



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE – PRODEMA**

**MARIA CAROLINA DE SANTANA PEIXÔTO**

**SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO IMEDIATA DE AÇU,**  
**RIO GRANDE DO NORTE - BRASIL**

**FORTALEZA**

**2025**

MARIA CAROLINA DE SANTANA PEIXÔTO

SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO IMEDIATA DE AÇU, RIO  
GRANDE DO NORTE - BRASIL

Tese apresentada à banca de Defesa do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora. Linha de Pesquisa: Relações sociedade-natureza e sustentabilidade

Orientadora: Profa. Dra. Vlândia Vidal Pinto de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Manoel Cirício Pereira Neto

FORTALEZA

2025

MARIA CAROLINA DE SANTANA PEIXÔTO

SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO IMEDIATA DE AÇU, RIO  
GRANDE DO NORTE - BRASIL

Tese apresentada à banca de Defesa do  
Programa de Pós-Graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente da  
Universidade Federal do Ceará como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de Doutora.  
Linha de Pesquisa: Relações sociedade-  
natureza e sustentabilidade

Aprovada em 21/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Manoel Cirício Pereira Neto (Coorientador)  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

---

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Érika Gomes Brito da Silva  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa  
Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES

---

Prof. Dr. Raimundo Inácio Silva Filho  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

Para a pequena Carolina que sempre sonhou em ser uma grande mulher.

## AGRADECIMENTOS

Eu nunca imaginei que chegaria tão alto, e, se não fosse pelos empurrões da vida, da família e amigos, nem eu acreditaria que trilharia essa montanha russa de emoções que é a vida acadêmica. Seria preciso um livro inteiro para fazer jus a todos que não soltaram a minha mão e acreditaram no meu potencial ao longo desses anos. Muitas pessoas que ficaram para trás para que eu fosse para frente, e sem dúvida alguma a minha família tem uma culpa enorme nisso.

Meus pais, que passaram a vida nos incentivando a estudar e nunca se contentar com “pouco estudo”. Meu pai, Rogério, que chegou a dar aulas na minha escolinha para pagar a mensalidade e eu tivesse uma base educacional sólida. Minha mãe, Maria Neide, que tantas vezes chorou quando não tínhamos merenda pra levar. Minha querida vó, ou voinha Fransquinha, professora aposentada, que nunca poupou seu suado salário para me ajudar financeiramente, mesmo depois de adulta. Meus irmãos, que também foram conquistando e incentivando os que ainda iam passar pelas mesmas fases.

Meus tios, também da área da educação, não podem ficar de fora. Tia Cecília, que mesmo ministrando um curso de redação para também complementar a renda para o estudo de suas filhas, me matriculou de graça em 2011 para que eu não ficasse para trás no ENEM (e isso me rendeu quase a nota máxima). Tio Gilson, que tantas vezes me deu carona quando eu ainda morava em Assú/RN para que eu pudesse poupar passagens (e isso me permitiu economizar para comprar meus livros de literatura e de estudo). Tio Antonio, que me deu abrigo em sua casa enquanto eu estava no mestrado em Mossoró/RN e sem bolsa, além da minha prima Micaelly que também me acolheu em sua casa em outro momento do mestrado.

Sem saber como faria para cursar meu estágio em Fortaleza/CE, minha querida prima do coração, Madeli, também me acolheu com todo amor e carinho em seu pequeno grande kitnet, no qual conheci outras pessoas maravilhosas (Djalma, Fátima, Buiú e Gildânia) que me acolheram e cuidaram de mim como se eu fosse da família. Agora, ao escrever esses agradecimentos, me encontro concursada em Natal/RN, na casa da minha tia Rita e só tenho a agradecer a Deus pelo acolhimento que todos me proporcionaram.

Aos mestres, que sempre me impulsionaram a ser melhor quando eu nem sabia que era possível. Ao meu orientador da graduação e mestrado, Manoel Cirício, por me dar o empurrão que faltava quando eu não queria ir, em meio aos encontros e desencontros, é quem me orienta e desorienta academicamente. A minha querida orientadora do doutorado, Vlândia Oliveira, por sua paciência, riso frouxo igual ao meu, às altas aventuras em aulas de campo, por

me acolher no programa e me ensinar coisas que não tinha aprendido nem durante a graduação. A todos os colegas e amigos que fiz pelo meio do caminho, do LAPED (UFC): Leonardo, Auri, Rômulo, Érica, Larisse e Sol. Aos colegas do LAGEO (UERN) que sempre me ajudaram quando tive dúvidas sobre meus mapas: João Paulo, Cristiano, Larissa, Anderson e Bia Confessor, por me ouvir confessar todas as angústias da academia e ser uma grande parceira de trabalhos, eventos e concursos. Aos meus grandes amigos Sélvio Brito e Gilson, de Santana do Matos, e Pedro (mais conhecido como Minha Joia [piada interna]), de São Rafael, por me ajudarem tanto no campo da tese. Sem vocês eu não teria conseguido ir tão longe!

Por fim, mas não menos importante, ao meu esposo Xaxá Neto, por torcer por mim, acreditar em mim e me levar aonde fosse preciso, quando fosse preciso. Por toda a ajuda com meus mapas quando nem eu sabia como fazê-los ou editá-los. Por todas as viagens para concurso, por todos os meses que precisamos ficar separados para que eu pudesse concluir o doutorado em outro estado e sozinha. Nem todas as palavras mais bonitas da língua portuguesa expressaria a felicidade que é dividir essa jornada da vida com você, já passamos por muitos apertos e loucuras juntos, e que venham mais aventuras!

Além de todas as pessoas citadas acima, essa tese só saiu dos meus planos para o papel por meio do apoio financeiro concedido pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), por tudo e por tanto, agradeço a todos.

Para que todos vejam, e saibam, e considerem,  
e juntamente entendam que a mão do Senhor  
fez isto.

(Isaías 41:20)

## RESUMO

A desertificação é um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas regiões semiáridas, impactando ecossistemas e comunidades que dependem dos recursos naturais para sua subsistência. No Brasil, a problemática é particularmente evidente no Semiárido Nordeste, onde extensas áreas apresentam processos avançados de degradação ambiental. Dentre essas áreas, destaca-se o Núcleo de Desertificação do Seridó, que abrange 32 municípios nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Apesar do reconhecimento desse núcleo, outras regiões igualmente degradadas carecem de estudos mais aprofundados, como é o caso da Região Imediata de Açu. Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a susceptibilidade à degradação ambiental/desertificação em municípios inseridos na Região Imediata de Açu, por meio de indicadores de desertificação e indicadores socioeconômicos. A escolha dessa região justifica-se pelo fato de estar inserida em uma Área Susceptível à Desertificação e ser classificada pelos mapeamentos ambientais mais recentes como fortemente degradada, apresentando características similares às do Núