Couto et al., 1997). Ela consiste da variografia, krigagem, simulações e de estratégias que otimizem os planos de amostragem dos atributos (WEBSTER e OLIVER, 1990). Acredita-se que, poderosas, podem ser suas predições no domínio do tempo; são escassos ainda os estudos nos quais se utiliza a técnica de geoestatística na ótica temporal, comparativamente, por exemplo, ao que se passa no domínio espacial (Holawe e Dutter, 1999; Carvalho et al., 2009). Mingot e Neves (1999) apresentaram um exemplo de utilização da metodologia geoestatística aplicada à análise de séries temporais. Esses autores aplicaram a metodologia em outros estudos (Mingoti e Glória, 2002).

A geoestatística envolve um conjunto de procedimentos de análise e inferência dos fenômenos espaciais, que apresentem uma dependência espacial expressa, por exemplo, numa função de autocorrelação no espaço. Esses procedimentos utilizam um modelo de autocorrelação espacial definido a priori e objetivam representar a variabilidade espacial de um atributo considerado em uma superfície contínua. (KRIGE, 1951).

A estrutura das técnicas geoestatísticas está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, desenvolvida por Matheron (1971). A variável regionalizada é uma variável distribuída no espaço (ou tempo) e a teoria geoestatística associa o conceito de variável regionalizada aos procedimentos estocásticos através do conceito de Função Aleatória (ou processo aleatório, ou campo aleatório, ou processo estocástico). Nesse caso

os valores observados ou não a cada ponto do espaço x , em uma determinada região A , são compreendidos como realizações de uma variável aleatória e o conjunto de variáveis aleatórias em A , $\{Z(x); x \in A\}$ como Função Aleatória, ou seja, uma F.A caracterizada por sua função de autocorrelação.

Atualmente o termo Geoestatística acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas.

Vieira (2002) sintetiza a análise geoestatística em três etapas distintas: a análise exploratória dos dados, a análise estrutural e as estimativas para locais não amostrados.

Lima et al. (2008), estudaram a variabilidade temporal da precipitação mensal no município de Alegre, Sul do Estado do Espírito Santo. A geoestatística é uma ferramenta de análise espacial baseada na técnica de Kriging, (Krige, 1951), com a finalidade de estimar valores não amostrados.

Devido à importância da erosividade das chuvas no contexto da conservação do solo e água Montebeller et. al. (2007) estudaram a sua variabilidade espacial no Estado do Rio de Janeiro, por meio de análise geoestatística. O modelo matemático ajustado ao semivariograma experimental, para ambos os índices, foi exponencial. A partir dos parâmetros dos modelos ajustados, foi possível gerar mapas de erosividade pelo método da krigagem, que apresenta vantagens em relação aos métodos convencionais

Lourenço e Landim (2004) recomendaram o uso da geoestatística como ferramenta de aplicabilidade para se fazer o mapeamento contínuo da cobertura vegetal, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, como forma de analisar e monitorar a variabilidade da vegetação e indicação de áreas de risco em bases probabilísticas.

7. Referências

ACCIOLY, L. J. de O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, n. 1, p. 23-25, 2000. <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/secoes/home.asp>

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. Brasília: Senado Federal, 1997. <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>

ANTIBÁNEZ, F e PÉREZ, J. Metodología unificada para la evaluación y monitoreo de la desertificación en América Latina: indicadores de la desertificación. Santiago: [s.n], 1997.

ANDRADE, E. M. DE; ARAÚJO, L. DE F. P.; ROSA, M. DE F.; DISNEY, W. ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. Engenharia Agrícola, v.27, p.683-690, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400011>

ALAM, G.M. Livelihood cycle and vulnerability of rural households to climate change and hazards in Bangladesh. Environ Manag. 2017. 59(5):777-791.<https://doi.org/10.1007/s00267-017-0826-3>

ALAM, G.M.; ALAM, K.; MUSHTAQ, S.; CLARKE, M.L. Vulnerability to climatic change in riparian char and river-bank households in Bangladesh: Implication for policy, livelihoods and social development. 2017. Ecol Indic 72:23-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.045>

ARAÚJO, F. T. V.; NUNES, A. B. A.; SOUZA FILHO, F. A. Desertificação e pobreza: existe um equilíbrio de baixo nível? Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 106-119, jan./mar., 2014. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/issue/view/23/showToc> Acesso em: 02 Jan 2020.

BARBIERI, A.F, CONFALONIERI, U.E.C. Climate change, migration and health: exploring potential scenarios of population vulnerability in Brazil. In: Piguet E, Pecoud A, editors. Migration and climate change. Cambridge: UNESCO; 2011. p. 49–73.

BRASIL, Agenda 21 e sustentabilidade: Agenda 21, O Semiárido e a luta contra desertificação. Ministério do Meio Ambiente. Caderno de debates, n.6. Brasília. MMA, 1997. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/ acessibilidade/itemlist/category/107-agenda-21.html?start=70> Acesso em: 02 Jan 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca - PAN/BRASIL. Brasília:

MMA, 2004. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/pan_brasil_portugues.pdf Acesso em: Acesso em: 02 Jan 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 213p. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/12161> Acesso em: 02 Jan 2020.

BRITO, J.JN.; NOBRE, M.C.L; NÓBREGA, A.M.; BRAGA, C.C. Análise da precipitação do Estado da Paraíba no Período de 1962-2001. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza, SBMET, v.1 Anais. 2004.

CARVALHO, J. O. O Nordeste semi-árido: questões de economia política e de política econômica. v. 1,1985. 687f. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, SP, 1985. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Resultado/Listar?guid=1654128217380> Acesso em: 5 Jan 2020. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1985.111240>

CARVALHO, J.; EGLER, C. Alternativas de desenvolvimento para o nordeste semi-árido: relatório final. Fortaleza: Ministério da Fazenda, Banco do Nordeste, 2002. Disponível em: https://www.academia.edu/39808270/Alternativas_de_Developmento_para_o_Nordeste_Semi_%C3%A1rido

COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. Agriculture Ecosystems and Environment, v.66, p.139-152, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00076-5)

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, n.4, p.443-448, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400011>

CONFALONIERI, U.E.C.; MARINHO, D.P.; CAMPO NOVO, M.G.; RAVINES, R.E.R. Análise da Vulnerabilidade da População Brasileira aos Impactos Sanitários das Mudanças Climáticas - Plano Plurianual de Governo (PPA) - Programa Mudanças Climáticas: Resultados Obtidos. Brasília; 2007.

DEMARTELAERE, A. C. F., FEITOSA, S. DOS S., LEAO, F. DE A. DO N., COSTA, B. P., DE DEUS, A. S., DA CAMARA, Y. P., SILVA, T. P. DE P., DE SOUZA, J. B., DA MATA, T. C., LORENZETTI, E., SILVA, E. DOS S., COUTINHO, P. W. R., GOMES, A. R., DA SILVA, L. H. P., GOMES, E. S., DO NASCIMENTO, T. F., CANDIDO, A. O., e DA SILVA, M. C. T. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento / Bibliographic review: impacts on native areas the caatinga caused by economic activities and reforestation techniques. Brazilian Journal of Development, 8(4), 25285–25306. 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-176>

DEBORTOLI, N.S., CAMARINHA, P.I.M., MARENGO, J.A. ET AL. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. Nat Hazards 86, 557–582. 2017. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2705-2>

DAVE, A. V.; SUR, K.; Fuzzy Integrated Desertification Vulnerability Model. Volume XLII-5 | ISPRS TC V Mid-term Symposium Geospatial Technology – Pixel to People (Volume XLII-5). 20-23 November 2018, Dehradun, India. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-395-2018>

DANFENG, S.; RICHARD, D.; BAOGUO, L. Agricultural causes of desertification risk in Minquin, China. Journal of Environmental Management 79: 348–56. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.004>

DIRMEYER, P. A., AND J. SHUKLA. The effect on regional and global climate of expansion of the world's deserts. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.122, 451–482. 1996. <https://doi.org/10.1002/qj.49712253008>

DANFENG, S.; DAWSON, R.; BAOGUO, L. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. *Journal of Environmental Management*, v. 79, n. 4, p. 348-356, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.004>

DHARUMARAJAN, S.; BISHOP, T. F. A.; HEGDE, R.; SINGH, S. K. Desertification vulnerability index – an effective approach to assess desertification processes: A case study in Anantapur District, Andhra Pradesh, India. *Land Degradation & Development*, v. 29, n. 1, p. 150-161, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2850>

DOS SANTOS, J. T.; AQUINO, C. F. DE.; CESAR, F. E. A. C. DE.; PANTANO, M. J.; SANTOS, R. F. N. O Conflituoso Cinturão do Sahel. *Série Conflitos Internacionais. Observatório de Conflitos Internacionais*. V.5, n. 3 - junho de 2018. ISSN:2359-5809. <https://www.marilia.unesp.br/#!/extensao/observatorio-de-conflitos-internacionais/serie/s/series-anteriores/>

DE OLIVEIRA, G.; CHEN, J.M.; MATAVELI, G.A.V.; CHAVES, M.E.D.; SEIXAS, H.T.; CARDOZO, F.D.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; HE, L.; STARK, S.C.; DOS SANTOS, C.A.C. Rapid Recent Deforestation Incursion in a Vulnerable Indigenous Land in the Brazilian Amazon and Fire-Driven Emissions of Fine Particulate Aerosol Pollutants. *Forests* 2020, 11, 829. <https://doi.org/10.3390/f11080829>

ENGLE, N.L. LEMOS, M.C. Unpacking governance: building adaptive capacity to climate change of river basins in Brazil. *Glob Environ Chang.* 2010; 20(1):4–13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.07.001>

EBRU GÜL.; SABIT ERŞAHIN. Evaluating the desertification vulnerability of a semiarid landscape under different land uses with the environmental sensitivity index. This paper is produced from part of the Ph.D. dissertation of the first author. *Land Degrad Dev.* 2019; 30:811–823. <https://doi.org/10.1002/ldr.3269>

FEREIRA, D.G; MELO, H.P; RODRIGUES NETO, F.R; NASCIMENTO, P.J.S. A Desertificação no Nordeste do Brasil: Diagnóstico e Perspectiva. In: Conferência Nacional E Seminário Latino – Americano Da Desertificação – CONSLAD. Fortaleza: Fundação Esquel – PNUD – Governo do Ceará – BNB, 1994. 56p. 1994.

FEOLI, E.; GIACOMICH, P.; MIGNOZZI, K.; OZTÜRK, M.; SCIMONE, M. Monitoring Desertification risk with an index integrating climatic and remotely-sensed data: an example from the coastal area of Turkey. *Management of Environmental Quality*, v. 14, n. 1, p. 10-21, 2003. <https://doi.org/10.1108/1477783031046035>

FERRARA, A.; SALVATI, L.; SATERIANO, A.; NOLÈ, A. Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 123-129, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015>

FERREIRA, D. F. Análise multivariada. 1.ed - Lavras: UFLA. 662 p.1996. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~niveam/micro%20da%20sala/Aulas%20-%20Internet/multivariada/multivariada.pdf> Acesso em: 5 Jan 2020.

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. *Anais da Conferência Nacional da Desertificação*, Fortaleza, 1994. Brasília, Fundação Esquel Brasil. p.7-55. 1994.

FILGUERAS, G. C.; BENTES, DOS SANTOS. E.; SANTOS, G.C.J.Z. A degradação ambiental e produção agropecuária no estado do Pará: uma análise Multivariada. Publicação do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Pará Periodicidade Mensal – V. 2 – N. 1 (Papers do PPGE) janeiro de 2013. <http://dx.doi.org/10.18542/cepec.v2i1-6.6848>

GEIST, H. J., AND E. F. LAMBIN. Dynamic causal patterns of desertification. *Bioscience* 54: 817-829. 2004. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:DCPOD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:DCPOD]2.0.CO;2)

HULME, M.; KELLY, M. Exploring the links between Desertification and Climate Change. *Environmet*, v.35, n.6, p.5-45, 1993. <https://doi.org/10.1080/00139157.1993.9929106>

HARE, F. K. Sequia, Variacion climatica y desertificacion. Ginebra: Organizacion Meteorologica Mundial,1985. 35p.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in na alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. Water Research, v.34, p.807-816, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00225-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00225-0)

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HOLAWÉ, F.; DUTTER, R. Geoestatistical study of precipitation series in Austria: time and pace. Journal of Hydrology, v.219,p.70-82, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00046-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00046-3)

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Área territorial oficial. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/homegeociencias/areateitorial/principal.shtm> Acesso em: 01 Outubro de 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2000: características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: IBGE,2005. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=785> Acesso em: 5 Jan 2020.

JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. Appl. Geogr. 2016, 75, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.08.015>

KELLY, M. Exploring the links between Desertification and Climate Change. Environmet, v.35, n.6, p.5-45, 1993. <https://doi.org/10.1080/00139157.1993.9929106>

KRIGE, D.G. A statistical approaches to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African, 52 (6): 119-139. 1951. Disponível em: https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X_4858

Acesso em: 5 Jan 2020.

LIMA, R. da C. C. Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó Potiguar e Paraibano, Semiárido Brasileiro. 150 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/312> Acesso em: 8 Jan 2020.

LIMA, E. de J. S.; BORGES, E. F. Espacialização de indicadores sociais e sua associação com o processo de desertificação no polo de Jeremoabo-BA. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2014. Anais.. Aracaju: Rede Sergipe de Geotecnologias (RESGEO), 2014.

LI, S.; ZHENG, Y.; LUO, P.; WANG, X.; LI, H.; LIN, P. Desertification in western Hainan Island, China (1959–2003). *Land Degrad Dev* 18:473–485. 2007. <https://doi.org/10.1002/ldr.787>

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, p.327-332, 2008. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/67/63> Acesso em: 8 Jan 2020.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação Por Diferença normalizada/NDVI Utilizando Krigagem Indicativa. *Holos Environment*, v.4 n.1, 2004 – P. 38-55. <https://doi.org/10.14295/holos.v4i1.398>

MMA. Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. Brasília, 1999.

MARENGO, J.A., TORRES, R.R. & ALVES, L.M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theor Appl Climatol* 129, 1189-1200 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

MIKWA, N.; MASIMO, K.; KAHINDO, J.; NSHIMBA, H. Analyse prospective de la déforestation estimée par télédétection dans la réserve de biosphère de Yangambi. Int. J. Innov. Sci. Res. 2016, 24, 236–254. Disponível em: <http://www.ijisr.issr-journals.org> Acesso em: 15 Setem 2022.

MMA. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Panorama da desertificação no estado do Rio Grande do Norte. Natal: Secretaria de Recursos Hídricos, 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/7120991-Panorama-da-desertificacao-no-estado-do-rio-grande-do-norte.html> Acesso em: 8 Jan 2020.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mapa de ocorrência de desertificação e áreas de atenção especial no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano Nacional de Combate à Desertificação. 1998.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN Brasil. Brasília: Centro de Informação, Documentação Ambiental e Editoração Luís Eduardo Magalhães - CID Ambiental. 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/arquivos/pan_brasil_portugues.pdf Acesso em: 8 Jan 2020.

MATHERON, G. The Theory of regionalized variables and its applications. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique No 5, 1971. 211p.

MINGOTI, S. A.; NEVES, O. F. A metodologia de geoestatística aplicada na análise de séries temporais. Revista Escola de Minas, Ouro Preto. v.52, p.182-187, 1999. Disponível em: http://www.est.ufmg.br/prevgeo/artigo_1.pdf Acesso em: 8 Jan 2020.

MINGOTI, S. A.; GLÓRIA, F. A. A. PrevGeo – A Geostatística aplicada em estudos de séries temporais: Uma comparação com o método de Holt-Winters e Box e Jankins. Revista Produto e Produção, v, 6, p.24-32, 2002. <https://doi.org/10.22456/1983-8026.1444>

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.2, p.426-435, maio/ago. 2007.

<https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000300011>

MURNIATI, K.; MULYO, J.H.; HARTONO, S. The livelihood vulnerability to climate change of two different farmer communities in Tanggamus Region, Lampung Province, Indonesia. Asian J Agric Food. 2017. Sci 14(2):1–16

NICHOLSON, S.E. An overview of African rainfall fluctuations of the last decade. Journal of Climate, v.6 n.7,p.1463-1466, 1993. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1463:AOOARF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1463:AOOARF>2.0.CO;2)

NOBRE, C. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado brasileiro. In. LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIM, A.M.P. (Edt.). Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: INSA/PB, 2011, P.25-36.

OYAMA, M.D.; NOBRE, C.A. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: A GCM simulation study. Journal of Climate, v. 17, n. 16, p. 3203-3213.2004 [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C3203:CCOALD%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C3203:CCOALD%3E2.0.CO;2)

OLIVEIRA, M. O. Nordeste no mapa mundi da desertificação. Boletim Informativo SBCS 25(1): 18-20, 2000.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; LOBAO, J. S. B.; SILVA, B. C. M. N.; PEREIRA, ANDERSON. Indicadores socioeconômicos de desertificação: análise da produção agropecuária no polo regional de Jeremoabo – Bahia. Revista GeoNordeste, São Cristóvão, Ano XXIX, n. 2, p. 23-42, Jul./Dez. 2018. Disponível em: <https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/9239> Acesso em: 8 Jan 2020.

PANDAY, P.K.; COE, M.T.; MACEDO, M.N.; LEFEBVRE, P.; CASTANHO, A.D. DE A. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. J. Hydrol. v. 523, p.822–829. 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.018>

PEREZ-MARIN, A.M.; MENEZES, R.S.C.; DIAS, E.M.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, p.555-564, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300015>

PINHEIRO, F.S.A. Vulnerabilidade à erosão e morfodinâmica na subbacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE. Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia de Pós Graduação em Geografia, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/6910>. Acesso em: 21 set. 2022.

RODRIGUES, V.; MATALLO JÚNIOR, H.; LINHARES, M.C.; GALVÃO, A.L.C.; GORGÔNIO, A.S. Avaliação do quadro de desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas. In Gomes, G.M.; Souza, H.R.; Magalhães, A.R. Desenvolvimento sustentável no Nordeste. Brasília, IPEA. 1995.

REIS, E. Estatística Multivariada Aplicada. Edições Silabo: Lisboa, 1997.

RODRIGUES, V. Desertificação: As relações entre suas causas e as atividades humanas. *Interciência*, Caracas, 1987. vol. 12, nº 2.

RODRIGUES, M.I.V.; VIANA, M.O.L. An environmental management tool for the State of Ceará, Brazil: the desertification propensity index (DPI), Resumos, Congresso Brasileiro de Meio Ambiente, Fortaleza, 2000.

SHAHZAD, L., SHAH, M., SALEEM, M. ET AL. Livelihood vulnerability index: a pragmatic assessment of climatic changes in flood affected community of Jhok Reserve Forest, Punjab, Pakistan. *Environ Earth Sci* 80, 252. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09562-1>

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

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semiárido brasileiro. in: Angelotti, F.; SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária. 2009. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142623/1/ID-41691.pdf> Acesso em: 8 Jan 2020.

SÁ, I. B.; CUNHA, T.J.F.; TEIXEIRA, A.H.C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M.A. Processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: SÁ, I.B.; SILVA, P.C.G. (Orgs.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa semiárido, 2010.p.125-158.

SAADI, A. Os sertões que viram deserto. Boletim Informativo SBCS 25(1): 10-17, 2000.

SALES, M. C. L. O panorama da desertificação no Brasil. In: MOREIRA, E. (org.) Agricultura familiar e desertificação. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2006.

SALVATI, L.; ZITTI, M.; CECCARELLI, T. Integrating Economic and Environmental Indicators in the Assessment of Desertification Risk: A Case Study. CRA -Ufficio Centrale di Ecologia Agraria-Rome. 2007. https://doi.org/10.15666/AEE R/0601_129138

SALVATI, L.; ZITTI, M.; CECCARELLI, T.; PERINI, L. Developing a synthetic index of land vulnerability to drought and desertification. Geogr Res 47(3):280–291. 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2009.00590.x>

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

SCHMIDTLEIN, M.; DEUTSCH, R.; PIEGORSCH, W.; CUTTER, S. “A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index”, Risk Analysis, 28(4)1099 -1114. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x>

SEMA. SECRETARIA ESPECIAL DO MEIO AMBIENTE. Seminário sobre desertificação no Nordeste: documento final. Brasília, SEMA, 215p. 1986.

SILVA, R.G.; RIBEIRO, C.G. Análise da degradação ambiental na Amazônia ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. Rev. Econ. Social. Rural 42(1):91-110. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032004000100005>

SILVA, T. B. Análise integrada de indicadores socioeconômicos e socioambientais na avaliação do processo de desertificação na região nordeste do estado da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. Anais..Curitiba: INPE, 2011. p. 9252-9260.

SILVA, V. dos S. Os aspectos socioeconômicos associados ao processo de desertificação na microrregião do Cariri PB. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/4816> Acesso em: 10 out. 2019.

SOUSA, R. F. de; BARBOSA, M. P.; MORAIS NETO, J. M. de; MENESES, L. F. de; GADELHA, A. G. Vulnerabilidades e impactos socioeconômicos e ambientais em municípios do Cariri paraibano. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 5,n. 3, p. 63-78, 2008. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=143> Acesso em: 12 out. 2019.

SOUSA, W. R. N.; COUTO, M. S.; CASTRO, A. F.; SILVA, M. P. S. Evaluation of desertification processes in Ouricuri-PE through trend estimates of times series. IEEE Latin American Transactions, v. 11, n. 1, p. 602-606, 2013. <https://doi.org/10.1109/TLA.2013.6502869>

SUD, Y. C., AND M. FENNESSY, 1982: A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM. J. Climatol., 2, 105–125. <https://doi.org/10.1002/joc.3370020202>

TYUKAVINA, A.; HANSEN, M.C.; POTAPOV, P.; PARKER, D.; OKPA, C.; STEHMAN, S.V.; KOMMAREDDY, I.; TURUBANOVA, S. Congo Basin Forest loss dominated by increasing smallholder clearing. *Sci. Adv.* 2018, 4, eaat 2993.

[10.1126/sciadv.aat299](https://doi.org/10.1126/sciadv.aat299)

TAVARES, V. C.; ARRUDA, Í. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Geosul*, v. 34, n. 70, p. 385-405. 2019. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>

TOLEDO, L. G. DE; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, v.59, p.181-186, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M.A. 2012. Socio-climatic hotspots in Brazil. *Climatic Change*, v.115, p. 597-609. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0461-1>

TSESMELIS, D.E.; KARAVITIS, C.A.; OIKONOMOU, P.D.; ALEXANDRIS, S.; KOSMAS, C. Assessment of the Vulnerability to Drought and Desertification Characteristics Using the Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI) and the Environmentally Sensitive Areas Index (ESAI). *Resources* 2019, 8,6. <https://doi.org/10.3390/resources8010006>

VIANA, M.O.L. & RODRIGUES, M.I.V. Um índice interdisciplinar de propensão à desertificação (IPD): instrumento de planejamento. *Revista Econômica do Nordeste*, 30(3): 264-294, 1999.

VIEIRA, M. A. D. Geoestatística aplicada. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba, 2002.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 15, n.1,p. 93-98, 1991.

XUE, Y.; SHUKLA, J. The influence of land surface properties on Sahel climate: Part I. Desertification. Journal of Climate, v.6, n.12, p.2232-2245, 1993.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press, 1990.316p.

WANG, X.; YANG, Y.; DONG, Z.; ZHANG, C. Responses of dune activity and desertification in China to global warming in the twenty-first century. Global and Planetary change, v.67, p.167-185,2009.<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.02.004>

WANG, X.; CHEN, F.; DONG, Z. The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China. Global environmental change. v.16, n.1, p.48-57, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.06.006>

CAPÍTULO 2

VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE A PARTIR DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a vulnerabilidade socioeconômica nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte, a partir de variáveis descritoras de duas principais dimensões: Socioeconômica e Demográfica. A metodologia tomou por base a aplicação de estatística multivariada a partir da técnica de análise fatorial (AF). As variáveis selecionadas foram oriundas do Censo de 2010 do IBGE. A partir da AF foi possível determinar o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica – IVS que permitiu compreender as relações existentes entre os fatores ajustados, sendo possível identificar cinco principais forças concorrentes que atuam sobre o processo de vulnerabilidade nos municípios do estado do Rio Grande do Norte. As principais variáveis descritoras foram: Índice de Gini (93,4%); Índice de Theil (97,3%) (dimensão socioeconômica); População de 25 anos ou mais (99,8%) e População total (99,9%) (dimensão demográfica); EspVnas (99,8%) e MoInf (98,8%) (dimensão longevidade). Assim, a lógica da vulnerabilidade no estado foi definida por fatores que condicionam a capacidade de trabalho e a proporção da população em relação à ocupação do território, sendo verificada predominantemente nas áreas que apresentam maior valor econômico e com maiores quantitativos populacionais. Os resultados mostram que apenas 22 dos municípios do estado do Rio Grande do Norte apresentam baixa vulnerabilidade de acordo com o Índice de vulnerabilidade socioeconômica, com índice superior ($IVS > 0,43$). Estes municípios apresentaram a maior quantidade de valores positivos em duas das três dimensões, as quais tiveram as maiores capacidades de explicação. Estas regiões em geral estão ligadas por indicadores demográfico, educacional, desenvolvimento e socioeconômico que representam a individualidade do município e a relação com as regiões metropolitanas.

Palavras-chave: Análise multivariada, risco, desigualdade

SOCIOECONOMIC VULNERABILITY IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE USING MULTIVARIATE TECHNIQUES

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the socioeconomic and environmental vulnerability in the municipalities of the State of Paraíba, based on descriptive variables of two main dimensions: Socioeconomic and Demographic. The methodology was based on the application of multivariate statistics using the technique of factorial analysis (FA). The selected variables came from the 2010 IBGE Census. From AF it was possible to determine the Socioeconomic Vulnerability Index - IVS, which allowed to understand the existing relationships between the adjusted factors, and it is possible to identify five main competing forces that act on the vulnerability process in the municipalities of the state of Rio Grande do Norte. descriptive variables were: Gini Index (93,4%); Theil Index (97,3%) (socioeconomic dimension); Population of 25 years or more (99,8%) and Total population (99,9%) (demographic dimension); Life expectancy at birth (99,8%) and Child mortality (98,8%) (longevity dimension). Thus, the logic of vulnerability in the state of Rio Grande do Norte was defined by factors that affect the work capacity and the proportion of the population in relation to the occupation of the territory, being verified predominantly in the areas that present greater economic value and with larger population numbers. The results show that only 22 of the municipalities in the state of Rio Grande do Norte present low vulnerability according to the Socioeconomic Vulnerability Index, with a higher index ($SVI > 0.43$). These municipalities presented the highest number of positive values in two of the three dimensions, which had the highest explanatory capacities. These regions in general are linked by demographic, educational, development and socioeconomic indicators that represent the individuality of the municipality and the relationship with metropolitan regions.

Key words: Multivariate analysis, risk, inequality.

1. INTRODUÇÃO

A discussão em relação a vulnerabilidade despertou e continua despertando a curiosidade e o interesse de instituições de pesquisa, assim como dos pesquisadores e da comunidade científica de todo o mundo, isto se deve ao aumento dos índices de desigualdades socioeconômicas e da segregação socioespacial.

A vulnerabilidade social é um processo inerente nas diversas dimensões da vulnerabilidade a múltiplos estressores e choques, referindo-se a limitações na capacidade de pessoas, grupos sociais e territórios para resistir a impactos adversos resultantes de vários fatores estressantes a que as populações são expostas. A vulnerabilidade social deve-se em parte a características inerentes nas interações sociais, instituições e sistemas de valores culturais (Warner, 2007).

Nessa percepção, a vulnerabilidade social, seja ela de ordem pessoal ou econômica, pode ser caracterizada, portanto, pela exposição de famílias a fatores de riscos, podendo estar presente em apenas uma família ou em uma comunidade por inteiro. As suas particularidades estão associadas ao fato da impossibilidade de alterar a condição em que se encontram atualmente, muitas delas vivendo em condições insalubres e sem acesso a serviços básicos, como higiene, educação e moradia inadequada (Carara, 2016).

As dinâmicas populacionais dentro dos territórios é elemento fundamental ao planejamento e organização dos serviços públicos, visto que o território consiste em espaço social físico. Historicamente é constituído por uma população que se constitui a partir de diferentes classes culturais, sociais, acesso aos serviços públicos e vivências. Tais particularidades interferem ou agem condicionando a vida das pessoas e a atuação das políticas públicas (Duarte et al., 2015).

Um dos indicadores utilizados em políticas públicas para a avaliação da qualidade de vida de uma população é o índice de vulnerabilidade social, que se configura como uma dinâmica de correlações em que cidadãos fazem parte de um processo de exclusão social em que se cruzam muitos fatores, com destaque para os fatores econômicos, sociais, demográficos, biológicos e existenciais. Uma situação de vulnerabilidade restringe as capacidades relacionais de afirmação do indivíduo no mundo, gerando fragilização do indivíduo ou da comunidade (Oviedo e Czeresnia, 2015).

Fatores demográficos, econômicos, sociais e tecnológicos, tais como idade de populações e dependência econômica, são alguns fatores examinados em associação com os desastres naturais e a vulnerabilidade humana (Dow e Downing, 1995).

Sendo assim, alguns fatores como, pobreza, concentração populacional nas cidades, impactos econômicos dos desastres, carências na infraestrutura e serviços, corrupção, carências de programas sociais, entre outros, causam um alto grau de vulnerabilidade, desta forma, segundo (Smith, 2001) nos países em desenvolvimento, esses amplos problemas combinados criam as condições para o mais elevado grau de vulnerabilidade.

Percebe - se, portanto, que a vulnerabilidade leva em consideração a ideia de risco, principalmente no uso discursivo do risco-perigo. Este risco pode estar associado à integridade física, moral, social, econômica, psicológica, dentre outras. Outro ponto tratado nas discussões sobre esse campo é a noção de vulnerabilidade social, em que são evidenciadas as situações precárias de assistência social, abrangendo a inoperância do Estado, a existência de ações efetivas e a desarticulação das políticas públicas (Negreiros et al., 2018).

Seddon (2014) elaborou um IVS para o estado do Espírito Santo, a fim de que conseguisse um aprofundamento no entendimento da vulnerabilidade social, contando com dados extraídos do Censo Demográfico de 2010, (DATASUS), (RAIS), (CAGED) e Censo Escolar. Os mesmos estão segmentados em dimensões: educação, empregabilidade, alocação do tempo, renda, infraestrutura domiciliar e composição familiar e mortalidade. Para tanto, foi feita uma agregação dos dados por meio de uma média aritmética dos indicadores e constatou-se que as condições de vulnerabilidade possuem uma distribuição desigual no estado, sendo o acesso ao mercado de trabalho um aspecto de suma importância para a mitigação da vulnerabilidade social.

Schmidlein et al. (2008) fizeram uma análise de sensibilidade do índice de vulnerabilidade social (IVS). Em Charleston; Los Angeles, e Nova Orleans. Utilizaram 54 variações do IVS, foram calculadas para cada área e avaliadas usando análise fatorial. O subconjunto de variáveis forneceu uma representação da vulnerabilidade com similaridade adequada àquela derivada usando o conjunto completo de variáveis sociais empregadas no IVS, ambas as abordagens identificam um conjunto semelhante de unidade de estudo altamente vulneráveis.

Vale ressaltar a dificuldade em construir um índice que tenha vários indicadores e dimensões, pois previamente a qualquer resultado, foi necessário organizá-los para a formação dos temas e grupos de indicadores, baseando-se na semelhança deles, já que existem várias maneiras possíveis para a construção de um índice. O peso de cada variável pode divergir, assim como os processos de composição do índice. Entre as dificuldades

está a necessidade de definir quais dimensões são as mais relevantes e quais devem ser os indicadores utilizados para representar cada uma delas, para que se transforme no índice.

Os indicadores propostos expõem diferentes unidades de medida, sendo assim, estes foram transformados em índices, permitindo assim a agregação das dimensões, para a composição de um índice de vulnerabilidade socioeconômica para o Estado do Rio Grande do Norte. Portanto busca-se, com este trabalho, a proposta de um novo sistema de mensuração da vulnerabilidade socioeconômica, partindo da premissa de uma construção de um índice, utilizando 6 componentes (dimensões) que possam melhor expressar os dados levantados e melhor comunicá-los.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O objeto de estudo é o Estado do Rio Grande do Norte (Figura 3) que está localizado no setor oriental da Região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 05° 47' 42" S e 6° 58' 57" S e as longitudes 35° 12' 34" W e 38° 36' 12" W, limita-se com os Estados do Ceará e da Paraíba. Sua extensão territorial é de 52.811,126 km², divididos em 167 municípios. A população estadual totaliza 3.442.175 habitantes (IBGE, 2015). A distribuição populacional pelo território estadual indicou que 2.464.991 habitantes residiam em espaços urbanos e 703.036 eram moradores rurais (IBGE, 2010).

No intervalo de 1980 a 2010, os dados acerca do número de municípios denotam um crescimento de 39% no âmbito do Brasil e de 11% no Rio Grande do Norte, revelando uma desaceleração acentuada no processo de criação de municípios no país e no estado. Nessa direção, os dados relativos ao período indicam que a população do Rio Grande do Norte obteve uma taxa de crescimento de 66%.

A participação da população potiguar no contingente demográfico do país, nesse período, foi de 1,6% em 1980, 1,6% em 1991; 1,6% 2000; e 1,7% em 2010. O padrão de comportamento da população rural, no período 1980 a 2010, revelou uma tendência a decréscimo tanto no Brasil quanto no Rio Grande do Norte, registrando-se índices negativos: -22% e -10%, respectivamente. As informações acerca da população urbana relativas ao período de 1980 a 2010, evidenciam a consolidação de seu crescimento no país (100%) e no estado (121%). Associado ao aumento da população urbana registrou-se o crescimento das taxas de urbanização, ou seja, da participação desse contingente no cômputo da população total, tanto em nível de Brasil quanto de Rio Grande do Norte. Em

2010, o país atingiu uma taxa de urbanização de 84,36% e o estado alcançou o índice de 77,8%.

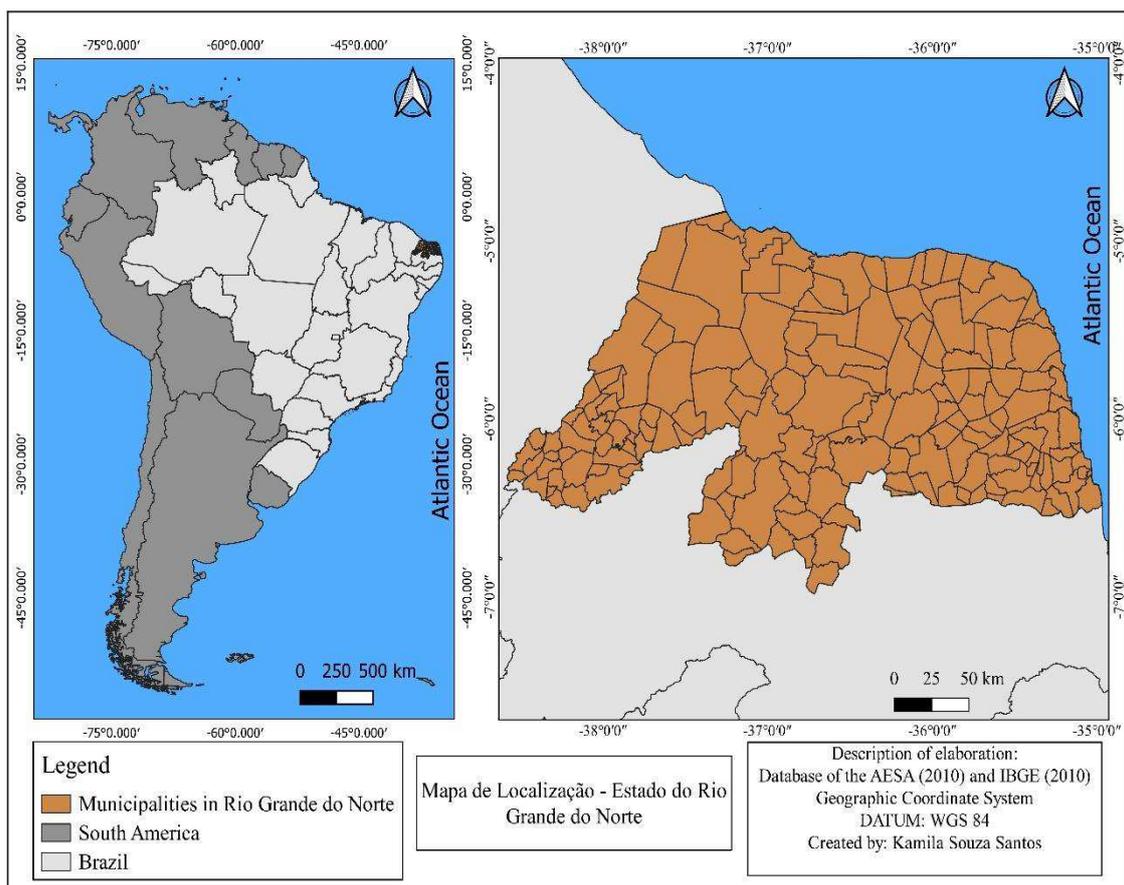


Figura 3. Localização da área de estudo (Fonte: Autor, 2019).

No que se refere às condições climáticas, o Rio Grande do Norte caracteriza-se por apresentar temperatura média anual em torno de 25,5 °C, com máxima de 31,3 °C e mínima de 21,1°C, pluviometria bastante irregular (em termos de quantidade e período) e umidade relativa do ar, com variação média anual de 59% a 76%. Em decorrência de sua localização geográfica próxima ao Equador, predominam as elevadas temperaturas, verificando-se entre 2.400 e 2.700 horas por ano de insolação. De maneira geral, os tipos de clima que ocorrem no Estado podem ser classificados em Tropical Quente, Úmido e Subúmido, e Tropical Quente e Seco ou Semiárido (Felipe; Carvalho, 1999).

A precipitação pluviométrica do Semiárido brasileiro é marcada pela variabilidade interanual, que, associada aos baixos valores totais anuais de chuva, contribui, como um dos principais fatores, para a ocorrência dos eventos de secas. De acordo com estudo de Marengo (2006), o Semiárido brasileiro sempre foi acometido por grandes secas ou grandes enchentes.

A vegetação é a caatinga, caracterizada por “formação vegetais lenhosas de porte baixo ou médio, formado por plantas xerófilas, ou seja, adaptadas a lugares secos, também são caducifólias, pois perdem as folhas para diminuir a transpiração e evitar assim, a perda de água armazenada” (Nunes, 2006, p. 63) O clima é semiárido, apresentando temperaturas elevadas, como máximas de 35° e chuvas com índices pluviométricos em média de 600 mm anuais (EMPARN, 2016).

2.2 Banco de dados

2.3 Dados demográficos e socioeconômicos

Os dados populacionais utilizados para o cálculo dos indicadores foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base em dados oriundos do Censo Demográfico de 2010. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censodemografico/demografico-2010/inicial>

A princípio partiu-se de um conjunto de 231 variáveis para 167 municípios, foi avaliado quais dimensões poderiam caracterizar/representar a vulnerabilidade socioeconômica no estado e por meio da análise fatorial buscou-se obter um conjunto reduzido de variáveis capaz de resumir as características dessas dimensões.

Estas variáveis foram reduzidas através da análise fatorial, ficaram as mais representativas, assim restaram 31 variáveis (Tabela 1), que foram selecionadas e divididas em Educação, Longevidade, Desenvolvimento e Socioeconômico, e posteriormente os valores foram normalizados através da Equação 1.

$$x = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Para a verificação do comportamento dos dados usou-se a análise fatorial, usando a correlação de Pearson (n), o método de extração foi o da análise dos fatores principais, a rotação foi pelo método VARIMAX (normalização de kaizer) / número de = 5 fatores, usou-se também o teste de significância e o teste de Kaiser –Meyer – Olkin.

Para a verificação do comportamento dos dados usou-se a análise fatorial, usando a correlação de Pearson (n), o método de extração foi o da análise dos fatores principais, a rotação foi pelo modelo VARIMAX (normalização de Kaiser) / número = 5 fatores, a rotação VARIMAX mantém os fatores não correlacionados e a rotação oblíqua, que torna os fatores correlacionados entre si. A ideia básica do giro de fatores é identificar alguns

fatores que possuam variáveis que tenham alta correlação e outros com variáveis que possuam baixa correlação. Usou-se também o teste de significância e o teste de Kaiser – Meyer – Olkin, o KMO é usado para avaliar a adequabilidade da análise fatorial.

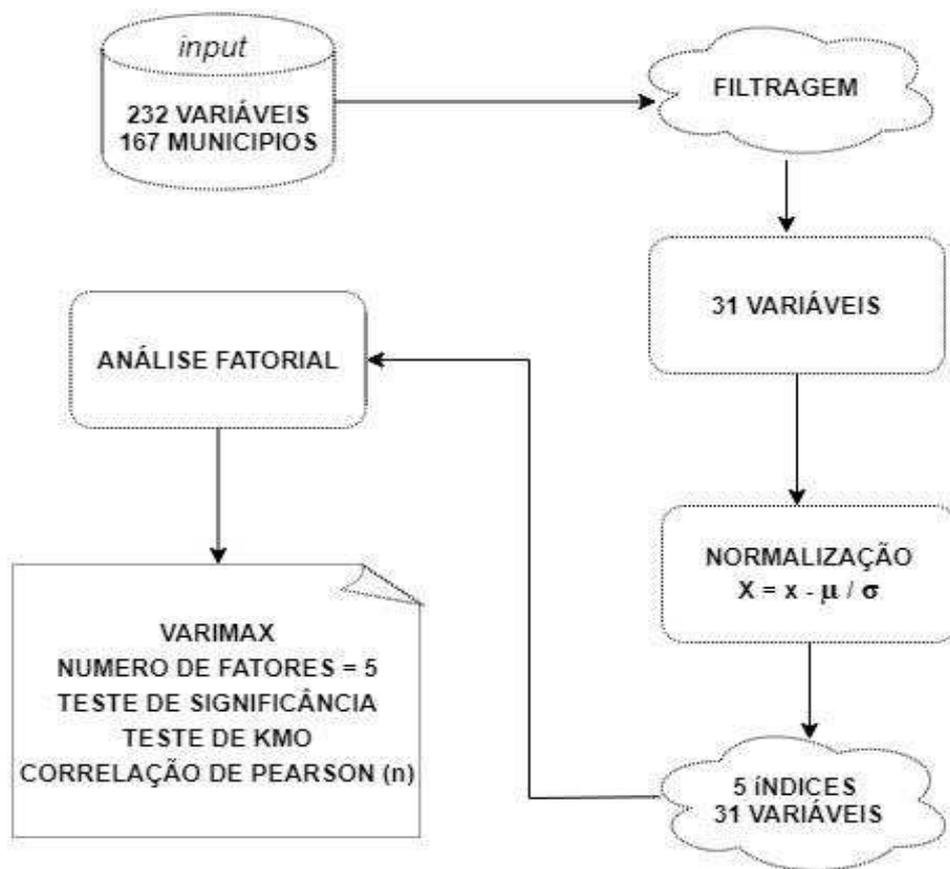


Figura 4. Resumo das etapas da aplicação da análise multivariada (Fonte: Autor, 2019).

Tabela 1. Variáveis explicativas incluídas no estudo.

Categoria	Variável	Descrição
Educação	%6-17bas/2+atra	% de 6 a 17 anos no ensino básico com 2 anos ou + de atraso
	%6-14fund/2+atra	% de 6 a 14 anos no fundamental com 2 anos ou + de atraso
	Tabmed	Taxa de frequência bruta ao ensino médio
	TaBsupe	Taxa de frequência bruta ao superior
	%18-24FundComp	% de 18 a 24 anos com fundamental completo
	%18-24MedComp	% de 18 a 24 anos com médio completo
	%18+MedComp	% de 18 anos ou mais com médio completo
	IDHM	IDHM
	IDHME	IDHM Educação
Demográfico	PM 0-4	População masculina de 0 a 4 anos
	PF 0-4	População feminina de 0 a 4 anos
	PF 45-49	População feminina de 45 a 49 anos
	P25+	População de 25 anos ou mais
	M25+	Mulheres de 25 anos ou mais
	PpT	População Total
	PpU	População urbana
	R10+R	Renda per capita mínima do décimo mais rico
Longevidade	EspVnas	Esperança de vida ao nascer
	Moinfa	Mortalidade infantil
	PBsobre60	Probabilidade de sobrevivência até 60 anos
Desenvolvimento	%18-24Med	% de 18 a 24 anos no médio
	%25+MedComp	% de 25 anos ou mais com médio completo
	%ExPb	% de extremamente pobres
	%VulPb	% de vulneráveis à pobreza
	RPC	Renda per capita
	RPCmedP	Renda per capita média dos pobres
	%PDágua	% da população em domicílios com água encanada
	%PDban/água-enca	% da população em domicílios com banheiro e água encanada
	IDHMR	IDHMR Renda
Socioeconômico	Gini	Índice de Gini
	Theil	Índice de Theil - L

Fonte: IBGE, 2010. Org.: do Autor, 2019.

3. Metodologia

3.1 Análise Fatorial

A análise Fatorial (AF) foi utilizada para identificar as relações existentes entre o conjunto de variáveis observáveis, definidas como dependentes, e uma variável latente ou fator (Corrar et al., 2007, Hair et al., 2009). Tal técnica possibilitou identificar as dimensões isoladas da estrutura dos dados para então determinar o grau em que cada variável é explicada por cada dimensão ou fator (Manly, 2008). A composição do modelo de análise fatorial foi estimada a partir da Eq.(1).

$$X_i = a_i F + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que: $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ é um vetor transposto p dimensional de variáveis aleatórias observáveis; $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ é um vetor transposto r dimensional com ($r < m$) de variáveis não observáveis ou fatores (ou variáveis latentes); $\varepsilon_i = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ é um vetor transposto p dimensional de erros aleatórios ou fatores únicos, e $a_i =$ é a matriz (p, q) de constantes desconhecidas, chamadas de cargas fatoriais.

O grau das correlações simples com as correlações parciais foi estimado utilizando-se a estatística proposta pelo teste Kaiser Meyer Oklin (KMO) de acordo com a Eq. (2).

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (2)$$

em que: $r_{ij}^2 =$ para todo $i \neq j$ é o coeficiente de correlação original entre variáveis; a_{ij}^2 é o quadrado dos elementos fora da diagonal da matriz anti-imagem da correlação e este corresponde ao coeficiente de correlação parcial.

Com intuito de redistribuir a variância dos primeiros fatores para os demais e atingir um padrão fatorial mais simples e teoricamente mais significativa foi utilizado à técnica de rotação dos fatores a partir do método "Varimax" (Hair et al., 2009). Assim, foi necessário testar se a matriz de correlações é uma matriz identidade e avaliar a possível adequação da análise fatorial. Logo, utilizou-se o teste de esfericidade de Bartlett a partir da Eq.(3).

$$X^2 = - \left[n - 1 - \frac{1}{6} (2p + 5) \right] \sum_{i=1}^p \ln \lambda_i \quad (3)$$

em que: λ_i representa a variância explicada por cada fator; n é o número de observações; p , o número de variáveis envolvidas no processo.

A comunalidade foi utilizada como critério para validação das variáveis no ajuste do modelo fatorial e foi determinada pela estimativa da variância de X_i explicada através dos fatores comuns e foi determinada seguindo a Eq.(4).

$$h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2 \quad (4)$$

De acordo com o número de observações que fazem parte do conjunto de dados analisados torna-se necessário a delimitação ou a seleção das dimensões que possam descrever com maior grau a variabilidade presente na análise. No presente estudo foi utilizada a técnica de raiz latente como método restritivo para limitar a quantidade de fatores. Tal técnica parte do princípio que autovalores considerados insignificantes devem ser descartados da análise, como critério de exclusão toma-se valores inferiores a 1, e, portanto, os autovalores selecionados podem explicar assim a variância de pelo menos uma variável para que seja mantida para interpretação (Hair et al., 2009).

3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS)

O IVS foi definido como uma combinação linear dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação à variância dos fatores comuns que descrevem as principais características socioeconômicas da área de estudo a partir da próxima equação. Para melhor detalhamento da metodologia, propõe-se consultar (Bryman et al., 2001).

A estimativa do IVS foi obtida de acordo com a Equação (5).

$$IVS = \sum_{j=1}^q \left(\frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} \times FP_{ij} \right), 0 \leq IVS \leq 1 \quad (5)$$

em que: λ_i representa a variância explicada por cada fator; $\sum_j \lambda_j$ é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns e FP_{ij} é o escore padronizado para se obter os valores positivos dos escores originais essenciais para hierarquizar os municípios.

O cálculo dos escores padronizados foi feito a partir da próxima primeira equação, quando a relação é positiva, e a próxima segunda equação, quando a relação é negativa, segundo Carvalho et al. (2007).

$$FP_{ij} = \left(\frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \right) \quad (6)$$

$$FP_{ij} = \left(\frac{F_{max} - F_i}{F_{max} - F_{min}} \right) \quad (7)$$

em que: F_{min} representa os valores mínimos observados para os escores fatoriais associados a vulnerabilidade socioeconômica nos municípios do estado do Rio Grande do Norte; F_{max} representa os valores máximos observados para os escores fatoriais associados a vulnerabilidade socioeconômica do Estado do Rio Grande do Norte.

A escala hierárquica de classificação dos municípios corresponde aos quantis estatísticos determinados pela frequência das observações agrupadas em cinco classes: $0 \leq IVS \leq 10$ = Vulnerabilidade Extrema; $10 \leq IVS \leq 25$ = Alta Vulnerabilidade; $25 \leq IVS \leq 40$ = Vulnerabilidade Moderada; $40 \leq IVS \leq 55$ = Média Vulnerabilidade; $55 \leq IVS \leq 70$ = Baixa Vulnerabilidade.

3.3 Análise Multivariada

Gerhardt et al. (2001) define análise multivariada como um conjunto de técnicas estatísticas que trata de dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente. É uma ferramenta que processa grande massa de informações em conhecimento, apresentando uma visão mais global do fenômeno em um número menor de variáveis (VICINI, 2005). Na análise multivariada tem-se uma diversidade de técnicas estatísticas que são usadas em vários estudos, com destaque para a análise de agrupamentos que frisa na análise das vulnerabilidades socioeconômicas.

4. Resultados e discussão

De acordo com os resultados alcançados e exibidos na Tabela 2 foi possível analisar a partir do teste KMO os modelos existentes entre os indicadores utilizados, assim como para a averiguação de relação entre os dados socioeconômicos e demográficos no estado do Rio Grande do Norte.

A estatística do teste indicou um valor médio na ordem de 0,8390, salientando a existência de correlações parciais entre pares de variáveis, e assim segundo (Hair et al., 2009) pode-se tomar a decisão de recusar a hipótese da matriz de correlação ser uma matriz identidade, e torna-se possível à aplicação da AF ao grupo de observações. O teste de KMO apresenta alteração entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1 maior a eficácia de extração da variável.

Pallant (2007) e Friel (2009) sugerem valores acima de 0,6 como limiares razoáveis para extrações iniciais, contudo intervalos superiores a 0,85 são classificadas

como excelentes. Já Hair et al. (2006) recomendam intervalos de 0,50 como patamar cabível.

Após a verificação da adaptação da base de dados, e considerados os indicadores que são aptos da aplicação da AF, foi viável extrair os fatores principais que irão compor a capacidade de explicação da variância total do agrupamento de informações (dados).

A principal particularidade do teste é de analisar, o máximo possível, a variância dos fatores observados a partir de combinações lineares das variáveis. Segundo Dancey e Reidy. (2004) a AF se sobressai por empregar somente a variância compartilhada, isto é, não emprega em sua totalidade. Tabachnick e Fidell (2007) frisam que os resultados adquiridos a partir da AF indicaram menos contaminação por conta da oscilação de erro. A quantidade de fatores tomados vai resultar na mais correta interpretação do padrão de correlação entre as variáveis observadas. Contudo um amplo número de fatores amplia a quantidade total de variância explicada pelos fatores.

Tabela 2. Estatística do teste Kaiser Meyer Olkin – KMO para adequação da amostra.

Indicadores	KMO	Indicadores	KMO	Indicadores	KMO	Indicadores	KMO
EspVnas	0,998	%18-24MedComp	0,752	%PDágua	0,239	M25+	0,998
Moinfa	0,988	%18+MedComp	0,888	%PDban/ág/e	0,406	PpT	0,999
PBsobre60	0,997	%18-24Med	0,121	Gini	0,934	PpU	0,995
%6-17bas/2+atra	0,729	%25+MedComp	0,862	Theil	0,973	IDH	0,991
%6-14fund/2+atra	0,611	%ExPb	0,931	PM 0-4	0,993	IDHME	0,952
Tabmed	0,454	%VulPb	0,877	PF 0-4	0,995	R10+R	0,896
TaBsupe	0,468	RPC	0,981	PF 45-49	0,998	IDHMR	0,973
%18-24FundComp	0,764	RPCmedP	0,773	P25+	0,998		

Fonte: Autor, 2019. Org.: do Autor, 2019.

A partir da Figura 5 verifica-se a distribuição do *Scree plot* que expõe a distribuição do número de fatores em função da curva da variância específica de cada fator, buscando-se, assim, reconhecer o momento de linearidade da curva (torna-se horizontal ou tenha uma queda inesperada). Conforme Cattell (1978) tal comportamento aponta que muita variância foi perdida e, por isso, é preciso parar de extrair fatores.

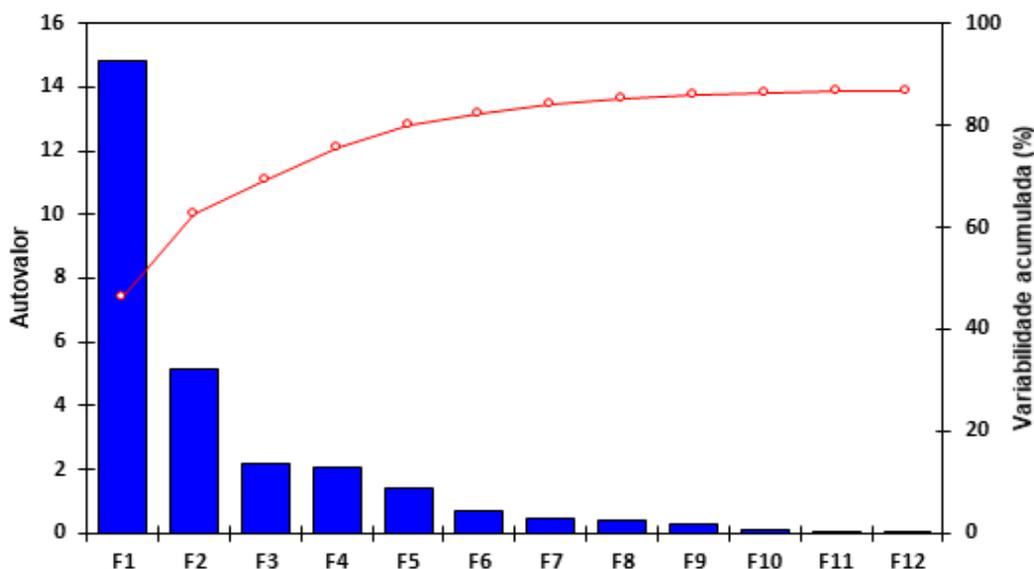


Figura 5. Scree plot - Curva da variância individual de cada fator (Fonte: Autor, 2019).

Ainda como método de seleção do número de fatores para o detalhamento do conjunto de observações utilizou-se a soma da variância acumulada para definir a quantidade de fatores que precisam ser extraídos. Hair et al. (2006) propõem o patamar de 60% como sendo aceitável. Contudo o critério de Kaiser ou regra do autovalor recomenda que devem ser extraídos apenas os fatores com autovalores acima de um. Isso porque se o fator exibe baixo autovalor, ele está ajudando pouco para explicar a variância nos parâmetros originais. A começar dos resultados do teste apoiado na soma quadrática das variações das contribuições, também determinado de raiz latente, identificaram-se primeiramente apenas seis fatores que influenciam na variável vulnerabilidade demográfica e desenvolvimento.

Estes fatores definem a combinação linear entre as variáveis demográfica e desenvolvimento, as quais apresentam capacidade de explicar 86,4% da variabilidade total existente entre estas variáveis dependentes sobre a composição e vulnerabilidade do espaço (Tabela 3). Cada fator representa um conjunto de variáveis que caracteriza a vulnerabilidade dos municípios do estado do Rio Grande do Norte conforme os indicadores propostos no presente estudo.

Os autovalores obtidos na AF foram submetidos à rotação VARIMAX com o intuito de identificar quais variáveis descrevem melhor os fatores e, com isso, simplificar a interpretação dos resultados. Os dois primeiros fatores rotacionados explicam quase 50% da variância total, ou seja, 19,6% e 25,6%, respectivamente. O método de rotação

se refere ao método matemático que rotaciona os eixos no espaço geométrico. Assim, torna-se mais fácil designar quais dimensões são carregadas em quais elementos, isto é, o principal intuito da rotação dos fatores é tornar o resultado prático encontrado mais facilmente interpretável, mantendo as suas características estatísticas.

Tabela 3. Variância total explicada pelos fatores na definição das dimensões.

Fatores	Condições iniciais			Componentes rotacionadas	
	Autovalores	Variabilidade (%)	% Variância acumulada	Variabilidade (%)	% Variância acumulada
F1	14,83	46,35	46,35	19,64	19,64
F2	5,15	16,10	62,45	25,65	45,29
F3	2,20	6,87	69,32	10,55	55,84
F4	2,06	6,43	75,75	16,83	72,67
F5	1,43	4,46	80,21	7,00	79,67
F6	0,71	2,21	82,42	-	-

Fonte: Autor, 2019. Org.: do Autor, 2019.

Sendo assim, a capacidade de explicação ou de conservação dos indicadores pelos fatores que estão relacionados de modo direto ao valor da comunalidade, tais valores são importantes quando $h^2 > 0,6$, calculados após ajuste da rotação Ortogonal VARIMAX, explicando a intensidade da variabilidade total de cada variável ou conjunto de fatores.

Os métodos para a composição de índices são inúmeros, porém com a utilização da AF foi possível aferir que todas as variáveis são importantes para formar os fatores, e esclarecer as inter-relações existentes e a organização de covariância oriunda da correlação de cada variável e seu respectivo fator (Tabela 4). Todas as variáveis detêm forte ligação com os fatores retidos, pois revelaram comunalidades elevadas. Neste contexto, destacam-se as principais variáveis com maior capacidade de explicar cada um dos cinco fatores: Educação = %18+MedComp (88,8%) e %18-24FundComp (76,4%); Demográfico = PpT (99,9%) e P25+ (99,8%); Longevidade = EspVnas (99,8%) e PBsobre60 (99,7%); Desenvolvimento = RPC (98,1%) e IDHMR (97,3%); Socioeconômico = Gini (93,4%) e Theil (97,3%) mostrando que boa parte das variâncias dessas variáveis foi explicada pelos respectivos fatores de agregação, podendo, assim, caracterizar a dinâmica da vulnerabilidade no estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 4. Cargas fatoriais e comunalidades das componentes principais.

Indicadores	Educação	Demográfico	Longevidade	Desenvolvimento	Socioeconômico	Comunalidade final
EspVnas	0,1992	0,1844	0,9344	0,2244	0,0175	0,998
Moinfa	-0,2053	-0,1439	-0,9438	-0,1869	0,0020	0,988
PBsobre60	0,1940	0,1690	0,9404	0,2146	0,0159	0,997
%6-17bas/2+atra	-0,8310	-0,0368	-0,0725	-0,1622	0,0747	0,729
%6-14fund/2+atra	-0,7634	-0,0382	-0,0545	-0,1368	0,0685	0,611
Tabmed	0,6652	0,0795	0,0166	-0,0692	0,0108	0,454
TaBsupe	0,5439	0,2687	0,1070	0,2937	0,0473	0,468
%18-24FundComp	0,8295	0,1290	0,1791	0,1600	-0,0417	0,764
%18-24MedComp	0,7912	0,1348	0,1535	0,2693	-0,1064	0,752
%18+MedComp	0,6543	0,3760	0,2054	0,5156	0,1046	0,888
%18-24Med	0,0551	-0,0111	-0,0972	-0,3176	0,0840	0,121
%25+MedComp	0,5523	0,4131	0,2114	0,5616	0,1619	0,862
%ExPb	-0,2873	-0,1148	-0,1424	-0,8647	0,2601	0,931
%VulPb	-0,4654	-0,2482	-0,2531	-0,7314	0,0076	0,877
RPC	0,3477	0,5216	0,2258	0,6754	0,2846	0,981
RPCmedP	0,2170	0,1385	0,1073	0,7815	-0,2899	0,773
%PDágua	0,1491	0,1240	-0,0247	0,4403	-0,0847	0,239
%PDban/água-enc	0,2880	0,1017	0,0976	0,5381	-0,1187	0,406
Gini	-0,1293	0,2086	0,0246	-0,1784	0,9172	0,934
Theil	-0,0967	0,1900	0,0085	-0,2646	0,9260	0,973
PM 0-4	0,1121	0,9696	0,0988	0,1597	0,0733	0,993
PF 0-4	0,1138	0,9710	0,0981	0,1577	0,0723	0,995
PF 45-49	0,1308	0,9737	0,0932	0,1398	0,0656	0,998
P25+	0,1250	0,9743	0,0958	0,1416	0,0667	0,998
M25+	0,1250	0,9743	0,0958	0,1416	0,0667	0,998
PpT	0,1199	0,9743	0,0960	0,1460	0,0686	0,999
PpU	0,1322	0,9728	0,0924	0,1398	0,0592	0,995
IDH	0,6653	0,2811	0,3577	0,5726	0,1148	0,991
IDHME	0,8365	0,2154	0,1810	0,4161	0,0076	0,952
R10+R	0,3426	0,6287	0,2089	0,5328	0,2364	0,896
IDHMR	0,3720	0,3446	0,2202	0,7679	0,2789	0,973

Fonte: Autor, 2019. Org.: do Autor, 2019.

A rotação ortogonal gerou cargas fatoriais após a rotação da matriz de dados, que produziu ligações das variáveis a um determinado fator (Tabela 4). O procedimento estimou os valores das cargas fatoriais de cada variável, ou seja, entrada ("*input*"), a um estipulado fator, e, a partir de então, deu-se a seleção das variáveis que formam cada uma das cinco dimensões.

4.1 Dimensões da vulnerabilidade, educação e desenvolvimento no estado do Rio Grande do Norte

As dimensões (vulnerabilidade, educação e desenvolvimento), foram contempladas com o maior número de variáveis. Ao fator educação foi associado um

poder explicativo da variância total de 19,64%, tendo as variáveis que caracterizam a componente educação dos municípios, destacando a %18 a 24 anos com fundamental completo (83,0%) e %18 a 24 com ensino médio completo (79,1%) cada uma. Tais composições refletem as maiores cargas fatoriais, revelando seu alto grau de importância para explicar essa dimensão.

Ainda podem compor essa dimensão as variáveis relacionadas à % de crianças entre 6-17 anos no ensino básico com 2 ou mais anos de atraso (-83,1%) e de 6-14 no ensino fundamental com 2 ou mais anos de atraso (-76,3%), observa-se que duas das nove variáveis associadas a dimensão educação apresentaram sinal negativo, refletindo um resultado negativo quanto a vulnerabilidade educacional.

Pode-se inferir que as necessidades educacionais dos estudantes não estão sendo atendidas de forma justa, o que reflete em realidades sociais diferentes. Sendo assim, fica o questionamento, se a oferta (ou não) da educação às camadas sociais mais vulneráveis são atendidas de forma digna.

Essa questão já perpassa décadas, pois desde a década de 60, que mecanismos de repressão, privatização do ensino, exclusão de parcelas das classes populares das escolas públicas de boa qualidade, tecnicismo pedagógico, desqualificação e desvalorização do magistério, por meio de legislações educacionais e institucionalização do ensino profissionalizante, tratou de sufocar as organizações da sociedade civil em torno da Educação (Bessa, 2008, p. 22).

A dimensão desenvolvimento foi a segunda que mais carregou variáveis, logo, os fatores que caracterizam a componente dos municípios e que tiveram destaque, foram, renda per capita média (78,1 %) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) da Renda (76,7%) cada uma. Tais composições refletem as maiores cargas fatoriais, revelando seu alto grau de importância para explicar essa dimensão. Sendo assim pode-se inferir que o estado do Rio Grande do Norte apresenta fatores positivo que conduzem o índice de desenvolvimento humano e a economia a refletirem um bom desenvolvimento social e econômico da população.

4.2 Análise dos fatores

A aplicação da AF (Figura 6) permitiu entender melhor as relações existentes entre os fatores ajustados, sendo possível identificar cinco principais forças concorrentes que atuam sobre o processo de vulnerabilidade nos municípios do Rio Grande do Norte. São

variáveis representadas pela dinâmica da população, caracterizada por componentes que refletem a educação, renda e desenvolvimento.

Com relação à mesma questão o estudo de Alcântara et al. (2013) sobre a vulnerabilidade socioambiental da macrorregião da Costa Verde (RJ) que qualificaram tanto variáveis ambientais como socioeconômicas.

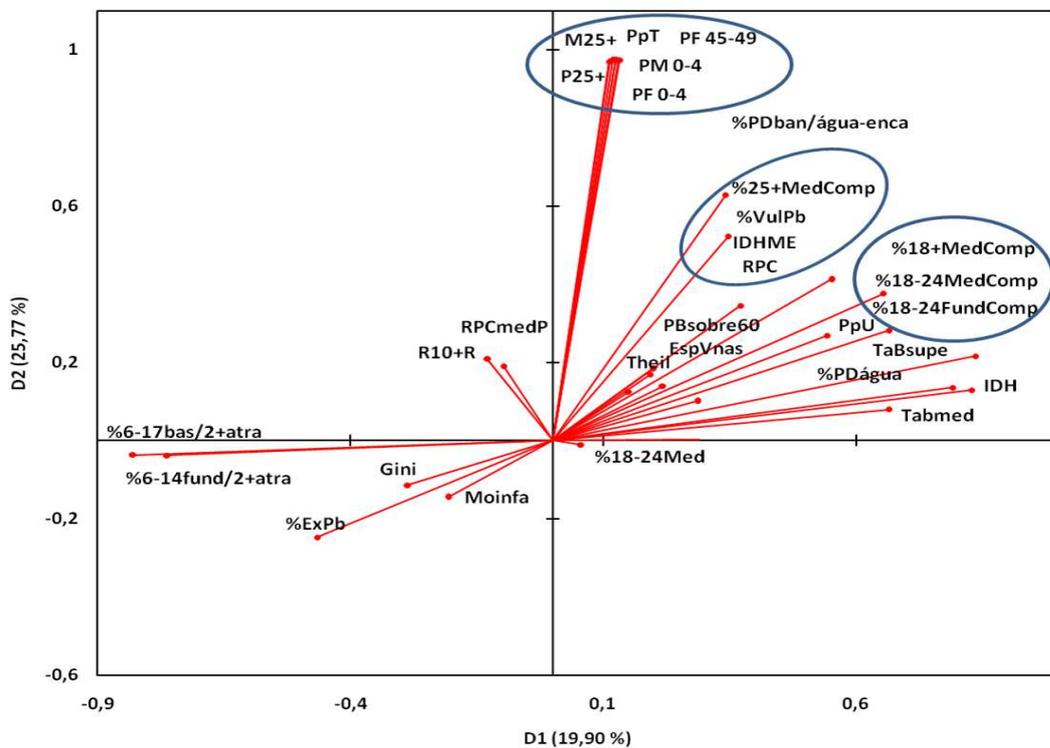


Figura 6. Distribuição dos fatores rotacionados (correlação) (Educação e Demográfico) da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte (Fonte: Autor, 2019).

Em relação à questão da cumulatividade ou sobreposição de riscos e problemas socioeconômicos e ambientais (Torres, 2000) discute teoricamente o conceito de risco ambiental, abordando os problemas e as dificuldades para sua operacionalização. Representando assim um desafio para as políticas públicas (Alves e Torres, 2006).

As forças entre as dimensões da educação, desenvolvimento e demográfico, são somadas, e regiões que apresentam indicadores de educação significativos, raramente irão apresentar índices de desenvolvimento baixos, assim como são apresentados em grandes centros urbanos.

Diante do que foi analisado pode-se deduzir, que as regiões que possuem um alto desenvolvimento humano tendem a apresentar indicadores positivos quando se analisa a dimensão (Educação). Refletindo que quanto maior o desenvolvimento de uma região, o

nível de escolaridade tende a ser mais positivo. Mesmo assim, não se pode afirmar que os fatores oriundos das grandes cidades não possam ser configurados por centros “excluídos” da sociedade, isto é, a análise na escala municipal pode ser reduzida por parâmetros médios que vão retratar uma suavização da amplitude entre as classes sociais que estão inseridas no recorte espacial, o reflexo das populações mais carentes, não conseguem efetuar influências para diminuir as cargas fatoriais da dimensão desenvolvimento (Fator Demográfico).

4.3 Dimensões da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte

As dimensões desenvolvimento e educação, são apresentadas nas Figuras 7 C e 7 D respectivamente, e caracterizam-se pelas maiores capacidades de explicações das variabilidades dos indicadores utilizados no atual estudo. Sendo assim, o fator educação é caracterizado por maior contribuição de IVS em alguns municípios da mesorregião central potiguar, Oeste e parte do leste, o IVS nessas regiões estão em torno de 0.102 - 0.216, tudo indica que a presença das universidades e o instituto federal podem explicar esse baixo índice de vulnerabilidade a educação, pois existem muitas instituições de ensino, as mesmas podem atenuar os valores médios do IVS, fazendo com que o índice de vulnerabilidade socioeconômico (IVS) a educação seja baixo.

As universidades colaboram com a qualificação da mão-de-obra, possibilitando o desenvolvimento e a oferta de serviços qualificados, que seriam mais difíceis de promover sem o ensino superior. Promovem desenvolvimento socioeconômico, impulsionam a origem de consumidores e empresas, contribuindo para gerar um crescimento econômico-social, local e regional. Atraindo assim capital e pessoas, sendo um grande atrativo para o surgimento de novas atividades e investimentos nos municípios onde as mesmas estão inseridas, o que se deve em grande parte a quantidade relevante de recursos que são inseridos, seja através das empresas, salário dos docentes ou dos alunos, o que desencadeia um efeito multiplicador socioeconômico.

As dimensões socioeconômicas e de longevidade são apresentadas nas Figuras 7A e 7E, respectivamente, apresentaram as menores capacidades explicativas das variabilidades dos indicadores que estão sendo utilizados neste estudo.

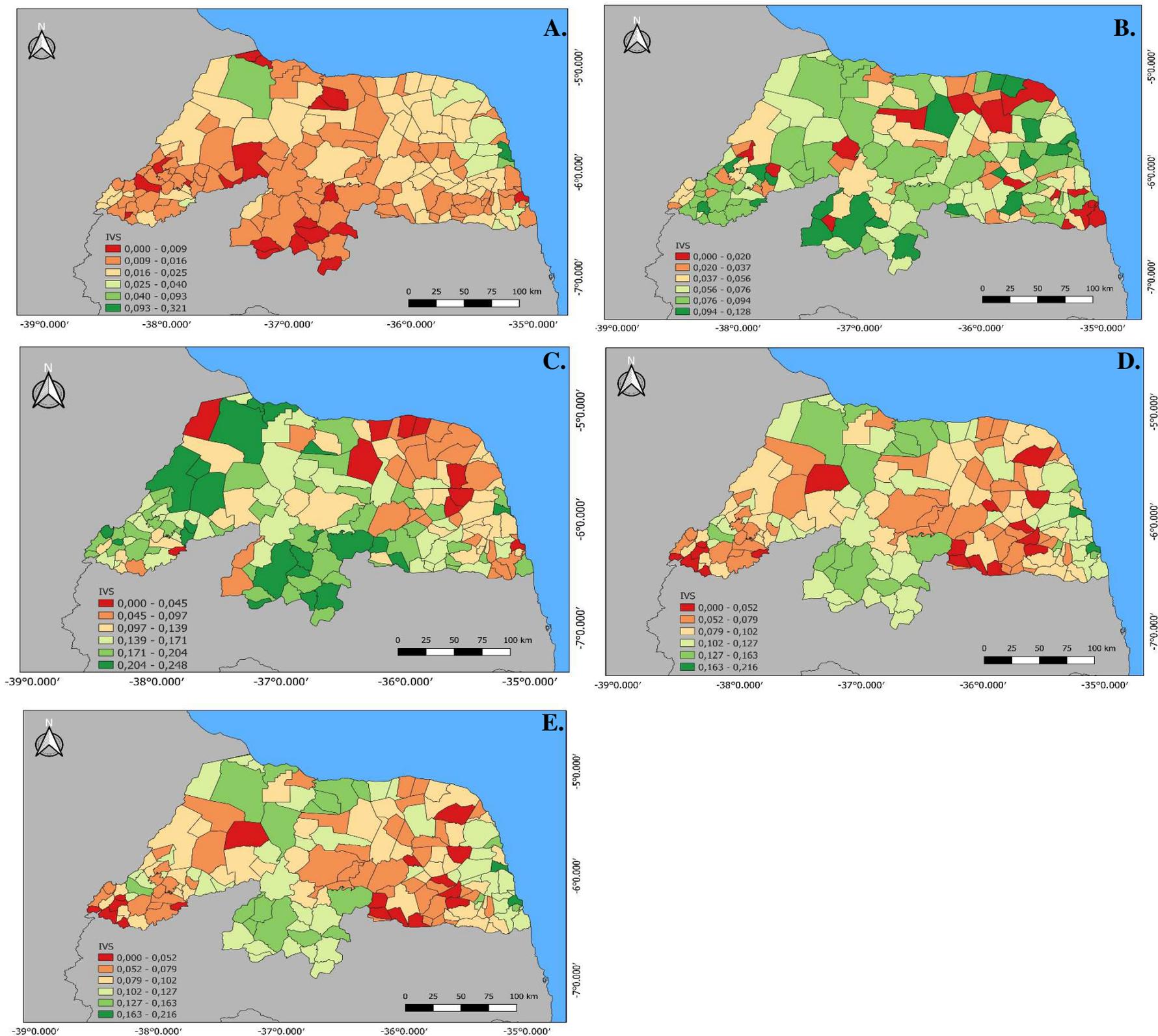


Figura 7. Distribuição das dimensões da vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte. Dimensão Socioeconômica (A), Demográfica (B), Desenvolvimento (C), Educação (D) e Longevidade (E) (Fonte: Autor, 2019).

Tomemos como exemplo a dimensão socioeconômica que se caracteriza por desigualdade na distribuição de renda, observou-se valores de IVS inferiores 0,02 para a maioria dos municípios do estado, sendo assim não se verificou uma região com predominância de valores (0 – 0,02), o que reflete a maioria do valores homogêneos de Gini e Theil para a maioria do estado, observa-se que os fatores socioeconômicos são capazes de organizar a vulnerabilidade no estado, algumas áreas são mais privilegiadas, seja por aspectos naturais ou por políticas de investimento em infraestrutura, o que acaba trazendo grande contraste entre riqueza e pobreza, o que se tem por consequência uma vulnerabilidade socioeconômica, que é produto dessas disparidades.

A dimensão demográfica teve destaque na maioria dos municípios do estado, que tiveram o IVS em torno de 0.056 – 0.128, o que se pode caracterizar como uma baixa vulnerabilidade, explicadas pelas variáveis demográficas, contudo alguns municípios do leste a agreste potiguar apresentaram condição de extrema vulnerabilidade. Os principais indicadores estão relacionados ao quantitativo populacional de pessoas com 25 anos ou mais de idade, ou seja, verificam-se os menores valores de IVS sobretudo para os centros urbanos e regiões metropolitanas. A dimensão demográfica é caracterizada por índice de desenvolvimento da população, como Renda per capita e população total, e que apresentaram os maiores scores fatoriais. Para esta dimensão observa-se menor contribuição de IVS no Leste e agreste potiguar.

Os estudos que abarcam a vulnerabilidade buscam contribuir para avaliação das diferenças socioeconômicas e desigualdades, porque abrangem todo o sistema em desequilíbrio e desassistido politicamente. Dessa forma, utilizar uma ferramenta de estudo da vulnerabilidade e seu conjunto de indicadores pode apontar a estreita relação entre a segregação social urbana, o sistema de infraestrutura e o processo de adensamento (Maior e Cândido, 2014).

Segundo o DIEESE (2007), esta noção de vulnerabilidade social, que considera a relação ativos/vulnerabilidade/estrutura de oportunidades, tem sido adotada para a construção de indicadores sociais mais amplos, não se restringindo a delimitação de uma determinada linha de pobreza.

Enfim a dimensão desenvolvimento é caracterizada por índices de desenvolvimento da população (IDHMR e Renda per capita média), para esta dimensão não se verifica uma região com predominância de valores baixos (0.139 – 0.248), o que reflete um IVS baixo nos municípios do Oeste e central potiguar. Pode-se inferir que o

estado do Rio Grande do Norte apresenta fatores positivos que conduzem o índice de desenvolvimento humano e a economia a refletirem um bom desenvolvimento social e econômico da população.

Assim, a partir dos resultados obtidos nota-se que os índices e indicadores empregados, conseguem descrever a interação social e econômica do estado, portanto esses índices são capazes de revelar fatos que são difíceis de entender, mas de forma resumida.

Para Van Bellen (2005) os indicadores devem ser entendidos como variáveis, ou seja, a representação operacional de um atributo (qualidade, característica, propriedade) de um sistema, cujo objetivo principal consiste em agregar e quantificar informações ressaltando sua significância, visando melhorar o processo de comunicação e entendimento dos fenômenos complexos.

Os resultados exibidos na (Figura 8) refletem a construção de um índice composto que conseguisse compreender a vulnerabilidade socioeconômica, sendo assim, sugere que apenas 22 dos municípios do estado do Rio Grande do Norte apresentam baixa vulnerabilidade de acordo com o IVS, com índice superior ($IVS > 0,43$). O município de São Gonçalo do Amarante é um dos 22 municípios com baixa vulnerabilidade e, é o 4º município mais populoso do estado, atrás apenas de Natal, Mossoró e Parnamirim e ainda integra a região metropolitana de Natal. Sobressai-se a prática da agricultura de subsistência, como o cultivo voltado à produção de frutas e legumes. Na pecuária destacam-se os bovinos (voltados a produção de leite), os caprinos e ovinos, assim como a produção de tijolos. As indústrias geram emprego e renda aos habitantes e aos demais municípios da região metropolitana. Acari é outro município que tem destaque para a agricultura e a pecuária, tendo sua agricultura baseada na produção de laranja e goiaba, o que acaba gerando um retorno econômico para a comunidade.

Estes municípios apresentaram a maior quantidade de valores positivos em duas das três dimensões, as quais tiveram as maiores capacidades de explicação. Estas áreas em geral estão ligadas por indicadores demográfico, educacional, desenvolvimento e socioeconômico que representam a individualidade do município e a relação e/ou processo com as regiões metropolitanas.

Assim sendo, a vulnerabilidade deve ser estudada para que assim possa ter um melhor entendimento de como esse processo ocorre globalmente, podendo ser utilizado como recurso que auxilie e beneficie a população local, visto que a maioria não possui grande capacidade de resistência a determinados eventos, pois vivem sem acesso a

serviços básicos, como o de assistência social, o que na maioria das vezes se atribui a ineficiência do Estado, logo sem educação, moradia inadequada e em condições insalubres o resultado é a instabilidade do cidadão, população ou comunidade. Segundo Brasil (2008), o reconhecimento de grupos populacionais mais vulneráveis e a aplicações de ações voltadas para fortalecer a resiliência desses grupos, são essenciais para elaborar estratégias de adaptações eficazes.

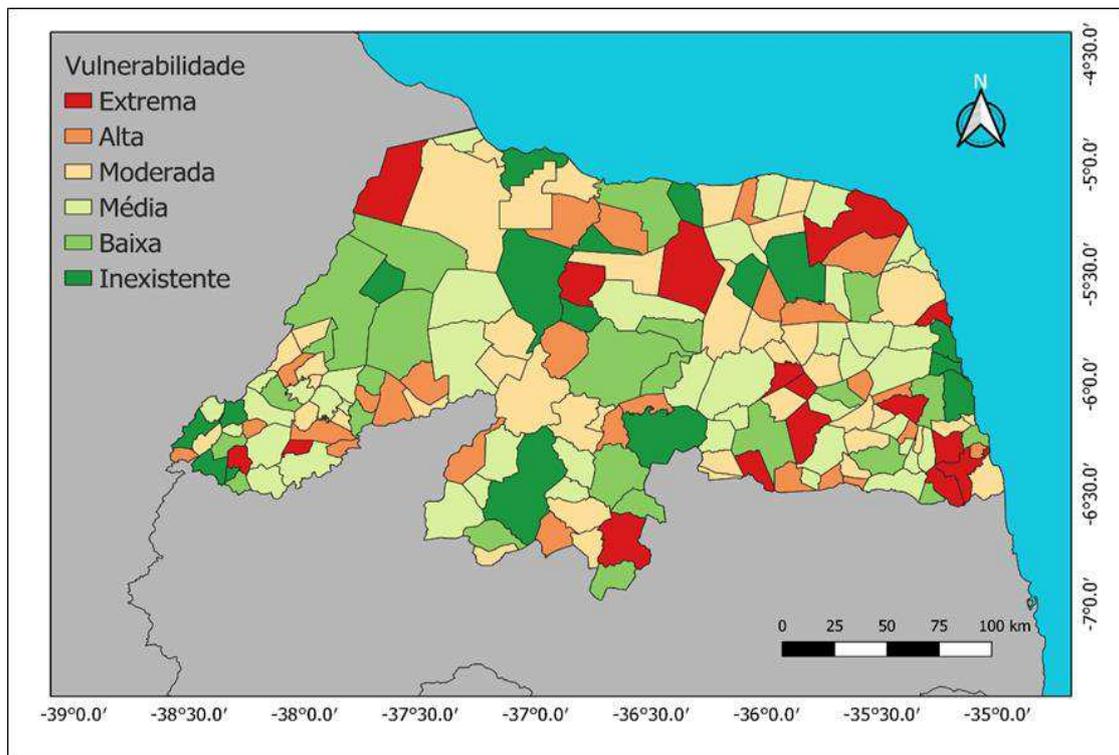


Figura 8. Classificação dos municípios segundo o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS) no estado do Rio Grande do Norte (Fonte: Autor, 2019).

Logo, os 16 municípios (José da Penha, São Bento do Trairí, Parelhas, Ipangaçu, Pedro Avelino, Monte Alegre, Lagoa de Velhos, Goianinha, Barcelona, Pilões, Extremoz, Baraúna, Tangará, Touros, Pedro Velho e Canguaretama), que apresentaram valores de IVS $< 0,26$ (Vulnerabilidade extrema) representam principalmente as mesorregiões do Agreste potiguar e Leste potiguar do estado. Essas áreas são marcadas por práticas inadequadas na utilização da caatinga ao longo dos anos, tais como: a queima do solo para que se possa fazer a plantação de pastagem para o gado, uso da lenha e também a produção de algodão, assim como o desenvolvimento de queijeiras, olarias e a atividade mandioqueira. As essenciais atividades desenvolvidas são ovino-caprinocultura, piscicultura, e as lavouras temporárias.

De acordo com o IBGE (2006), O Rio Grande do Norte (RGN) é o 5º maior produtor de leite de cabra do Brasil. Segundo Salvador (2010), a atividade mandioqueira se faz presente nas lavouras temporárias de todos os municípios do Agreste Potiguar e vem sendo modernizada no Agreste a partir de transformações técnicas e nas relações de trabalho, o que ocasiona também modificações na organização da atividade no território. O Agreste Potiguar, segundo dados do IBGE (2009), é o território potiguar em que mais se produz mandioca, planta que marca esse território desde a sua formação.

De acordo com Wisner et al. (2004), a vulnerabilidade aos perigos é um processo constituído por componentes que envolvem causas profundas (fatores históricos, políticos, econômicos, ambientais e demográficos que produzem desigualdades), pressões dinâmicas (processos sociais específicos como, por exemplo, uma rápida urbanização, conflitos sociais, etc.) e condições de vida pouco seguras (exposição desigual ao risco).

A vulnerabilidade social não é uma simples consequência da exposição aos perigos, mas sim o resultado de condições de desigualdade social que precedem a ocorrência desses processos e que podem estar relacionados com fatores como a pobreza, a idade, o gênero ou a classe social (Cutter, 2003; Bankoff et al., 2004; Dwyer et al., 2004; Cutter, 2006; Bolin, 2006; Cutter et al., 2006; Langridge et al., 2006; Fekete, 2009; Kuhlicke et al., 2011).

5. Conclusão

O Índice de vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte foi definida por fatores que compõem a educação, renda, capacidade de trabalho e desenvolvimento. Verificou-se uma predominância da vulnerabilidade nas áreas com maiores quantitativos populacionais e que também apresentam maior valor econômico.

Sendo assim, essas áreas acabam por concentrar riquezas nas mãos de poucos, gerando desigualdade social e econômica, isto se deve a má distribuição de renda, habitação e a falta de investimento na área da educação e saúde, ocasionando vulnerabilidades a pobreza, más condições de moradia, favelização, falta de saneamento básico, marginalização social e a má qualidade dos serviços públicos.

Com base nos resultados alcançados foi possível identificar que todas as regiões apresentaram municípios vulneráveis, classificados de média a extrema vulnerabilidade, são essas regiões que demandam maior necessidade de planejamento que visem a implementação de ações para reverter o quadro de vulnerabilidade socioeconômica no

qual estão inseridos, pois existe uma real sobreposição entre os grupos populacionais de menor poder aquisitivo, que vivem em situação de vulnerabilidade social e econômica, essa população se concentra em áreas que sofrem com a precariedade de serviços públicos, onde os perigos são iminentes.

Se forem bem empregados, os indicadores e índices podem enriquecer a interpretação da realidade social e econômica e podem conduzir de forma mais eficaz a análise, elaboração e execução de políticas sociais. Podem ajudar na observação das carências, atender nas diversas áreas de ação e auxiliar na negociação das prioridades sociais.

Assim, ocorre a obrigação de ações mais eficazes e definitivas nas políticas públicas, pois se torna primordial, nesse cenário, para que se tenha uma resposta/resolução desse problema, reduzindo ao máximo a distância entre o Estado, a população e as instituições, possibilitando a criação de parcerias em busca do desenvolvimento sustentável e a diminuição dos níveis de vulnerabilidade socioeconômica.

6. Referências

ALCÂNTARA, V. S.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. Metodologia para análise da vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso na macrorregião da Costa verde. Revista Brasileira de Cartografia, n. 65/3:555-570,2013. <https://doi.org/10.14393/revbrscartogr>

ALVES, H. P. F.; TORRES, H. G. Vulnerabilidade socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 44-60, jan./mar. 2006. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v20n01/v20n01_04.pdf Acesso em: 20 jun. 2020. <http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/index.php?men=rev&cod=5072>

BOLIN, B. Race, class, ethnicity, and disaster in vulnerability. In: RODRÍGUEZ, H.; QUARANTELLI, E. & DYNES, R. (Orgs.). Handbook of disaster research. New York: Springer, p.113-129. 2006. https://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4_7

BRASIL. Plano nacional sobre mudança do clima. Comitê Interministerial Sobre Mudança do Clima. Brasília, 2008. Disponível em: <https://www.nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2008/10/16929092008073244.pdf> Acesso em: 30 jun. 2020.

BANKOFF, G.; FRERKS, G. & HILHORST, D. Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People, Earthscan, London. 2004. <https://doi.org/10.4324/9781849771924>

BRYMAN, A. & CRAMER, D. Quantitative data analysis with SPSS release 10 for windows: A guide for social scientists. New York, NY, US: Routledge. 2001. <https://doi.org/10.4324/9780203498187>

BESSA, V. da H. Teorias da aprendizagem. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/39329773/Teorias_da_Aprendizagem_Autor_a_Val%C3%A9ria_da_Hora_Bessa Acesso em: 30 jun. 2020.

CUTTER, S. Moral hazard, social catastrophe: the changing face of vulnerability along the hurricane coasts. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1): 102-112. 2006. <https://doi.org/10.1177/0002716205285515>

CARVALHO, D. F.; SANTANA, A. C.; NOGUEIRA, A. K. M.; MENDES, F. A. T. e CARVALHO, A. C. Análise do desempenho competitivo da indústria de móveis de madeira do Estado do Pará. Amazônia: Ciência e Desenvolvimento. Belém, v.2, n.4, p.37-36, 2007.

CARARA, M.L. Dificuldade de aprendizagem e vulnerabilidade social sob a percepção da comunidade escolar. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação e Direitos Humanos) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Santa Catarina. 2016. Disponível em: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Artigo-Mariane.pdf> Acesso em: 15 jun. 2020.

CUTTER, S. L. The vulnerability of science and science of vulnerability. Annals of the Association of American Geographers, v.93, n.1, p.1-12. 2003. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.93101>

CUTTER, S. L. Living with risk: the geography of technological hazards. Londres: Arnold, 1993.

CATTELL, R. B. The Scientific Use of Factor Analysis in Behavioral and Life Sciences. Nova York: Plenum, 1978. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2262-7>

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. (coord.). Análise multivariada para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo: Atlas, 2007.

DWYER, A.; ZOPPOU, C.; NIELSON, O.; DAY, S. & ROBERTS, S. Quantifying social vulnerability: a methodology for identifying those at risk to natural hazards. Canberra, Commonwealth of Australia: Geoscience Australia Record, 2004. 14: 92p. Disponível em: <https://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2111GIS/Ref/GA4267-IdentifyingRisks.pdf> Acesso em: 30 jun. 2020.

DOW, K; T.E. DOWNING. ‘Vulnerability research: where things stand’. Human Dimensions Quarterly.1(1). pp. 3–5. 1995.

DUARTE, L.S.; PESSOTO, U.C.; GUIMARÃES, R.B.; HEIMANN, L.S.; CARVALHEIRO, J.R. e CORTIZO, C.T. Regionalização da saúde no Brasil: uma perspectiva de análise. Saúde e Sociedade 24:472-85. 2015. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902015000200007>

DANCEY, C; REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – DIEESE. Aspectos Conceituais da Vulnerabilidade Social. Projeto de Qualificação Social para Atuação de Sujeitos ou Grupos Sociais na Negociação Coletiva e na Gestão de Políticas Públicas. Convênio MTE/SPPE/CODEFAT – nº. 075/2005 e Primeiro Termo Aditivo. 2007. Disponível em: http://www3.mte.gov.br/observatorio/sumario_2009_TEXTOV1.pdf Acesso em: 30 jun. 2020.

DANCEY, C. AND J. REIDY. Statistics Without Maths for Psychology with Psychology Dictionary. 1st Edn., Pearson Education, ISBN-10:0582895936. 2004.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA DO RIO GRANDE DO NORTE
EMPARN. Meteorologia/Climatologia. Parelhas. Precipitação e Temperatura 2016.
Disponível em: www.emparn.rn.gov.br Acesso em 30 de setembro de 2019.

FRIEL, C. Notes on Factor Analysis. Criminal Justice Centre, Sam Houston State
University. 2009.

FEKETE, A. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in
Germany. Natural Hazards Earth System Sciences 9:393–403. Disponível em:
<http://www.nat-hazardsearthystsci.net/9/393/2009/> <https://doi.org/10.5194/nhess-9-393-2009>

FELIPE, J. L. A; CARVALHO, E. A. Atlas escolar do Rio Grande do Norte. João Pessoa:
GRAFSET, GOMES MA, PEREIRA MLD. Família em situação de vulnerabilidade
social: uma questão de políticas públicas. Ciênc. Saúde Coletiva 2005; 10:357-64. 1999.
<https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000200013>

GERHARDT, E. J.; FINGER, C. A. G., LONGHI S. J.; SCHUMACHERL M, V.
Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. Baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo
e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 11, n. 2, p.
41-57, 2001. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981653>

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise
multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 593p.

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise
multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HAIR, JR; BLACK, W. C; BABIN, B. J; ANDERSON, R. E e TATHAM, R. L.
Multivariate Data Analysis. 6ª edição. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall,
2006.

IBGE. Censo demográfico 2000: características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro, 2000.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro. IBGE, 2011.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao>. Acesso em: 30 de setem de 2019.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao> Acesso em: 18 de junho de 2019.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao> Acesso em: 30 de setem de 2019.

IDEC. Inventário do espelho d'água superficial do Estado do Rio Grande do Norte. Natal, Bacias hidrográficas do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://www.serhid.rn.gov.br> Acesso em 01 jul 2019.

KUHLICKE, C.; SCOLOBIG, A.; TAPSELL, S.; STEINFÜHRER, A. & DE MARCHI, B. Contextualizing social vulnerability: findings from case studies across Europe. *Natural Hazards*, 58(2):789-810. 2011. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9751-6>

LANGRIDGE, R.; CHRISTIAN-SMITH, J. & LHOSE, K. Access and resilience: analyzing the construction of social resilience to the threat of water scarcity. *Ecology and Society*, 11(2): 18. 2006. <https://doi.org/10.5751/ES-01825-110218>

MAIOR, M. M. S. E CÂNDIDO, G. A. Vulnerabilidade socioeconômica: um estudo transversal para o município de João Pessoa - PB. *Revista Principia: divulgação científica e tecnológica do IFPB*, João Pessoa, n. 24, p. 72-87. 2014. Disponível em <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/159/129> Acesso em 01 jul 2019.

MANLY, B. F. J. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3. Ed. Porto Alegre. Bookman. 2008. 229p.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, MMA. 212 p. 2006. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/mc_globais_efeitos_biodiversidade.pdf Acesso em 01 jul 2019.

MENDES, J.M.; TAVARES, A.O. Risco, vulnerabilidade social e cidadania. Revista Crítica de Ciências Sociais. 2011. <https://doi.org/10.4000/rccs.89>

MMA. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano Nacional de Combate à Desertificação. 2016.

NEGREIROS, D. J.; GOMES, I.D.; COLAÇO, V.F.R. & VERÔNICA, M.X. Risco e Vulnerabilidade: pontos de convergência na produção brasileira sobre juventudes. Revista Eletrônica de divulgação Científica da Infância e Juventude, 6(18): 20-33. 2018. Disponível em: http://desidades.ufrj.br/wp-content/uploads/Desidades18_PT-1.pdf Acesso em: Acesso em: 01 jul 2020.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade Climática Intrasazonal Sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. Revista Climanálise, 2001. Cachoeira Paulista, SP. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/artigo_variabilidade_dez01.pdf Acesso em: 10 maio 2020.

NUNES, E. Geografia física do Rio Grande do Norte. 1. ed. Natal: Imagem Gráfica. 114p. 2006.

OVIEDO R.A.M e CZERESNIA, D.O. Conceito de vulnerabilidade e seu caráter biossocial. Interface Comunicação Saúde e Educação. 19:237-50, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-57622014.0436>

PALLANT, J. SPSS Survival Manual. Open University Press, 2007.

SCHMIDTLEIN, M.; DEUTSCH, R.; PIEGORSCH, W. e CUTTER, S. A sensitivity analysis of the social vulnerability index. *Risk Analysis*, 28(4):1099-1114, 2008.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x>

SEDDON, D.S.N. Vulnerabilidade social no Espírito Santo: conceito e mensuração. (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. Dissertação de Mestrado. 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/1168>
Acesso em: 10 maio 2020.

SEPLAN; IDEC. Plano de desenvolvimento sustentável do RN. Natal, 1997.

SMITH, K. *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. 3 ed. 392p. Londres: Routledge, 2001.

SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.93-99, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50007210>
Acesso em: 10 maio 2020.

SUSMAN, P. et al. Global disasters: a radical interpretation. In *Interpretations of calamity*, Hewitt, K. (Ed.). Boston, MA: Allen & Unwin, p, 264-283, 1984.
<https://doi.org/10.4324/9780429329579-14> Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335954752_Global_disasters_a_radical_interpretation Acesso em: 10 maio 2020.

TORRES, H. G. A demografia do risco ambiental. In: TORRES, H.; COSTA, H. (Orgs.). *População e meio ambiente: debates e desafios*. São Paulo: Editora Senac, 2000, p. 53-73.

TABACHNICK, B.; FIDELL, L. *Using multivariate analysis*. Needham Heights: Allyn e Bacon, 2007.

VICINI, L. Análise multivariada da teoria à prática. 2005. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/18058> Acesso em: 20 de maio 2020

WISNER, B.; BLAIKIE, P.M.; CANNON, T. e DAVIS, I. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, Routledge. 2004. <https://doi.org/10.4324/9780203428764> Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270588923_At_Risk_Natural_Hazards_People_Vulnerability_and_Disasters_1st_edition

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84033> Acesso em: 10 maio 2020.

WARNER, K. et al. Perspectives on social vulnerability. United Nations University - Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Munich Re Foundation. 2007. Disponível em: <http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1873/pdf3883.pdf> Acesso em: 05 maio 2020.

CAPÍTULO 3

DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi compreender a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões do estado do Rio Grande do Norte, no período de 1985 a 2018. A metodologia tomou por base a análise de agrupamento que foi feita através da amplitude (2018-1985) da cobertura florestal, foram aplicados testes de tendência de Mann-Kendall, Sen e homogeneidade. Utilizou-se a base de dados tabulares em área (Ha) da cobertura e uso do solo por bioma, estado e município. Dos 167 municípios, selecionou-se 19 microrregiões. Usou-se séries temporais anuais da cobertura florestal, para verificar a variabilidade temporal da cobertura, amplitude e tendência de perda da cobertura florestal da Caatinga. Os resultados mostraram que algumas microrregiões apresentaram significativa redução da cobertura florestal. Foram elas, Serra de São Miguel, Umarizal, Chapada do Apodi, Médio Oeste e Mossoró, em 2010 e no ano de 2013 foram Vale do Açu, Angicos, Médio Oeste, Mossoró, Macau, Baixa Verde e Litoral Nordeste. A maior variabilidade (diferença) na perda de cobertura florestal (Caatinga), foi em Mossoró, Médio Oeste, Borborema Potiguar e Pau dos Ferros. Mossoró e Serra do Mel foram os municípios que mais perderam cobertura florestal, no entanto, Serra Negra do Norte, Caicó, São João do Sabugi e São Fernando foram os que mais ganharam cobertura. Pau dos Ferros, Umarizal, Seridó Ocidental, Serra de Santana e Macau, tiveram tendência crescente estatisticamente significativa (p -valor $<0,05$) de perda da cobertura de Caatinga. Observou-se uma tendência na perda da cobertura de Caatinga durante o período de 2001 a 2017 e 1978 até meados de 2018, após o ano 2000 observou-se um aumento na cobertura de caatinga, que perdurou por aproximadamente nove anos (2001 a 2009), dentre 9 anos (2010 a 2017), restantes do período em questão apresentaram tendência decrescente e crescente, respectivamente. É notável o decréscimo da cobertura florestal original. Assim, podemos inferir que este decréscimo está associado aos avanços das ações antrópicas, assim como agricultura e pecuária, além da própria componente climática.

Palavras-chave: Uso e Cobertura da terra, Caatinga, Geoprocessamento, Mapbiomas, Series Temporais, Sensoriamento Remoto, Nordeste do Brasil, Região Semiárida

DYNAMIC TIME SPACE OF LAND USE AND COVERAGE IN THE MICRO-REGIONS OF THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT

The objective of this work was to understand the spatial and temporal dynamics of land use and land cover in the microregions of the state of Rio Grande do Norte, in the period from 1985 to 2018. The methodology was based on the cluster analysis that was done through the amplitude (2018-1985) of forest cover, Mann-Kendall trend, Sen and homogeneity tests were applied. The tabular database in area (Ha) of land cover and land use by biome, state and municipality was used. Of the 167 municipalities, 19 microregions were selected. Annual time series of forest cover were used, to verify the temporal variability of the cover, amplitude and trend of loss of Caatinga forest cover. The results showed that some microregions presented a significant reduction in forest cover. They were, Serra de São Miguel, Umarizal, Chapada do Apodi, Médio Oeste and Mossoró, in 2010 and in the year 2013 were Vale do Açu, Angicos, Médio Oeste, Mossoró, Macau, Baixa Verde and Litoral Nordeste. The greatest variability (difference) in forest cover loss (Caatinga), was in Mossoró, Médio Oeste, Borborema Potiguar and Pau dos Ferros. Mossoró and Serra do Mel were the municipalities that lost the most forest cover, however, Serra Negra do Norte, Caicó, São João do Sabugi and São Fernando gained the most cover. Pau dos Ferros, Umarizal, Seridó Ocidental, Serra de Santana and Macau, had a statistically significant (p -value <0.05) increasing trend in loss of Caatinga cover. A trend was observed in the loss of Caatinga cover during the period from 2001 to 2017 and 1978 until mid-2018, after the year 2000 an increase in Caatinga cover was observed, which lasted for approximately nine years (2001 to 2009), among 9 years (2010 to 2017), remaining of the period in question showed decreasing and increasing trend, respectively. The decrease in the original forest cover is remarkable. Thus, we can infer that this decrease is associated with the advances of anthropic actions, such as agriculture and livestock, in addition to the climatic component itself.

Keywords: Land Use and Cover, Caatinga, Geoprocessing, Mapbiomes, Time Series, Remote Sensing, Northeastern Brazil, Semi-arid Region.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra ocorrem de forma acelerada e torna-se importante detectar essas mudanças, para que possa ser identificado os níveis de degradação do ambiente ao longo do tempo. Segundo DeFries et al. (2004) a sociedade é altamente dependente de um sistema de terra funcional e estável para a produção de alimentos e para acessar recursos naturais, incluindo água, madeira, fibra, minério e combustível, entre outros serviços e bens do ecossistema. No entanto, o uso da terra induzida pelo homem e mudanças na cobertura da terra nos últimos 50 anos têm alterado a composição, estrutura e serviços dos ecossistemas terrestres em uma taxa sem precedentes (Lautenbach et al., 2011). Como consequências, o equilíbrio entre a terra, a atmosfera e sistemas oceânicos e o bem-estar humano, assim como a biodiversidade global estão em alto risco (Butchart et al., 2010; Verburg et al., 2015).

Segundo De Oliveira et al. (2012) o bioma semiárido Caatinga (84 milhões de hectares (Mha), ou seja, 10% do país), localizado na região Nordeste do Brasil, é considerado o bioma brasileiro que mais foi alterado pela mudança de uso e cobertura da terra, sendo hoje principalmente coberto por florestas de crescimento secundário (Aide et al., 2013; Sobrinho et al., 2016). Informações espacialmente explícitas sobre as trajetórias históricas do uso e cobertura no Brasil são fundamentais para informar o planejamento e a gestão sustentável dos recursos naturais, formulação de políticas, entre outras aplicações sociais (Almeida-Filho et al., 2005).

Vale salientar a dificuldade em se fazer um levantamento de campo em áreas extensas, pois demanda investimento e tempo de execução, sendo assim, quando se pretende avaliar as alterações de uso e cobertura da terra em escalas de tempo, pode se tornar inviável, visto que as informações nem sempre estão disponíveis para períodos longos, assim sendo o sensoriamento remoto torna-se a escolha mais viável. Os dados de sensoriamento são capazes de captar alterações de uso da terra ao longo do tempo e do espaço (Rogan e Chen, 2004), promovendo assim oportunidades de investigação sobre os impactos em todo o mundo.

Entretanto, mesmo que as técnicas de sensoriamento sejam mais avançadas, ainda existe um limite na capacidade de identificar o ganho e a perda de pequenos fragmentos de floresta nativa, pois o satélite tende a ter dificuldade em conseguir identificar algumas perdas e ganhos de cobertura florestal, assim como pode ocorrer uma resposta espectral diferente do esperado em decorrência das chuvas.

O sensoriamento remoto se apresenta como ferramenta fundamental para monitoramento dessas regiões, visto que sensores orbitais podem cobrir uma extensa área da superfície com uma escala temporal satisfatória, permitindo a estimativa de parâmetros que só seriam obtidos em aplicações ambientais específicas em experimento de campo (Santos et al., 2015; Silva et al., 2015). Segundo Santos et al. (2015) existem muitas vantagens ao se fazer uso do sensoriamento orbital com o propósito de identificar alterações no uso da terra e as alterações climáticas advindas de tais mudanças.

Para avaliar processos de desmatamento, regeneração ou reflorestamento em zonas semiáridas, os dados ópticos de observação são limitados pela alta variabilidade espaço-temporal da vegetação. De acordo com Mayes et al. (2015) essa limitação é decorrente da ecologia regional complexa da vegetação aliada a fatores como práticas de uso da terra e regimes de perturbação. Tomasella et al. (2018) acrescentaram, ainda, que a ampla variedade de árvores, arbustos e pastagem distribuídos irregularmente no bioma, somados ao seu elevado grau de fragmentação, diversificam as respostas espectrais nessas paisagens.

Araújo et al. (2018) avaliaram as mudanças ocorridas no NEB por meio da análise espaço-temporal do albedo, NDVI e Ts obtidas com base no sensor MODIS no período de 2002 a 2011. Os dados obtidos por sensoriamento remoto foram associados a dados de precipitação obtidos por técnicas de reanálise para avaliação das áreas de interesse e seus respectivos pontos de amostras selecionados. Sobre a mesma temática Cunha et al. (2020) investigaram padrões espaço-temporais de remoção da cobertura vegetal em uma área da Caatinga situada no estado da Paraíba. Os autores utilizaram dados Landsat (TM, ETM+ e OLI) em um intervalo de 31 anos (1985-2015) e compararam os índices espectrais Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e albedo de superfície, tendo o último apresentado a melhor acurácia.

Segundo Carvalho (2019) a partir das dinâmicas de transição de categorias de cobertura e uso da terra e da síntese de informações ambientais, foi possível apresentar resultados de pesquisa com dados da iniciativa MapBiomas, o mesmo foi aplicado a uma escala regional, sendo então estudado a dinâmica de alteração no território municipal de Itatim-BA do ano de 1985 a 2017. A utilização de geoprocessamento e em especial aos estudos de dinâmica da cobertura e uso do solo, observou-se que ao longo de determinado recorte de espaço-tempo no município de Itatim, tem ocorrido uma recorrente perda da vegetação nativa em função do avanço da agropecuária.

Um dos projetos nacionais no âmbito da classificação da cobertura da terra é o Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, o qual envolve os cinco biomas brasileiros. A iniciativa MapBiomas surge como uma ferramenta para a compreensão da dinâmica florestal usando dados de sensoriamento remoto de média resolução com classificação detalhada do uso do solo. O propósito principal do projeto é contribuir para o entendimento dessa dinâmica e que possibilitem recuperar o histórico das últimas décadas, assim como gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (MAPBIOMAS, 2017).

Soares (2019) buscou compreender a dinâmica do uso e ocupação da terra, quantificando os padrões espaciais do Bioma Mata Atlântica nas regiões do Litoral Norte e Agreste Baiano, por meio dos métodos de ecologia da paisagem e técnicas de geoprocessamento. Identificando as mudanças da cobertura de vegetação na série multitemporal (2000-2016). Por meio da plataforma Google Earth Engine e acesso a coleção 2.3 do Mapbiomas. Os estudos indicaram uma diminuição gradual na área de formações florestais em 20%, acompanhada por acréscimo de 29% nas áreas agropastoris e aumento significativo na expansão da infraestrutura urbana durante o período anual 2000 a 2016 e que o maior fragmento de formações florestais ocupa 22,7% da área total da região de estudo. Portanto busca-se, com este estudo, compreender a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões do estado do Rio Grande do norte, no período de 1985 a 2018, por meio da análise de séries temporais de cobertura florestal (Caatinga).

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1Área de estudo

O objeto de estudo é o Estado do Rio Grande do Norte (Figura 9) que está localizado no setor oriental da Região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 05° 47' 42" S e 6° 58' 57" S e as longitudes 35° 12' 34" W e 38° 36' 12" W, limita-se com os Estados do Ceará e da Paraíba. Sua extensão territorial é de 52.811,126 km², divididos em 167 municípios. A população estadual totaliza 3.442.175 habitantes (IBGE, 2015).

De acordo com suas características geográficas, o Estado se divide em quatro mesorregiões, sendo, de leste a oeste: Mesorregião Leste Potiguar, Mesorregião Agreste Potiguar, Mesorregião Central Potiguar e Mesorregião Oeste Potiguar (IDEMA, 2010).

A distribuição populacional pelo território estadual indicou que 2.464.991 habitantes residiam em espaços urbanos e 703.036 eram moradores rurais. (IBGE, 2010).

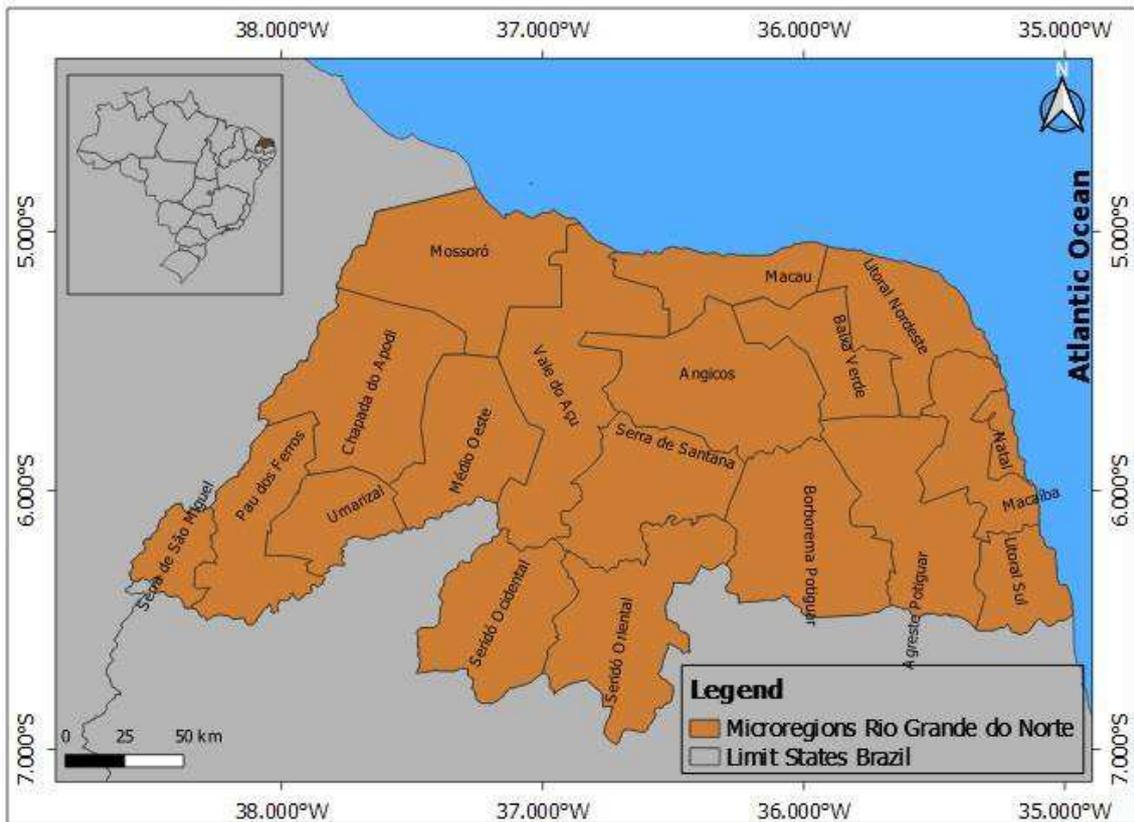


Figura 9. Microrregiões da área de estudo (Fonte: Autor, 2020).

O Estado apresenta uma temperatura média anual de 25,5°C, sendo a máxima de 31,1°C e a mínima de 21,1°C. O número de horas de insolação anual está entre 2.400 e 2.700 horas, com destaque para a região litorânea que chega a ter 300 dias de sol por ano (IBAMA, 2007).

A precipitação pluviométrica do Semiárido brasileiro é marcada pela variabilidade interanual, que, associada aos baixos valores totais anuais de chuva, contribui, como um dos principais fatores, para a ocorrência dos eventos de secas. De acordo com estudo de Marengo (2006), o Semiárido brasileiro sempre foi acometido por grandes secas ou grandes enchentes.

Segundo a classificação de Köppen, o Estado do Rio Grande do Norte pode-se dividir em três tipos climáticos: tropical úmido (As'), com chuvas de outono a inverno; tropical semiúmido (Aw'), com chuvas no outono e com temperaturas elevadas; e, semiárido quente (BSh), suas temperaturas médias giram em torno dos 26°C, as chuvas são irregulares, ocasionando períodos de seca, sendo registrados índices inferiores a 600 mm/ano (Vital, 2005). De acordo com Beuchle et al (2015) a precipitação nesta região tem distribuição temporal e geográfica extremamente irregular, e nesse sentido, segundo Leal et al (2005), as variações anuais de precipitação são grandes nesta região e as secas

podem durar anos. De acordo com o IPCC a variabilidade da pluviosidade, degradação da terra, e desertificação são alguns dos fatores que, se combinados, poderiam fazer desta região uma das mais vulneráveis as alterações climáticas do mundo (IPCC 2012, 2014).

A cobertura vegetal do estado do Rio Grande do Norte está diretamente relacionada com a hidrografia, o relevo e com as condições climáticas e edáficas de cada região. O tipo de vegetação predominante é a Caatinga (IBAMA, 2007). Apesar de sua importância, o bioma Caatinga tem sido desmatado rapidamente, principalmente nos últimos anos, devido ao consumo de lenha nativa. Outro fator é a introdução das energias ditas “limpas” solar e eólica.

A vegetação da caatinga é caracterizada por “formação vegetais lenhosas de porte baixo ou médio, formado por plantas xerófilas” Nunes (2006). A vegetação da Caatinga (uma floresta tropical seca) varia de arbustos decíduos baixos a pequenas manchas de florestas altas e secas; esta vegetação é principalmente fragmentada e tem uma altura de até 20 m (MMA, 2019). Segundo o IDEMA (2010) o estado possui 12 formações distintas de vegetação: Floresta Subperenifólia, (margens dos rios do litoral leste), Floresta Subcaducifólia (estreita faixa entre a zona úmida e o sertão e topo das serras do interior) Caatinga Hipoxerófila, (porção centro-sul, exceto o Seridó oriental), Caatinga Hiperxerófila (porção norte do estado), Caatinga Hiperxerófila (Seridó oriental) e Caatinga Hiperxerófila, presente nas baixadas mais úmidas e nas várzeas dos rios da porção norte do estado.

2.2 Dados

Os dados anuais de cobertura e uso da terra do estado do Rio Grande do Norte entre os anos de 1985 a 2018 foram obtidos do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) (<https://mapbiomas.org/estatisticas>). O objetivo principal do projeto é produzir dados de cobertura e uso do solo de forma automatizada e atualizada e “que possibilite recuperar o histórico das últimas décadas” (MAPBIOMAS, 2017). A coleção utilizada foi a 4.1 que é uma versão com melhorias da classificação da coleção 4 que foi lançada em agosto de 2019 e cobre todo o período de 1985 a 2018. Portanto com melhorias a coleção 4.1 foi publicada em março 2020 e a classe escolhida para as análises foi a 4 – Formação Savânica (Caatinga). Essa base de dados é produzida a partir de classificação supervisionada de imagens de satélites Landsat com resolução espacial de aproximadamente ~30x30m (Raster). Portanto utilizou-se a base de dados tabulares em área (Ha) da cobertura e uso do solo por bioma, estado e

município para o período de 1985 a 2018. Dos 167 municípios, destes selecionou-se as 19 microrregiões geopolíticas do Estado, para analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra, utilizou-se séries temporais anuais (1985 a 2018) da cobertura florestal, para que se pudesse verificar a variabilidade temporal da cobertura, amplitude e tendência de perda da cobertura florestal da Caatinga.

3. Metodologia

A análise de agrupamento foi feita através da amplitude (2018-1985) da cobertura florestal, assim como foram aplicados testes de tendência de Mann-Kendall, Sen e testes de homogeneidade, para verificar o comportamento da série por microrregião, para o estado do Rio Grande do Norte, no período de 1985 a 2018.

3.1 Teste de Mann-Kendall

O teste Mann Kendall (Kendall 1975; Mann 1945) verifica a existência de uma tendência em uma determinada serie temporal, ou seja, para identificar eventuais flutuações nas tendências ao longo do tempo e para detectar os possíveis pontos de mudança na série de cobertura florestal. O teste MK é baseado na Equação (1):

$$S = \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{j=1+i}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Sendo n o número de pontos de dados usados, x_i e x_j são dados da série temporal i e j ($j > i$), respectivamente, e $\text{sgn}(x_j - x_i)$ é a função do sinal, dada como:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

A variação na tendência é calculada por:

$$\text{var}(S)_n = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

em que: P é o número de grupos empatados, o sinal de soma (P) indica a soma de todos os grupos vinculados, e t_i é o número de valores no grupo. Se não houver grupos vinculados, este processo pode ser ignorado (Kisi e Ay 2014). Um grupo vinculado é um

conjunto de dados de amostra com o mesmo valor. Nos casos em que o tamanho da amostra n é maior que 30, o teste normal padrão estatística Z_S é calculado como:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s + 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O valor Z caracteriza se há tendência no teste MK para os dados utilizados. Os valores Z positivos indicam uma tendência crescente e os valores Z negativos indicam uma tendência decrescente. Se o valor de Z for 0, não há tendência.

3.2 Estimador de inclinação de Sen's slope (Sen)

O teste de inclinação não paramétrica de Sen é um teste que foi desenvolvido por Sen (1968) com o objetivo de estimar a verdadeira inclinação de uma tendência. O teste usa um modelo de estimativa de tendência linear, e a variância nos resíduos deve ser constante no tempo. Este teste tem sido amplamente utilizado em estudos ambientais (El Nesr et al. 2010; Gocic e Trajkovic 2013; da Silva et al., 2015 e Kişi et al. 2018). A inclinação é estimada através da Equação (5):

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ for } i = 1 \dots, n \quad (5)$$

em que: x_j e x_k são os valores nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente. Se houver n valores de x na série temporal, obtemos até $N = n(n - 1) / 2$ estimativas de inclinação Q_i . Os valores N de Q_i são classificados do menor ao maior, e o estimador de inclinação de Sen é a mediana dos valores N de Q_i ; este valor é calculado como:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q\left(\frac{n+1}{2}\right) & \text{se } N \text{ for impar} \\ \frac{Q\left(\frac{n}{2}\right) + Q\left(\frac{n+2}{2}\right)}{2} & \text{se } N \text{ for par} \end{cases} \quad (6)$$

O sinal de Q_{med} reflete a tendência dos dados, enquanto o valor indica a inclinação da tendência. Para determinar se a inclinação média é significativamente diferente de zero, o intervalo de confiança de Q_{med} deve ser obtido em uma probabilidade específica. O intervalo de confiança considerando a inclinação de tempo pode ser calculado como (Gilbert, 1987):

$$Ca = Z_{1 - \alpha/2} \sqrt{\text{var}(s)} \quad (7)$$

em que: $Z_{1 - \alpha/2}$ é obtido a partir de uma tabela de distribuição normal padrão. Neste estudo, o intervalo de confiança é calculado em vários níveis de significância. Então, $M1 = (n - Ca) / 2$ e $M2 = (n + Ca) / 2$ são calculados. Os limites inferior e superior de o intervalo de confiança, Q_{\min} e Q_{\max} , é o $M1^{\circ}$ maior e $(M2 + 1)$ o maior das estimativas de inclinação ordenada n , respectivamente (Gilbert 1987). A inclinação Q_{med} é significativa diferente de zero se os dois limites (Q_{\min} e Q_{\max}) têm sinais semelhantes.

3.3 Método de agrupamento hierárquico de Ward

Aplicou-se o método de agrupamento hierárquico de Ward com a finalidade de agrupar os indivíduos (pontos) com base em suas características, assim como uma medida de dissimilaridade denominada quadrado da distância euclidiana. O método de Ward interliga as amostras por suas associações e considera, para a formação inicial dos grupos, aqueles indivíduos que proporcionam a menor soma de quadrados dos desvios. Tendo sido aplicado em toda a série histórica de 34 anos.

O agrupamento foi feito por meio das somas dos quadrados dos desvios entre acessos ou a partir do Quadrado da Distância Euclidiana, verificando-se a relação pela Equações 8 e 9.

$$SQD_{ii'} = \frac{1}{2} d_{ii'}^2 \quad (8)$$

$$SQD_{ii'} = \sum_{j=1}^n SDQ_{j(ii')} \quad (9)$$

em que: $SQD_{j(ii')}$ é a soma dos quadrados dos desvios para a j -ésima variável, considerando-se os postos i e i' ; $d_{ii'}^2$ o quadrado da distância euclidiana entre os postos i e i' , sendo n o número de variáveis avaliadas. A soma dos quadrados dos desvios total é pode ser determinada através da Equação (10):

$$SQDT = \frac{1}{g} \sum_{i < i'}^g \sum_{i'}^g d_{ii'}^2 \quad (10)$$

3.4 Índice de Silhueta

Dentre as abordagens existentes para auxiliar na decisão do número de grupos, foi utilizado o método Silhueta, em inglês silhouette, proposto por (Rousseeuw, 1987), que subsidia na escolha de um número ótimo de grupos, avaliando os particionamentos encontrados, e permite visualizar graficamente os agrupamentos. A silhueta é um gráfico

do cluster C composto por um valor de silhueta $s(i)$, $i = 1, \dots, n$, que reflete a qualidade da alocação dos objetos nos grupos. Cada objeto (indivíduo) do cluster é representado por i . E para cada objeto i o valor $s(i)$ é calculado.

O método das silhuetas foi proposto por Rousseeuw (1987) para uso em método de obtenção de agrupamentos por partição. A ideia é auxiliar o pesquisador a escolher o número ótimo de grupos e, a o mesmo tempo, permitir que se construa uma representação gráfica do agrupamento encontrado.

A qualidade dos clusters formados foi avaliada usando o Índice de Silhueta (SI), desenvolvido por Rousseeuw (1987), que avalia como uma observação é semelhante a outras observações inseridas em seu cluster, comparadas com observações inseridas em outros agrupamentos. Cada observação tem um SI e uma média geral de todas as observações nos permitem avaliar o desempenho geral do cluster. Os valores deste índice variam em o intervalo de -1 a 1. Os valores próximos a 1 indicam se o objeto está no cluster correto. Os valores perto de -1 indica que a observação foi provavelmente alocada a um cluster inadequado. Os valores próximos zero indica que o objeto está perto do limite entre dois clusters e não pertencem a um cluster ou outro.

O SI (n) é calculado de acordo com a seguinte equação (Rousseeuw, 1987):

$$SI(n) = \frac{b(n) - a(n)}{\max \{a(n), b(n)\}} \quad (11)$$

Com a observação sendo avaliada, $a(n)$ é a média distância da n ésima observação a todas as outras dentro do mesmo cluster e $b(n)$ é a distância média da n ésima observação para todas as outras alocadas no grupo mais próximo. A qualidade geral do cluster pode ser medida pela média SI (n), de acordo com a Equação (12):

$$\overline{SI} = \frac{\sum_{n=1}^N SI_n}{N} \quad (12)$$

sendo N é o número total de observações.

4. Resultados e discussão

4.1 Variabilidade da cobertura florestal (Caatinga)

A distribuição da cobertura florestal de Caatinga perda/ganho foi verificada em intervalos de três anos no período de 1986 a 2018, como mostra a (Figura 10). Observa-se que os anos de 1986, 1989 e 1992 tiveram grande redução de cobertura florestal, com destaque para o ano de 1989 (-5000 Ha), após cinco anos foi possível observar uma

recuperação (5000 Ha) nas microrregiões de Pau dos Ferros, Vale do Açu, Serra de Santana, Angicos, Macau, Baixa Verde, Litoral Nordeste, Macaíba e Agreste Potiguar, no ano de 1995. Houve uma perda significativa de cobertura vegetal em 1998, provavelmente associada à ocorrência de secas intensas e ao evento climático El Niño, cuja intensidade foi classificada como forte e tem influência no NEB, causando a redução da precipitação.

Segundo Andreoli e Kayano (2007) as secas extremas no NEB são associadas aos eventos El Niño, assim como as precipitações também são afetadas pelo Dipolo Atlântico, existe uma variabilidade interanual da precipitação relacionada a esses fenômenos (Philander, 1990; Alves et al., 1997)

As microrregiões Baixa Verde, Litoral Nordeste, Agreste Potiguar, e Macaíba destacaram-se na perda de cobertura florestal em 1998, variando de (5.000 a 10.000 ha). De acordo com Marengo et al. (2017), os eventos El Niño mais impactantes coincidem com as secas mais longas do nordeste do Brasil. Segundo Costa (2012) que analisou os eventos de El Niño de acordo com sua área de atuação, classificação e ocorrências no Século XX, relacionou esses eventos com as secas no Nordeste brasileiro e encontrou uma forte correlação entre o referido fenômeno e a ocorrência de seca na Região Nordeste, particularmente na sua porção semiárida.

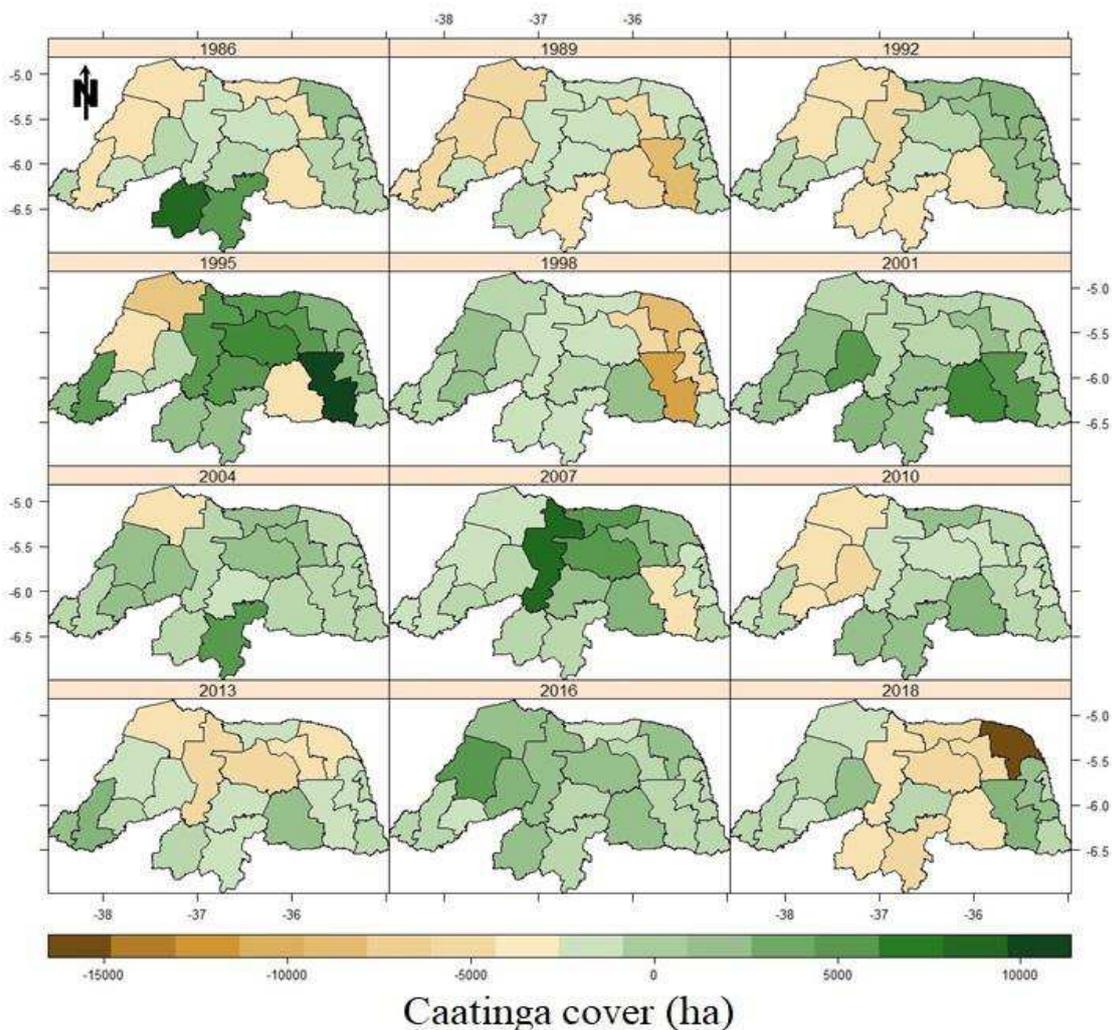


Figura 10. Distribuição espacial da variabilidade da cobertura de Caatinga (Ha) nas microrregiões do estado do Rio Grande do Norte no período de 1986 a 2018 (Fonte: Autor, 2021).

Sendo assim é possível inferir que existe uma relação direta de causa e efeito entre o fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil, pelo menos no prolongamento do período seco além do normal assim como descrito por (Costa, 2012). Ainda sobre essa temática Marengo et al. (2001) destaca que no Nordeste do Brasil, os cinco anos mais secos foram 1970 (71,7 mm), 1993 (73,6 mm), 1998 (75,3 mm), 2002 (76,2 mm), e 1992 (80,7 mm).

Os anos de ocorrência do El Niño e de Dipolo do Atlântico estão apresentados nas Tabelas 5 e 6. Observou-se que esses fenômenos atmosféricos e oceânicos estão associados à qualidade da estação chuvosa do Nordeste do Brasil. Segundo Andreoli e

Kayano (2007) quando o dipolo Atlântico está em sua fase positiva, as precipitações ficam abaixo da média.

Tabela 5. Anos de ocorrência do ENOS

Ocorrências de El Niño		
Forte	Moderado	Fraco
1957-1959; 1972-1973; 1982-1983; 1990-1993; 1997-1998	1965-1966; 1968-1970; 1986-1988; 1994-1995; 2002-2003	1951; 1953; 1963; 1976-1977; 1977-1978; 1979-1980; 2004-2005; 2006-2007; 2009-2010

Fonte: Adaptado de CPTEC (2022).

Em anos de El Niño, ocorre alteração na circulação de Walker acarretando movimento descendente sobre a Região Nordeste do Brasil e, portanto, inibindo a convecção e a consequente atuação dos sistemas que produzem chuvas na região. Dessa forma, existe uma nítida associação entre a ocorrência desse fenômeno com índices de precipitação pluviométrica abaixo da média, assim como o Dipolo do Atlântico (dipolo positivo), que atua inibindo a formação de nuvens e diminuindo a ocorrência de precipitação sobre o Nordeste do Brasil (Moura e Shukla, 1981; Rasmusson e Carpenter, 1982).

Tabela 6. Anos de ocorrência do Dipolo do Atlântico.

Fase Positiva	Fase Negativa
1951, 1953, 1954, 1956, 1958, 1961, 1970, 1976, 1978, 1981, 1982, 1990, 1997, 1998, 2004, 2007	1950, 1957, 1959, 1965, 1967, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1984, 1986, 1987, 1989, 1993, 1994, 1995, 2001, 2008

Fonte: Oliveira et. al. (2010).

Desde o século XVI que têm sido relatadas secas no Nordeste do Brasil (Magalhães et al. 1988). A última seca extrema, em 1998, (devido ao El Niño/e o Atlântico Norte tropical quente) estendeu-se por quase toda a região, afetando seriamente a produção de culturas na área e ameaçando o abastecimento alimentar local. (Marengo et al., 2013). Segundo Marengo et al. (2013) em 1998, 57% da produção agrícola total da

região foi perdida, e os prejuízos económicos foram estimados em 5% do produto interno bruto (PIB) de toda a região.

Em relação a variabilidade da cobertura de caatinga, observou-se que os anos de 1998, 2010, 2013 e 2018 apresentaram significativa redução da cobertura florestal. Em 2010 e 2013, houveram mais microrregiões que tiveram uma redução significativa em sua cobertura florestal. Essas microrregiões foram, Serra de São Miguel, Umarizal, Chapada do Apodi, Médio Oeste e Mossoró, no ano de 2010, e no ano de 2013 o mesmo foi observado nas microrregiões de Vale do Açu, Angicos, Médio Oeste, Mossoró, Macau, Baixa Verde e Litoral Nordeste, variando de (-10000 Ha a -5000 Ha).

De acordo com Beuchle et al. (2015) o percentual de cobertura vegetal natural remanescente na Caatinga era de 63%. A taxa anual (líquida) de perda de cobertura vegetal natural na Caatinga aumentou de - 0,19% ano⁻¹ a -0,44% ano⁻¹ da década de 1990 a 2000. Em suma, esse bioma brasileiro experimenta perdas e ganhos de cobertura de árvores e outras terras arborizadas; no entanto, uma perda líquida contínua de vegetação natural foi observada entre 1990 e 2010. A taxa média anual de mudança neste período foi de (-0,3% ano⁻¹).

Souza et al. (2020), que mapearam cinco classes principais: floresta, formação natural não florestal, agricultura, áreas não cobertas por vegetação, e água. Estas classes foram divididas em dois níveis de subclassificação. Os 33 anos da série de dados de mudança LULC revelaram que o Brasil perdeu 71 Mha de vegetação natural, principalmente para as atividades pecuárias e agrícolas. A pastagem aumentou 46% de 1985 a 2017, e a agricultura 172%, substituindo na sua maioria antigas pastagens. Identificámos também que 86 Mha da vegetação nativa convertida estavam a sofrer algum nível de recrescimento.

Ainda sobre o mesmo contexto Beuchle et al. (2015) objetivaram fornecer informações consistentes sobre as mudanças na cobertura do solo entre os anos de 1990 e 2010, para os Biomas Cerrado e Caatinga, verificaram a % de cobertura de vegetação natural, que foi de 67,4% (1990), 66,1% (2000) e 63,2 % (2010) e a porcentagem da cobertura vegetal natural e as taxas anuais de perda (líquida) da vegetação natural, que apresentaram valores de -0,19 (1990-2000), -0,44 (2000-2010) e -0,32 (1990-2010), assim como taxas anuais de mudanças.

Em conformidade com a Figura 11 foi possível verificar a análise de agrupamento hierárquico com base nas microrregiões através da diferença de cobertura (amplitude) de (1986-2018), sendo assim, buscou-se classificar as microrregiões quanto ao padrão de agrupamento. A largura do índice de Silhouette (Si) (Figura 11B) demonstra que se tem uma Si grande (próximo de 1.0), significa que são muito bem agrupados. Uma Si pequena (em torno de 0) significa que a observação está entre dois grupos. Observações com um Si negativo são, provavelmente, colocadas no grupo errado (Brock et al., 2008; Lewis, 2017).

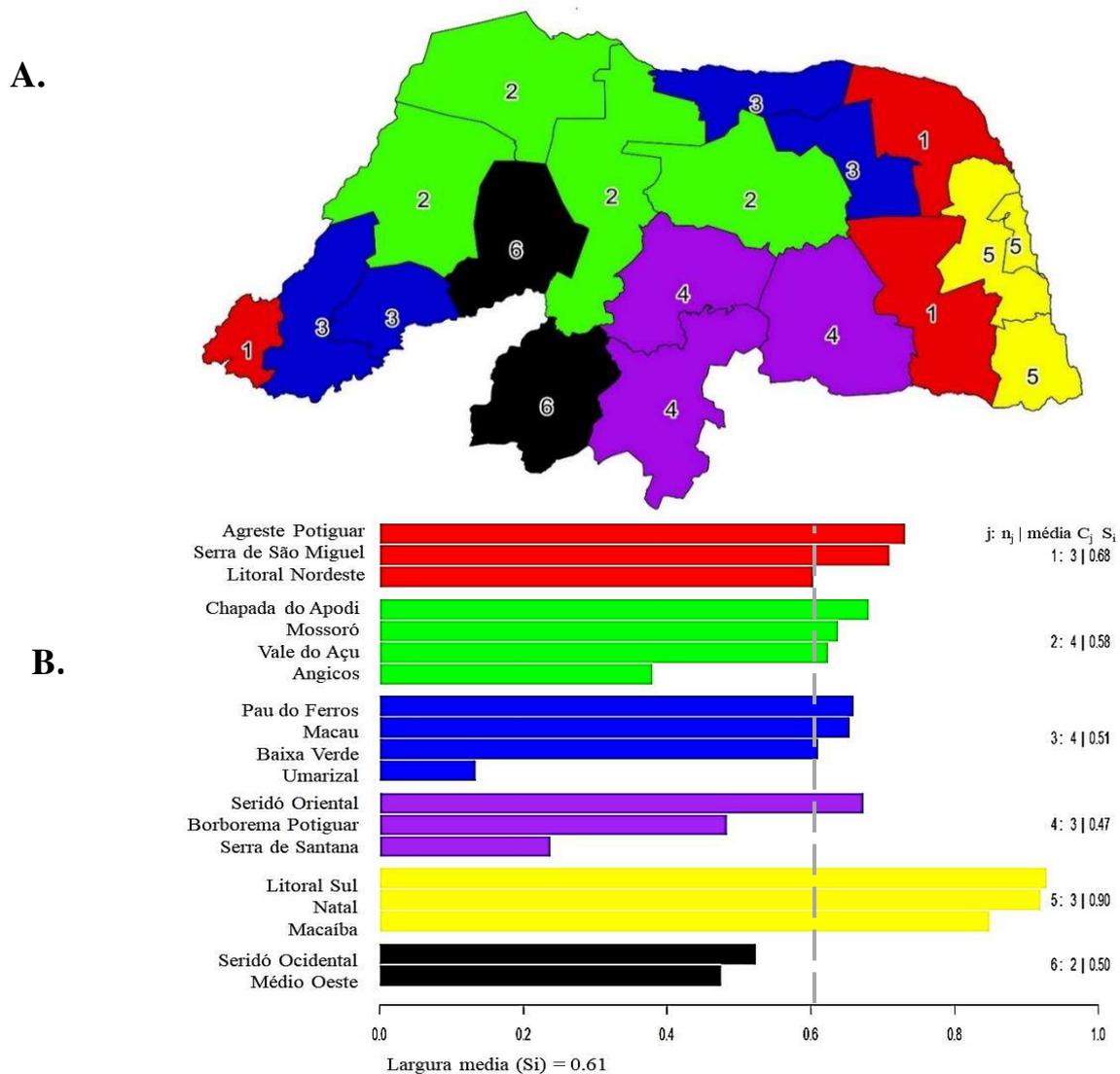


Figura 11. Agrupamento microrregiões (a) e Índice de silhueta (b), no período de 1985 a 2018 (Fonte: Autor, 2021).

A *Silhouette* é a aderência do elemento ao cluster, portanto existem alguns elementos que estão no cluster, mas não tem muita aderência como outros elementos. Nota-se que a maioria dos elementos de cada grupo estão em média, bem agrupados, dos 19 elementos somente 7 microrregiões estão com Si abaixo de 0,61. Observa-se que a microrregião Umarizal, está no cluster, mas tem pouca aderência, ou seja, dentre todas as microrregiões, possui a menor aderência. Diferente do Agreste Potiguar, Serra de São Miguel, Litoral Sul, Natal e Macaíba, que apresentaram Si grande que se aproxima de 1.

Nota-se que os resultados obtidos com a aplicação do Índice de *Silhouette* são satisfatórios, uma vez que a largura média da *Silhouette* é igual a 0,61.

Segundo Beuchle et al. (2015) o bioma Caatinga têm estado sob crescente pressão antropogênica por muitos anos, mas a mudança no uso e cobertura da terra nesses ecossistemas sazonais tem sido amplamente negligenciadas até agora, especialmente se comparada à atenção dada a região amazônica; esta limitação resultou em conhecimento insuficiente sobre as transformações históricas e o estado atual da cobertura florestal na área. Independentemente das mudanças na cobertura do solo e do uso não sustentável de seus recursos fundiários, a Caatinga tem sido apontada como um dos menos conhecidos e mais negligenciados dos biomas brasileiros (MMA, 2007; Santos et al., 2011).

O processo de alterações na cobertura da terra foi avaliado por análise de agrupamento hierárquico com base nas microrregiões. Sendo assim, buscou-se classificar as microrregiões quanto ao padrão de evolução da perda de cobertura florestal. Pode-se observar (Figura 12) a variabilidade de cobertura florestal agrupada por similaridade para as microrregiões do Rio Grande do Norte no período de 1986-2018, além das distribuições de perda de cobertura florestal através do mapa de calor. A análise com três clusters temporais (Figura 12) indicou que as perdas anuais de cobertura florestal durante o período analisado foram semelhantes nas microrregiões que compõem o G2 (Angicos, Chapada do Apodi, Mossoró e Vale do Açu), portanto este grupo apresenta um comportamento médio de 271.507 a 221.444 Ha, os grupos G1 (Agreste Potiguar, Litoral Nordeste e Serra de São Miguel) e G5 (Litoral Sul, Macaíba e Natal), apresentaram pouca variabilidade de cobertura florestal (72.067 a 41.964 Ha) e (6.696 a 1.059 Ha), respectivamente.

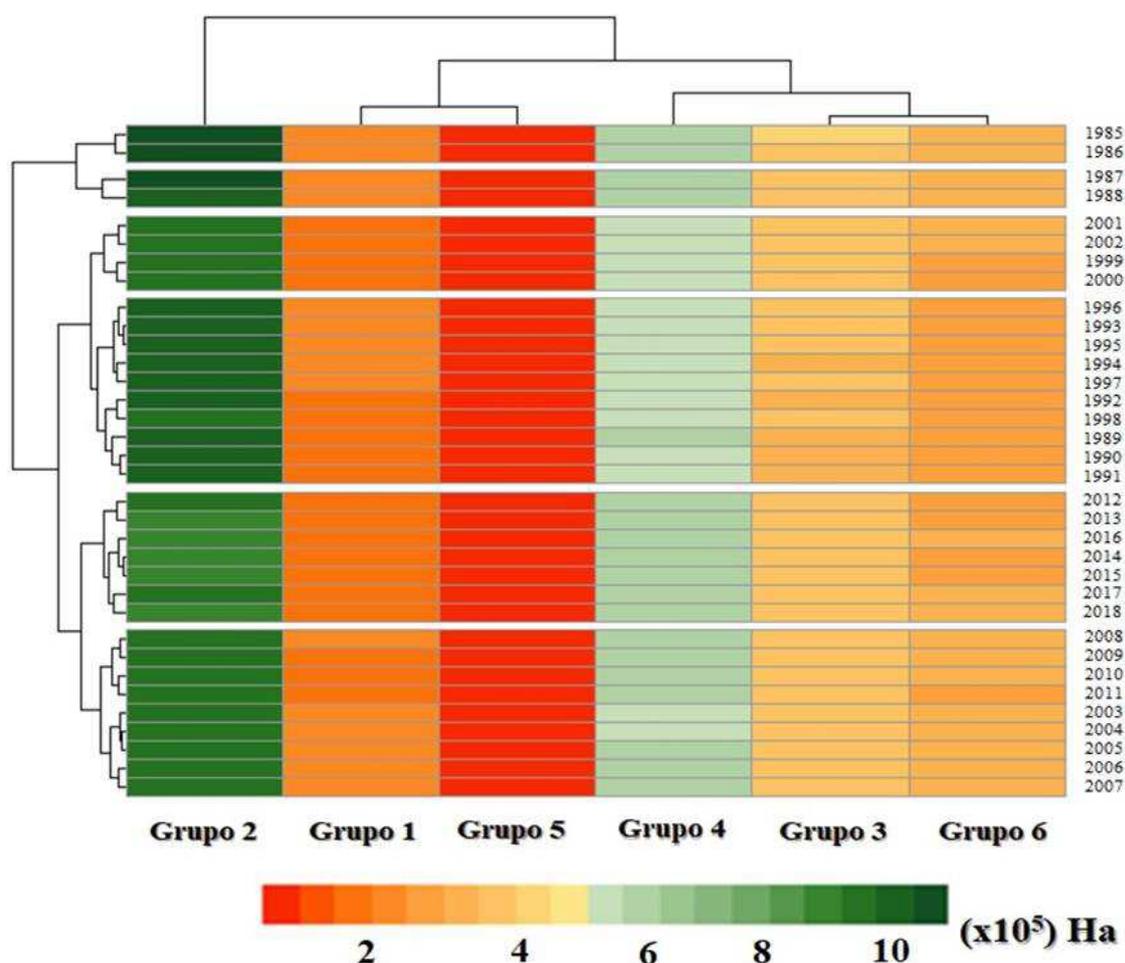


Figura 12. Variabilidade temporal da cobertura de Caatinga (Ha) no estado do Rio Grande do Norte (Fonte: Autor, 2021).

Os grupos G3 (Baixa Verde, Macau e Pau dos Ferros), G4 (Borborema Potiguar, Seridó Oriental e Serra de Santana) e G6 (Médio Oeste e Seridó Ocidental) apresentaram tendência de aumento na variabilidade temporal de cobertura florestal, com destaque para o G4, no qual apresentou comportamento médio entre 181.660 a 203.533 Ha.

A análise em relação aos anos também indicou o cluster temporal da década de 90, assim como as perdas anuais de cobertura florestal por microrregião, as quais foram semelhantes no período de 1990 a 1999, com destaque para os anos de 1997 e 1998, o que pode estar diretamente associado a diminuição dos acumulados de precipitação, decorrentes da atuação do fenômeno El Niño forte, tais condições também foram verificadas por Araujo et al. (2012) constataram que eventos de El Niño podem reduzir os níveis de precipitação em até 50% dos níveis normais. Sampaio e Satyamurty (1998) observaram em seu estudo um déficit de chuva sobre o Nordeste do país na sua estação

chuvosa (fevereiro-maio 98) estimado em 400 bilhões de metros cúbicos. Portanto, as microrregiões que apresentam a maior variabilidade (amplitude) na perda de cobertura florestal foram Mossoró 87.410 Ha, Médio Oeste 38.321 Ha, Borborema Potiguar 32.846 Ha e Pau dos Ferros 30.339 Ha.

Nota-se que no Seridó existem áreas de recuperação, mas não necessariamente reflete que não existiu uma perda de cobertura ou degradação das terras na caatinga, possivelmente indica uma resposta espectral devido a presença de umidade no ambiente, principalmente a umidade do solo em decorrência das chuvas.

Albuquerque (1999) afirmou que a degradação na Caatinga nem sempre é diretamente de origem antrópica, devendo o clima também ser levado em consideração. O clima exerce um papel fundamental nas dinâmicas de uso da terra e na evolução da paisagem do bioma (Maldonado et al., 2002). Segundo Marengo et al. (2018) no Brasil vários eventos extremos foram registrados nos últimos 15 anos, como o El Niño em 1997-1998; ocasionando secas nas regiões semiáridas do Nordeste.

Registros de eventos de El Niño anteriores indicam que os episódios 1982/83 e 1997/98 foram um dos mais intensos desde o início das medições, com anomalias da TSM chegando a até 4 °C e causando proporções catastróficas na região semiárida do Nordeste (Marengo et al., 2011). Ainda sobre esse cenário Pereira et al. (2011) trabalharam com a avaliação da influência dos fenômenos El Niño e La Niña na precipitação pluviométrica da cidade de Mossoró-RN, observaram que, 52% dos dados de pluviometria apresentaram valores abaixo da média histórica para os anos que estavam sobre influência do fenômeno climático El Niño.

Segundo Silva (2013) no nordeste brasileiro, os prejuízos observados em anos de El Niño envolvem setores da economia, agricultura, pecuária, energia e etc.), bem como o abastecimento de água para a sociedade. O Nordeste Brasileiro é reconhecido como uma área altamente vulnerável aos fatores climáticos, principalmente, em sua região semiárida.

De acordo com Silva (2020) entre os anos de 1989 e 1992 ocorreu uma diminuição de 8% da cobertura de vegetação natural do território potiguar, essa diminuição ocorreu de maneira mais intensa no Oeste Potiguar, sendo Mossoró e os municípios vizinhos de Upanema, Apodi e Caraúbas aqueles que mais apresentaram redução.

Observa-se na Figura 13 a distribuição espacial da cobertura florestal na Caatinga em relação ao ano de 2018-1985 (amplitude) pode-se verificar assim a distribuição espacial dos municípios com maiores e menores reduções do tipo de cobertura em análise, perda de cobertura vegetal (vermelho), ganho (verde) para o período em questão, observa-se que a perda da cobertura florestal ocorreu em altas taxas, que se tornaram grandes manchas como destacado na Figura 13. Nota-se que Mossoró e Serra do Mel foram os municípios que mais perderam (30.163-26.336 Ha), Apodi, Governador Dix-Sept Rosado, Upanema e Açu tiveram ganho-perda de (26.335-13.844 Ha). Serra Negra do Norte, Caicó, São João do Sabugi e São Fernando foram os que mais ganharam, junto com Angicos, Santana do Matos e São Rafael, totalizando (26.36-6.089 Ha). É possível deduzir que esse aumento na perda de cobertura, seja devido a expansão de áreas agrícolas. Nesse contexto Parente et al. (2019) destacam que existe um aumento da área de pastagem no Brasil no período de 1985 a 2019, para esta conclusão foi mapeado a cobertura do solo correspondente as pastagens no Brasil.

Feitosa et al. (2010) trabalharam com a avaliação da degradação na cobertura vegetal no semiárido da Paraíba e concluíram que o acréscimo das áreas de solo exposto foi em decorrência da perda da cobertura florestal, o que demonstra o aumento das vulnerabilidades na expansão dessas áreas de grave a muito grave e reflete a importância em intervir nesse processo acelerado de devastação da Caatinga, o qual se dá pelo uso irracional desse recurso natural.

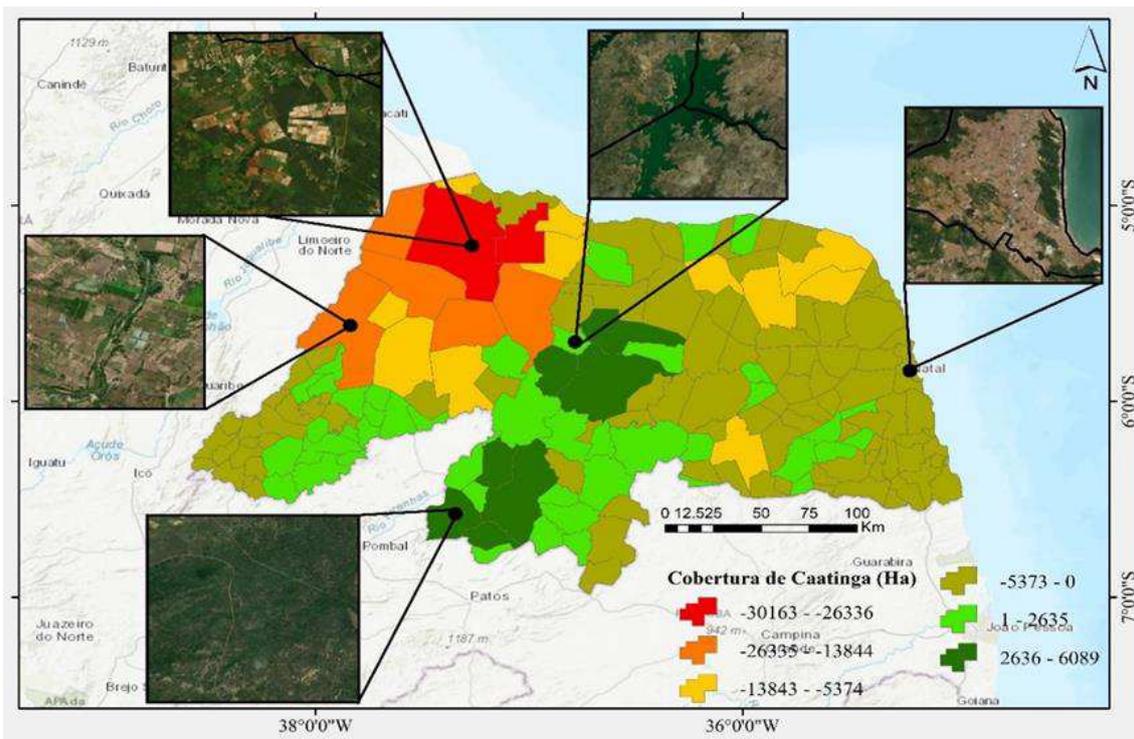


Figura 13. Distribuição espacial (perda e ganho) de cobertura florestal (Caatinga), para o estado do Rio Grande do Norte, em relação ao ano de 2018 e 1985 (Fonte: Autor, 2021).

Kröger (2017) analisou algumas atividades que afetam a cobertura florestal no Brasil e constatou que a agricultura, mineração e geração de energia tem maior influência sobre essa perda de cobertura florestal. Segundo o Ministério do Meio Ambiente essa perda se deve principalmente à exploração de carvão e lenha para fins energéticos (MMA, 2019).

Silva (2020) analisou as espacialidades cartográficas, elegeu áreas do estado com maior transformação da cobertura vegetal pela ação humana, quais sejam: o Sul e o Noroeste da Mesorregião Oeste Potiguar; o Seridó, localizado no Sul da Região Central Potiguar; e grande parte do Litoral Oriental, sendo assim, foram apontadas como propícias ao estabelecimento de diversas atividades agropecuárias, sendo o Vale do rio Açu também apontado com a presença de extrativismo da palmeira de Carnaúba. Ainda segundo Silva (2020) a partir da Mesorregião Oeste Potiguar, constatou-se que, conforme já era observado nas representações pretéritas, há uma concentração de áreas de pastagem que abrangem desde os municípios de Apodi e Caraúbas.

As tendências crescentes e decrescentes da cobertura florestal durante o período analisado e as significâncias estatísticas correspondentes foram espacialmente identificadas com base nos resultados do teste não paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975), como mostra a Figura 6.

É possível identificar (Figura 14) espacialmente as tendências de aumento ou redução da cobertura florestal para o período analisado, assim como as significâncias estatísticas. Observa-se que as microrregiões da Chapada do Apodi, Mossoró, Vale do Açu, Baixa Verde, Litoral Nordeste, Macaíba, Natal e Litoral Sul foram as micros que apresentaram tendência decrescente estatisticamente significativa, ou seja, houve tendência significativa no aumento da perda de cobertura florestal da caatinga ao longo dos anos estudados e nota-se o contrário para as microrregiões de Pau dos Ferros, Umarizal, Seridó Ocidental, Serra de Santana e Macau, que tiveram tendência crescente estatisticamente significativa (p -valor $<0,05$) e de modo geral percebe-se assim um declínio na perda de cobertura de caatinga na área de estudo.

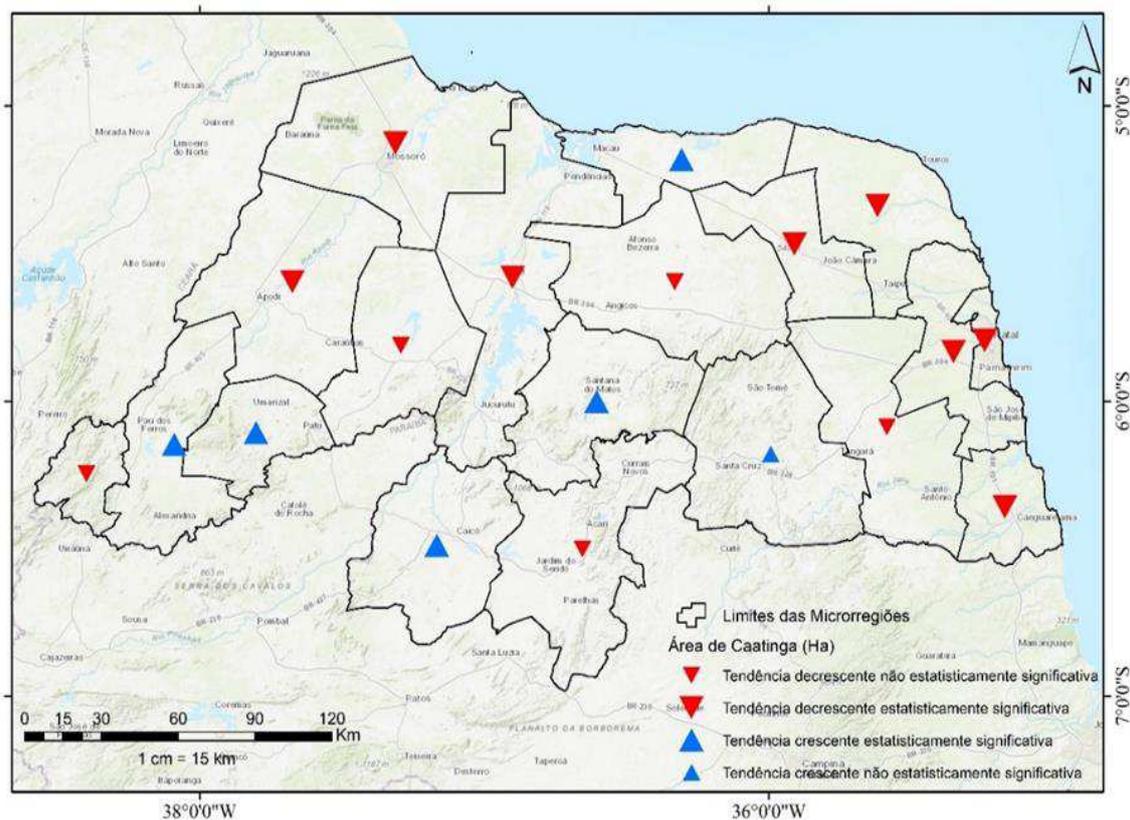


Figura 14. Tendência de perda da cobertura de Caatinga no período de (2018-1985) (Fonte: Autor, 2021).

Se em fins do século XX o território potiguar possuía algumas áreas que se mantinham com suas características naturais relativamente preservadas, outras por outro lado se destacavam ao apresentarem maiores níveis de modificação. Nelas, após um longo processo de transformação antrópica dos últimos séculos, a vegetação natural deu lugar

às atividades agropecuárias ou mesmo antigas atividades deram lugar a outras. (Locatel, 2018).

Observou-se que no grupo 3 (Figura 15C) e 4 (Figura 15D) do teste MK, houve uma tendência de perda de cobertura florestal de 2001 a 2017 ($p < 0,05$). Os grupos 1 (Figura 15A), 2 (Figura 15B) e 5 (Figura 15E) mostraram uma tendência negativa no período de 1978 até meados de 2018. Por sua vez, o grupo 6 (Figura 15F) oscilou: primeiro mostrou uma tendência negativa - uma diminuição da cobertura florestal - durante 10 anos, mas após o ano 2000, houve um aumento da cobertura florestal que durou aproximadamente nove anos (2001 a 2009), ou seja, durante os 9 anos (2010 a 2017) restantes do período em questão, houve uma tendência decrescente e crescente, respectivamente. Houve uma quebra na série do grupo 1 (A) e outra na série anterior no grupo 2 (B) no início da década de 2000; no grupo 3 (C) esta quebra estava um pouco à frente; no grupo 4 (D), foi equivalente e em anos próximos; no grupo 5 (E), ocorreu por volta de 2009; e no grupo 6 (F), por volta do ano 2000. Houve uma pausa na série para os grupos 4 e 6 em 2005 e 2001, respectivamente.

Em 1990, a porcentagem de Cobertura de Árvores e Outras Terras Arborizadas no bioma Caatinga era de 18,8% e 48,6% respectivamente, ou um total de 67,4% de cobertura de vegetação natural. Até 2010, o percentual de Cobertura Arborizada e Outras Terras Arborizadas na Caatinga foi reduzido para 16,9% e 46,3% respectivamente (Beuchle et al., 2015).

Segundo Silva (2020) entre os anos de 1989 e 1992 ocorreu uma diminuição de 8% da cobertura de vegetação natural do território potiguar, dado que, segundo dados do MapBiomas (2019), essa categoria antes correspondia a 4.770.088,29 hectares e passou a ocupar 4.400.992,65 hectares. Essa diminuição ocorreu de maneira mais intensa no Oeste Potiguar, onde em todos os municípios a vegetação arbórea do tipo florestal ocupava 1.273.666 hectares em 1985 e foi reduzida a 1.125.756,11 hectares em 1989, sendo Mossoró e os municípios vizinhos de Upanema, Apodi e Caraúbas aqueles que mais apresentaram redução.

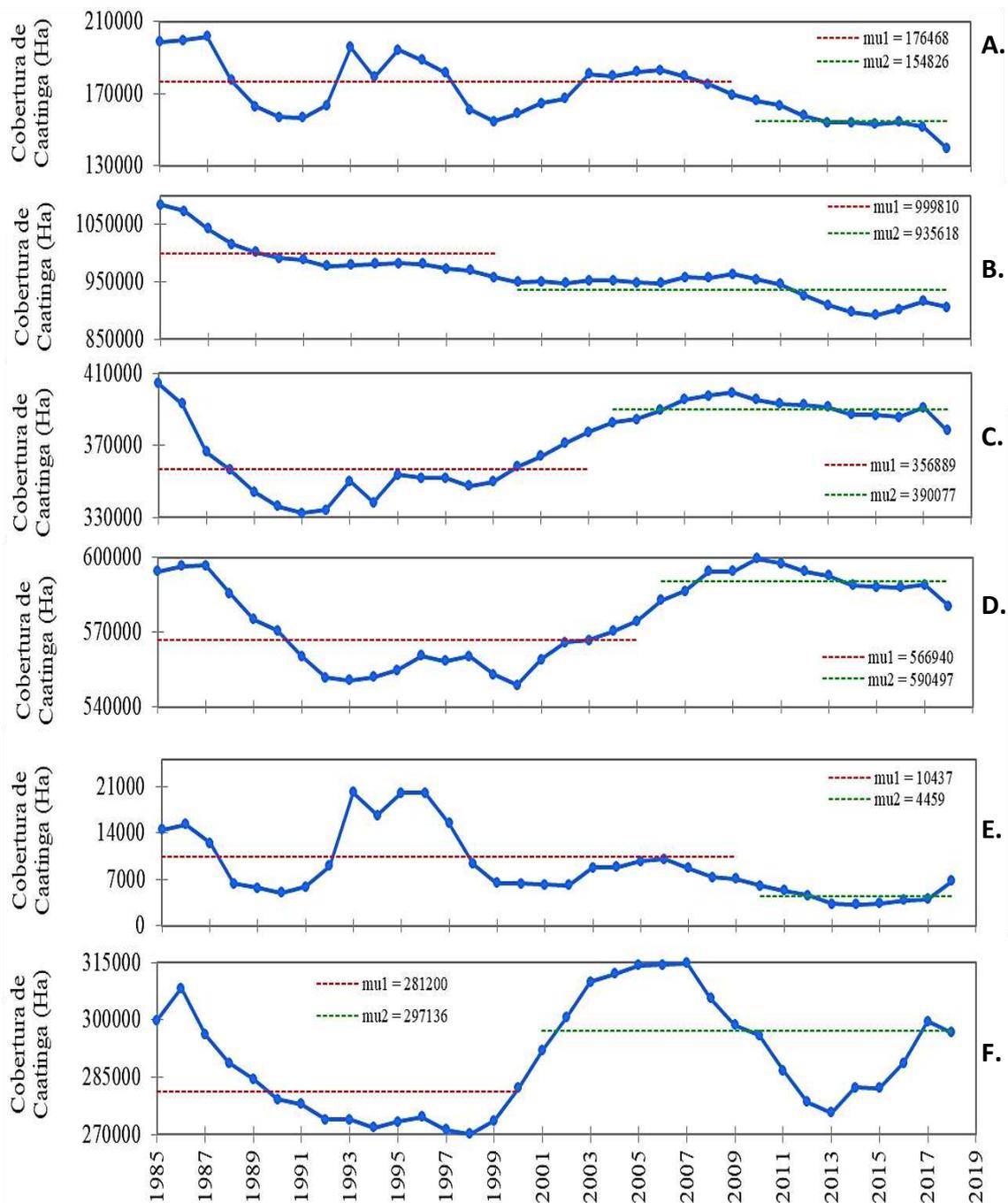


Figura 15. Variabilidade da cobertura de Caatinga no Grupo 1(A), Grupo 2(B), Grupo 3(C), Grupo 4(D), Grupo5(E), Grupo 6(F) no período de 1985 a 2018 (Fonte: Autor, 2021).

Na Tabela 7, é possível observar que micro-regiões tiveram aumentos ou reduções na cobertura florestal durante o período de estudo, bem como quebras estruturais nas séries de acordo com o teste Pettitt. Os padrões de quebras estruturais foram verificados na série temporal analisada: houve uma tendência significativa ($p < 0,05$) para as micro-regiões da Baixa Verde, Chapada do Apodi, Litoral Nordeste, Litoral Sul, Macaíba, Mossoró, Natal, Vale do Açu, e Médio Oeste. Foram verificadas quebras nos anos de

1997, 2008, 1998, 2007, 2009, 2001, 1998, 1996, e 2010. Destacaram-se duas micro-regiões, foram, 489.507 (M1) e 77.288 (M2) em Natal e 1499 (M1) e 501.248 (M2) no Litoral Sul. Tinham uma variação de $\Delta t = 412,2$ (há) e $\Delta t = 997,7$ (há), o que indica uma tendência significativa de perda de cobertura florestal.

Tabela 7. Estatísticas K(t) do teste de Pettitt para verificar os padrões de quebras estruturais na série temporal no período de 1985 a 2018 (Fonte: Autor, 2022).

Microrregiões	Pettitt			
	K	p-valor	t	Δt (ha)
Agreste Potiguar	116	0.182	2008	-
Angicos	116	0.172	1998	-
Baixa Verde	197	0.002	1997	-7.7
Borborema Potiguar	169	0.013	2007	10.6
Chapada do Apodi	233	0.0002	2008	-18.2
Litoral Nordeste	223	0,0002	1998	-11.6
Litoral Sul	221	0,0003	2007	-997.7
Macaíba	197	0,002	2009	-4.8
Macau	252	< 0.0001	2006	10.7
Médio Oeste	148	0.045	2010	-11.4
Mossoró	289	< 0.0001	2001	-39.0
Natal	274	< 0.0001	1998	-412.2
Pau dos Ferros	219	0.0003	1999	15.0
Seridó Ocidental	289	< 0.0001	2001	15.0
Seridó Oriental	227	0.0002	2003	8.7
Serra de Santana	249	< 0.0001	2005	5.4
Serra de São Miguel	125	0.119	1989	-
Umarizal	289	< 0.0001	2001	16.6
Vale do Açu	222	0.0004	1996	-12.0

O contrário foi observado para as micro-regiões de Macau, Pau dos Ferros, Seridó Ocidental, Serra de Santana, Umarizal, Borborema Potiguar, e Seridó Oriental: tiveram tendências crescente estatisticamente significativas, mas foi observado uma quebra na série temporal, de acordo com o teste Pettitt, nos anos 1999, 1999, 2001, 2001, 2005, 2001, 2007 e 2003, respectivamente. Umarizal destacou-se entre estas micro-regiões, com médias que variaram entre 69.773 (ha) e 86.333 (ha) três anos depois, em 2001 ($\Delta t = 16.6$).

Os padrões de quebra estrutural não foram observados na série temporal apenas em três das 19 micro-regiões, nomeadamente, Agreste Potiguar, Angicos, e Serra de São Miguel. Assim, em geral, houve um processo de redução da cobertura florestal em todo

o estado do Rio Grande do Norte. Segundo Silva et al. (2016b) e Silva et al. (2018) as mudanças na cobertura vegetal são uma das respostas dinâmicas mais dominantes observadas nos ecossistemas terrestres relacionados com as alterações climáticas.

Sobre o mesmo cenário Nogueira e Clemente (2019) objetivaram estimar em seu estudo a redução das áreas cobertas por vegetação nativa ocorrida nos últimos 30 anos (1987 a 2017) no Sudoeste do semiárido da Bahia. As análises incluíram 18 municípios e foram realizadas a partir de imagens dos satélites Landsat 5 e 8, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens e observaram que entre 1987 a 2017 a extensão das áreas com vegetação nativa foi reduzida em 159.521,8 ha.

A Terra Indígena Apyterewa, localizada no estado do Pará, Brasil, apresentou a segunda maior taxa de desmatamento observadas em terras indígenas na Amazônia brasileira em 2019, de acordo com a Instituto Nacional de Investigação Espacial do Brasil (INPE). Para avaliar o impacto deste desmatamento no Apyterewa Terra Indígena, realizámos um estudo de caso com o objetivo de compreender os condutores das mudanças do LULC depois de 2016 (De Oliveira, 2020).

Ainda sobre essa problemática (Barlow et al., 2019; De Azevedo et al., 2019) verificaram que o ano de 2019 foi marcado pelo enfraquecimento da aplicação das políticas de desmatamento e de desmantelamento das políticas relativas as alterações climáticas no Brasil, que catalisaram o aumento do desmatamento.

5. Conclusão

Com base nos resultados da pesquisa, constatou-se que a utilização do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento se mostrou eficiente para a análise do uso e cobertura da terra, relacionando a apropriação do homem com o espaço, e sendo assim, extremamente importante o seu estudo.

Mediante os resultados obtidos, foi possível identificar que o bioma caatinga sofreu alterações durante o período estudado, evidenciando uma variabilidade na cobertura de caatinga com significativa redução da cobertura florestal e alto grau de alteração de sua paisagem. Na área de estudo é notável o decréscimo da cobertura florestal original. Assim, podemos inferir que este decréscimo está associado aos avanços das ações antrópicas, assim como agricultura e pecuária, além da própria componente climática.

Porém algumas microrregiões se destacaram em relação a variabilidade (amplitude), com perdas de cobertura florestal significativas se comparada a outras.

Foram elas: Mossoró, Médio Oeste, Borborema Potiguar e Pau dos Ferros. Mossoró e Serra do Mel foram os municípios que mais perderam cobertura florestal, obtendo destaque.

Sendo assim é possível observar a necessidade da criação de políticas de proteção e recuperação para essas microrregiões que nos últimos anos tem sofrido com processos intensos de mudanças de uso e cobertura da terra.

6. Referências

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

ALBUQUERQUE, S. G. Caatinga vegetation dynamics under various grazing intensities by steers in the semiarid Northeast, Brazil. *Journal of Range Management*, v. 52, n. 3, p. 241–248, 1999. <https://doi.org/10.2307/4003686>

ALMEIDA-FILHO, R.; ROSENQVIST, A.; SHIMABUKURO, Y.E.; DOS SANTOS, J.R. Evaluation and Perspectives of Using Multitemporal L-Band SAR Data to Monitor Deforestation in the Brazilian Amazônia. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2005, 2, 409–412. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.856679>

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n.1, p.63-74, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100007>

ARAUJO, P. H. C.; FÉRES, J. G.; REIS, E. The Effects of El Niño on the Productivity of Brazilian Agriculture. In: VI World Conference of the Spatial Econometrics Association, 2012, Salvador. *Anais VI World Conference of the Spatial Econometrics Association*. Belo Horizonte, 2012. v. VI.

AIDE, T.M.; CLARK, M.L.; GRAU, H.R.; LÓPEZ-CARR, D.; LEVY, M.A.; REDO, D.; BONILLA-MOHENO, M.; RINER, G.; ANDRADE-NÚÑEZ, M.J.; MUÑIZ, M. Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica* 2013, 45, 262–271. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>

AHMAD, A. U.; STARKEY, A. Application of feature selection methods for automated clustering analysis: a review on synthetic datasets. *Neural Computing and Applications*, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3005-9>

ARAUJO, A. L.; SILVA, M.T. ; SANTOS, C. A. C. S.; SILVA, B. B. Análise das Mudanças de Parâmetros Biofísicos Sobre o Nordeste Brasileiro de 2002 a 2011 com Dados Modis. *Revista Brasileira De Meteorologia*, v. 33, p. 589-599, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334002>

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography* 2015, 58, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>

BROCK, G.; PIHUR, V.; DATTA, S.; DATTA, S. cIValid: An R Package for Cluster Validation. *Journal of Statistical Software*, v. 25, n. 4, p. 1–22, 2008. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i04>

BUTCHART, S.H.M.; WALPOLE, M.; COLLEN, B.; VANSTREIN, A.; SCHARLEMANN, J.P.W.; et al. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, vol. 329, p. 1164–1168, 2010 <https://doi.org/10.1126/science.1187512>

BARLOW, J., BERENQUER, E., CARMENTA, R., França, F. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Glob. Chang. Biol.* 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14872> [gcb.14872](https://doi.org/10.1111/gcb.14872)

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso: Setem de 2022.

CARVALHO, L. C. F. F. Dinâmica das Alterações de Cobertura e Uso do Solo em Itatim – BA: Um Estudo Aplicado de Geoprocessamento com Dados de Fontes Abertas. Universidade Estadual de Feira de Santana. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Planejamento Territorial – Planterr, 2019. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/967> Acesso em: 15 Mar 2022.

COSTA, J. A. O fenômeno El Nino e as secas no nordeste do Brasil. Revista Científica do IFAL, Maceió, v.1, n.4, jan./jul. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifal.edu.br/eductive/article/view/13> Acesso em: 15 Mar 2022.

CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: Evidence from the Brazilian Caatinga. Remote Sensing of Environment, v. 238, p. 111250, 2020. <https://doi.org/10.0.3.248/j.rse.2019.111250>

DE OLIVEIRA, G.; ARAÚJO, M.B.; RANGEL, T.F.; ALAGADOR, D.; DINIZ-FILHO, J.A.F. Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. Biodivers. Conserv. 2012, 21, 2913–2926. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s10531-012-0346-7>

DE OLIVEIRA, G.; CHEN, J.M.; MATAVELI, G.A.V.; CHAVES, M.E.D.; SEIXAS, H.T.; CARDOZO, F.D.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; HE, L.; STARK, S.C.; DOS SANTOS, C.A.C. Rapid Recent Deforestation Incursion in a Vulnerable Indigenous Land in the Brazilian Amazon and Fire-Driven Emissions of Fine Particulate Aerosol Pollutants. Forests 2020, 11, 829. <https://doi.org/10.3390/f11080829>

DA SILVA, R. M.; SANTOS, C.A.G.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J.; SILVA V.C.L.; MEDEIROS I.C. Rainfall and river flow trends using MannKendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. Nat Hazards 77:1205–1221. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>

DE AZEVEDO, T.R., ROSA, M.R., SHIMBO, J.Z., MARTIN, E.V., OLIVEIRA, DE, M.G. Relatório Anual de Desmatamento. MapBiomas, São Paulo SP. 2019. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org> Acesso em: 17 Setem 2022.

DEFRIES, R.S.; FOLEY, J.A.; ASNER, G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004, 2, 249–257. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0249:LCBHNA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0249:LCBHNA]2.0.CO;2) Acesso em: 25 Mar 2022.

ELNESR, M.N.; ABU-ZREIG, M.M.; ALAZBA, A.A. Temperature trends and distribution in the Arabian Peninsula. *American Journal of Environmental Sciences* 6:191–203. 2010. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2010.191.203>

FARIA, A.S. Detecção automática de desmatamentos no bioma cerrado: desafios para o monitoramento sistemático. 97p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás. 2018. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8380> Acesso em: 20 Mar 2022.

FEITOSA, H. C. P, ANDRADE, K. S, BARBOSA, M. P, RIBEIRO, G. N. Avaliação do processo de degradação da cobertura vegetal em Serra Branca e Coxixola – PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 2010; 5(1): 1-7. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/264> Acesso em: 20 Mar 2022.

GANEM, K. A. Classificação da cobertura do solo na caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica. 2017. 202f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23501> Acesso em: 10 Mar 2022.

GILBERT, R.O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley e Sons, Hoboken, 1987.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. No Title Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Glob Planet Change* 100:172–182, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v.202, p.18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

HANSEN, M. C. et al. High-resolution global maps of 21 st-century forest cover change. *Science*, v. 134, n. 2011, p. 850–853, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. CECAV – Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas. Núcleo do Rio Grande do Norte. Diagnóstico espeleológico do Rio Grande do Norte: caracterização geográfica do Rio Grande do Norte. Natal: IBAMA, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.rn.gov.br> Acesso em: 17 Setem 2022

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro. IBGE, 2011.

IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, pp 1132. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao>. Acesso em: 18 de junho de 2019.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Anuário estatístico 2010. Rio Grande do Norte: Governo do Rio Grande do Norte, 2010. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br> Acesso em: 17 setem. 2022

IBGE - Estados: População, Instituto Brasileiro de Geografia, Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>Acesso em: 18 setem. 2022

JAAFARI, S. et al. Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment Development and Sustainability*, v.17, n.5, sep. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9712-4>

KRÖGER, M. Inter-sectoral determinants of forest policy: the power of deforesting actors in post-2012 Brazil. *For Policy Econ* 77:24-32. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.003>

KENDALL, M.G. Rank correlation methods, 4th edn. Charles Griffin, London, UK, 1975.

KISI, O.; AY, M. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak river. *Turkey J Hydrol* 513:362–375. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.005%0A>

KIŞI, Ö.; SANTOS, C.A.G.; DA SILVA, R.M.; ZOUNEMAT-KERMANI, M. Trend analysis of monthly streamflows using Şen's innovative trend method. *Geofizika* 35:53. 2018. <https://doi.org/10.15233/gfz.2018.35.3>

LAUTENBACH, S.; KUGEL, C.; LAUSCH, A.; SEPPELT, R. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*. 2011, 11,676687. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.09.007> Acesso em: 25 Mar 2022.

LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation*, v. 144, p. 56-67, setem. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>

LEAL, I. R., SILVA, J. M. C. D., TABARELLI, M., & LACHER, T. E., JR. Changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. *Conservation Biology*, 19, 701e706. 2005. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00703.x>

LEITE, E. F.; ROSA, R. Analysis of the use, occupation and coverage of the land in the River Basin of Formiga River, Tocantins State. *Observatorium: Revista Eletrônica De Geografia*. v. 04, n.12, p. 90-106, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45664/24437> Acesso em: 15 Mar 2022.

LEWIS, N. D. *Machine Learning made easy with R: An Intuitive Step by Step Blueprint for Beginners*. 1. ed. - Paperback, 2017.

LI, S. H. et al., Analysis of the Spatiotemporal Land-Use/Land-Cover Change and its Driving Forces in Fuxian Lake Watershed, 1974 to 2014. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.26, n.2, p.671-681, 2017. <https://doi.org/10.15244/pjoes/65737>

LOCATEL, C. D. Uso do território e agricultura no Rio Grande do Norte: materialidades e estruturas. *Confins*, n.34. jun. 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/12942> Acesso em: 17 feve. 2021. <https://doi.org/10.4000/confins.12942>

LOBELL, D. B. et al. A scalable satellite-based crop yield mapper. *Remote Sensing of Environment*, v. 164, p. 324-333, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2015.04.021>

MOURA, A.D.; SHUKLA. J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *American Meteorological Society*, 38: 2653-2675. 1981. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2)

MAGALHÃES, A. R. et al. *The effects of climatic variations on agriculture in northeast Brazil*. Kluwer Academic Publishers, 1988.

MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; CARVALHO, V. C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixaba, PE): Characterization by principal component analysis (PCA). *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 23, p. 5005–5013, 2002. <https://doi.org/10.1080/0143116021000013313>.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, MMA. 212 p. 2006. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4806> Acesso em: 17 feve. 2021.

MARENGO, J. A., LIEBMANN, B., KOUSKY, V. E., FILIZOLA, N. P., & WAINER, I. C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, 14,833852. 2001. [https://doi.org/10.1175/15200442\(2001\)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2)

MARENGO, J.Á. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias Estratégicas* 27:149–175. 2008.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas: Instituto Nacional do Semiárido-INSA, Campina Grande, PB. 384-422. 2011. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en Acesso em: 17 feve. 2021.

MAYES, M. T.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J. M. Forest cover change in Miombo Woodlands: modeling land cover of African dry tropical forests with linear spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, v. 165, p. 203–215, 2015. <https://doi.org/10.0.3.248/j.rse.2015.05.006>.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, v. 90, n. 2, p. 1-13, mai. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SOARES, WAGNER R. (org.). *Climate Change Risks in Brazil*. São Paulo: Springer, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4>

MAPBIOMAS. Coleção 4 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. 2019. Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em:

https://mapbiomas.org/downloads_collections-1-2?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 12 set. 2020.

MAPBIOMAS. Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2017. Disponível em: <http://mapbiomas.org/> Acesso em: 10 set. 2020.

MAPBIOMAS. Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2016. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto> Acesso em: 10 set. 2020.

MAPBIOMAS, 2017 – Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, Disponível em: <http://mapbiomas.org> Acesso em 15 de set. de 2020.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 1945.13:245–259.
[https://doi.org/0012-9682\(194507\)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U](https://doi.org/0012-9682(194507)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U)

MMM - Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento ambiental. 2019.
<https://www.mma.gov.br/biomas/monitoramento-ambiental.html> Acesso em: 18 de jan de 2021.

NOGUEIRA, E. M.; CLEMENTE, C. M. S. Corte da vegetação nativa nos últimos 30 anos (1987 2017) no Sudoeste do semiárido da Bahia, Brasil. In: 71ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2019, Campo Grande. Disponível em: <http://livro.sbpcnet.org.br/71ra/trabalhos/listatodos.php> Acesso em: 10 Fev. 2022.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

NUNES, E. Geografia física do Rio Grande do Norte. 1. ed. Natal: Imagem Gráfica. 2006.114p.

OLIVEIRA, G.S.; SATYAMURTY, P. O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Campos de Jordão, 1998.

OLIVEIRA, G.C.S; ALVES, K.M.A.S.; NÓBREGA, R.S. Sistemas Atmosféricos Dinâmicos de Grande Escala Responsáveis pela Ocorrência de Chuva no Nordeste Brasileiro. In: II Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos de Pernambuco, 2010, Recife. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. Recife, 2010.

OSÍŃSKI, S. An algorithm for clustering of web search results. Doctoral Thesis Poznań University of Technology, Poland, 2003. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.5832&rep=rep1&type=pdf> Acesso em: 20 Mar. 2022.

PHILANDER, S.G.H. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. First Edition. Academic Press, 293 p. 1990. Disponível em: <http://library.lol/main/5B85CA4FA464B47A166ECE5D604B194A> Acesso em: 23 Setem 2022

PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: a novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. Remote Sens Environ 232:11130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>

PEREIRA, V.C.; SOBRINHO, J.E.; OLIVEIRA, A.D.; MELO, T.K.; VIEIRA, R.I.M. Influência dos eventos El Niño e La Niña na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v,7, n.12, p. 1-13, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4502> Acesso em: 20 Mar. 2022

RASMUSSON, E.M.; CARPENTER, T.H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. Monthly Weather Review, 110: 354-384. 1982. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)110<0354:VITSST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1982)110<0354:VITSST>2.0.CO;2)

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics 20: 53–65, 1987. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)

ROGAN, J.; CHEN, D. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Prog Plann* 61(4):301–325, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00066-7)

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16, p. 81-90, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

SOBRINHO, M.S.; TABARELLI, M.; MACHADO, I.C.; SFAIR, J.C.; BRUNA, E.M.; LOPES, A.V. Land use, fallow period and the recovery of a Caatinga forest. *Biotropica* 2016, 48, 586–597. <https://www.jstor.org/stable/48577083>

SANTOS, J. C. LEAL, I. R. ALMEIDA-CORTEZ, J. S. FERNANDES, G. W. AND TABARELLI, M. “Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest,” *Tropical Conservation Science*, vol. 4, no. 3, pp. 276–286, 2011. <https://doi.org/10.1177/194008291100400306>

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.

SOUZA, C.M., JR. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sens.* 2020, 12, 2735. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735> Acesso em: 20 Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s Tau. *Journal of the American Statistical Association*, v.63, p.1379–1389, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934> Acesso em: 10 Jan. 2022.

SAMPAIO, G e SATYAMURTY, P. El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, Brasil. 1998. Disponível em: http://m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.21.18.30/doc/Oliveira_O%20El%20nino%20de%201997_98.pdf Acesso em: 10 Jan. 2022.

SANTOS, F.A.C.; SANTOS, C.A.C.; SILVA, B.B.; ARAÚJO, A.L.; CUNHA, J.E.B.L. Desempenho de metodologias para estimativa do saldo de radiação a partir de imagens

MODIS. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, p. 295–306, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130085>

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. J Am Stat Assoc 63:1379–1389. 1968. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

SINGH, A. “Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data”, International Journal of Remote Sensing, 10 (v.), 989–1003 (pp.), 1989. <https://doi.org/10.1080/01431168908903939>

SILVA, V. DE P. R. DA; SILVA, M. T.; SINGH, V. P.; SOUZA, E. P. DE; BRAGA, C. C.; HOLANDA, R. M. DE; ALMEIDA, R. S. R.; SOUSA, F. DE A. S. DE; BRAGA, A. C. R. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. CATENA, v.162, p.166–176, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.024> Acesso em: 15 Fev. 2022.

SILVA, V. DE P. R. DA; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. de. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco River basin. Engenharia Agrícola, v.36, p.1005–1015, 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1005-1015/2016> Acesso em: 15 Fev. 2022.

SILVA, E.A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SÁ, I. B.; DUARTE, S. M. A. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta - PE. Floresta 2013; 43(4): 611-620. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i4.27931>.

SILVA, M.T.; SILVA, V.P.R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A.L. SWAT model application to estimate the flow in the basin of lower-middle São Francisco River. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 1615–1627, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150086>

SILVA, A. P. Cartografia Histórica da Vegetação do Rio Grande do Norte no Século XX: Análise Documental e Geoespacial para a Gestão do Território. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, Universidade

Federal do Rio Grande do Norte, Natal - 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29167> Acesso em: 15 Fev. 2022.

SOARES, S. O. W. Dinâmica Espaço Temporal, do uso e Cobertura do Bioma Mata Atlântica do Litoral Norte e Agreste Baiano: Quantificação de Padrões Espaciais no Período 2000-2016. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2019. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/876> Acesso em: 25 Fev. 2022.

TRENBERTH, K.E.; SHEA, D. 1987. On the evolution of the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115:3078-3096. 1987. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<3078:OTEOTS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<3078:OTEOTS>2.0.CO;2)

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 73, p. 197–206, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>

VERBURG, P. H. et al. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 3, p. 1327-1335, Mar. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.005>

VERBURG, P. H. et al. Land system science and sustainable development of the earth system: a global land project perspective. *Anthropocene* 12, 29–41. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>

ZHANG, Q.; LI, B.; THAU, D.; MOORE, R. Building a better urban picture: Combining day and night remote sensing imagery. *Remote Sensing*, v. 07, n. 09, p. 11887-11913, 2015. <https://doi.org/10.3390/rs70911887>

CAPITULO 4

IDENTIFICANDO AS RELAÇÕES EXISTENTES ENTRE O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E A VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA

CONCLUSÕES GERAIS

O presente estudo explica a vulnerabilidade socioeconômica e a distribuição espacial da perda de cobertura vegetal no estado do Rio Grande do Norte.

O Índice de vulnerabilidade socioeconômica no estado do Rio Grande do Norte foi definida por fatores que compõem a educação, renda, capacidade de trabalho e desenvolvimento. O IVS nos permite apresentar cinco variáveis (dimensões), Socioeconômica, Demográfica, Desenvolvimento, Educação e Longevidade, são importantes, pois desempenharam um papel vital na análise, incluindo exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Devido ao desenvolvimento em regiões construídas, redução de corpos d'água, vegetação e outras variáveis socioeconômicas, o estado do Rio Grande do Norte representa a maioria dos incidentes de questões socioeconômicas. Nota-se a influência da vulnerabilidade em áreas de maior valor econômico e quantitativos populacionais, o que ocasiona desigualdade social e econômica.

Alguns municípios (José da Penha, São Bento do Trairí, Parelhas, Ipangaçu, Pedro Avelino, Monte Alegre, Lagoa de Velhos, Goianinha, Barcelona, Pilões, Extremoz, Baraúna, Tangará, Touros, Pedro Velho e Canguaretama) do Leste e agreste potiguar apresentaram condição de vulnerabilidade extrema, enquanto apenas 22 municípios foram descobertos com uma classificação de IVS baixa. A área metropolitana foi afetada por questões socioeconômicas, apresentando valores de IVS $<0,26$, representam as mesorregiões do Agreste potiguar e Leste potiguar do estado. São áreas marcadas por técnicas inadequadas no manuseio da caatinga ao longo dos anos, como atividade mandioqueira, caprinocultura, lavouras temporárias e plantação de pastagem para o gado.

Apenas 22 dos municípios do estado do Rio Grande do Norte apresentam baixa vulnerabilidade de acordo com o IVS, com índice superior ($IVS > 0,43$). O município de São Gonçalo do Amarante é um dos 22 municípios com baixa vulnerabilidade e, é o 4º município mais populoso do estado, atrás apenas de Natal, Mossoró e Parnamirim.

Além de esclarecer a questão da crescente vulnerabilidade socioeconômica (questões socioeconômicas), elucida a perda de cobertura vegetal. O bioma caatinga sofreu alterações na área de estudo ao longo dos anos, durante o período estudado, revelando uma variabilidade na cobertura de caatinga com significativa redução da cobertura florestal e alteração de sua paisagem, sendo notável o decréscimo da cobertura florestal, estando associado aos avanços das ações antrópicas, como agricultura e pecuária. Mossoró e Serra do Mel foram os municípios que mais perderam cobertura florestal, obtendo destaque, com perdas de cobertura florestal significativas se comparada a outras.

É de suma importância identificar áreas onde exista variações de cobertura de caatinga, para o entendimento deste bioma, para áreas maiores ou de difícil acesso, trabalhos de campo ficam praticamente impossíveis de ser realizado, devido a composição física da área, então uso do sensoriamento remoto torna uma ferramenta essencial, pois a partir de sensores consegue captar a radiação solar e verificar o crescimento ou redução da vegetação.

Vale salientar a dificuldade em se fazer um levantamento de campo em áreas extensas, pois demanda investimento e tempo de execução, sendo assim, quando se pretende avaliar as alterações de uso e cobertura do solo em escalas de tempo, pode se tornar inviável, visto que informações de levantamento de campo nem sempre estão disponíveis para períodos longos, assim sendo o sensoriamento remoto torna-se a escolha mais viável. Tendo isso em vista utilizou-se a base de dados tabulares em área (Ha) da cobertura e uso do solo por bioma, estado e município do projeto mapbiomas, para o período de 1985 a 2018. Dos 167 municípios, destes selecionou-se as 19 microrregiões, para analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra, utilizou-se séries temporais anuais (1985 a 2018) da cobertura florestal, para que se pudesse verificar a variabilidade temporal da cobertura, amplitude e tendência de perda da cobertura florestal da Caatinga.

É possível identificar (Figura 16) a variabilidade da cobertura florestal (Transição) e o IVS no período de (1985 - 2018) para o estado do Rio Grande do Norte. Observou-se que no Litoral Nordeste e parte do Litoral Sul apresentaram alto IVS (0,00 – 0,20 a 0,21 – 0,30), sendo assim foi notado uma associação da degradação com a vulnerabilidade socioeconômica, ou seja, houve tendência significativa no aumento da perda de cobertura florestal nessas regiões, os menores valores de IVS encontram-se nas regiões que mais tiveram redução em sua cobertura florestal.

No entanto em Mossoró, Caicó, Natal e Parnamirim que apresentaram baixo IVS (0,51 - 0,70), foi observado que dos 4 municípios, somente Caicó foi o que mais ganhou cobertura florestal, nem todos os municípios que apresentaram IVS baixo, também tiveram aumento na perda de cobertura florestal. Nota-se que os piores IVS estão nos grupos de LULC que menos tem cobertura florestal e mais desmataram, e agora tem tendência de queda no desmatamento.

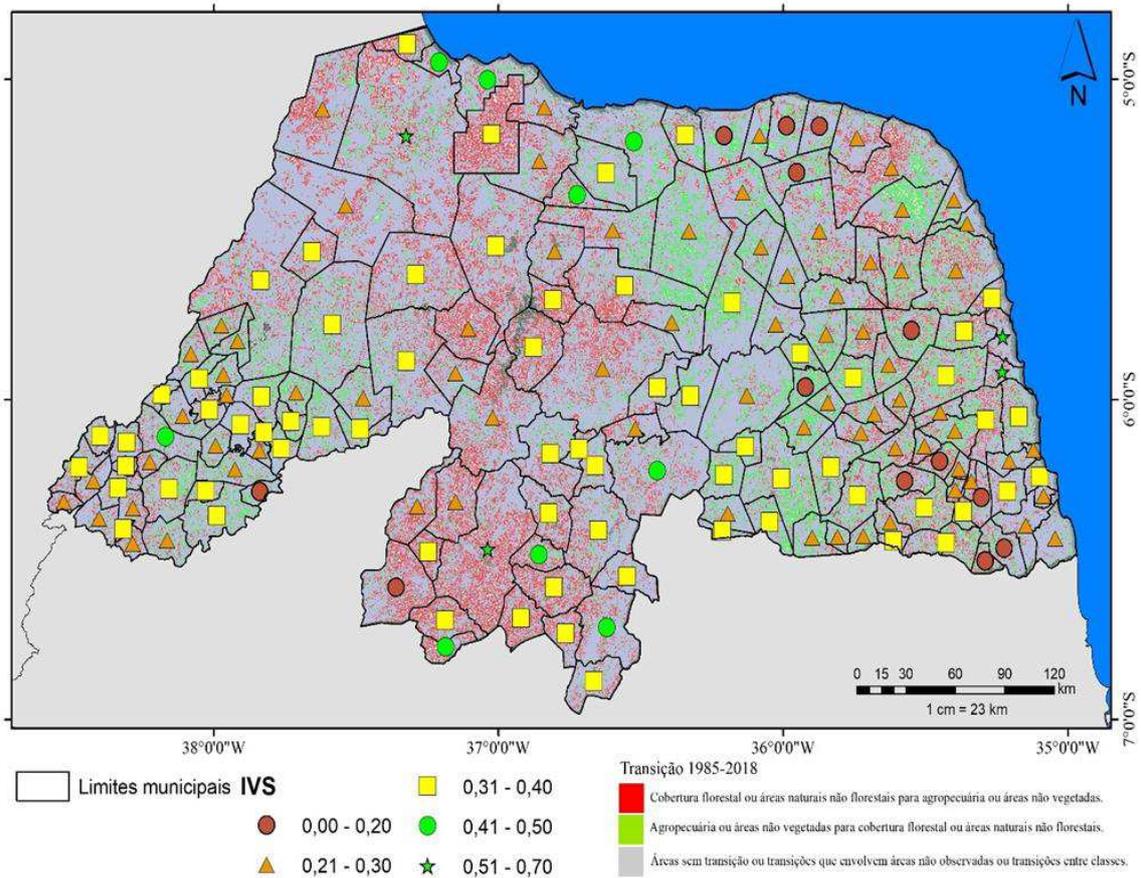


Figura 16. Variabilidade da cobertura de Caatinga (Transição) e índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVS) no período de (1985-2018) (Fonte: Autor, 2022).

É possível inferir, em um primeiro momento, que em todos os grupos a caatinga faz uma transição mais recorrente para o uso de pastagem, logo em seguida para a agropecuária demonstrando a característica estática desta área do nordeste que privilegia a criação de gado e a agricultura de sequeiro (Santos, 2020).

Observa-se que devido a transição da vegetação nativa, o aumento dos sistemas agropecuários sobretudo áreas destinadas à pastagem estão exercendo as maiores pressões sobre o bioma caatinga.

No cenário de variabilidade temporal através do diagrama de Sankey (Figura 17), nota-se uma evolução histórica da vegetação natural. A partir dos valores de área total da caatinga no ano de 1985 até o ano de 2021, observa-se as transições quantitativa na área da caatinga do Rio Grande do Norte.

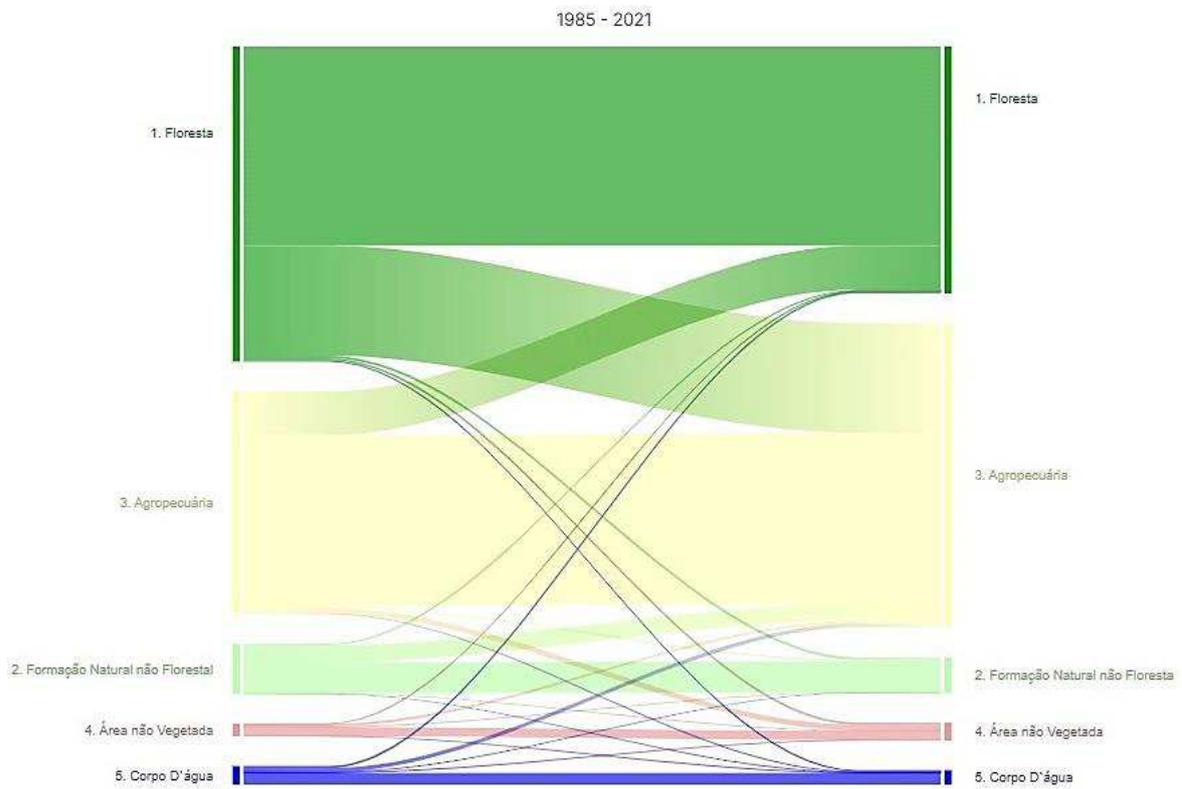


Figura 17. Fluxo da transição da área de cobertura vegetal da Caatinga no período de 1985 a 2021 (Fonte: MapBiomias, 2022).

Conforme o diagrama de Sankey apresentado na Figura 17, desde 1985 a área utilizada aos longos dos anos começou a apresentar diferentes estratificações de uso e cobertura, ouve uma transformação de caatinga em pastagens para o gado e a utilização para a agropecuária, além da caatinga passar a ter uma paisagem de um sistema de formação campestre. Houve uma transição da caatinga em solo exposta, a perca desta cobertura deixou o solo exposto. Algumas áreas sofreram transição para os usos na agropecuária, essas áreas mais tarde foram abandonadas, mas que depois de um tempo conseguiram se recuperar e foram utilizadas para outras atividades, ou seja, foram ganhando/perdendo área de cobertura para outro uso.

De acordo com Vanzela et al. (2010), a exploração intensa das áreas através dos sistemas agropecuários, inclusive os familiares, comuns no semiárido nordestino, é causa importante para a supressão da vegetação nestas áreas, esse tipo de atividade pode provocar inúmeros problemas tais como a perda da biodiversidade nativa, a queda natural da fertilidade dos solos e a intensificação dos processos erosivos.

Referências

NONATO R.T., OLIVEIRA S.M. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens LANDSAT 5. Engenharia Agrícola. v.33, n.6, n. 1268-1280. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96505/1/tecnicasmineracao.pdf> Acesso em: 16 agosto. 2022

SANTOS, C. A. C.; MARIANO, D.A.; CHAGAS, A.; NASCIMENTO, F.; C.; DANTAS, F. R.; OLIVEIRA, G.; SILVA, M. T.; SILVA, L. L.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; SAFA, B.; MEDEIROS, S. S.; NEALE, C.M.U. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 85, p. 101982. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101982>

VANZELA, L.; HERNANDEZ, F.; FRANCO, R. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14: 55–64. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>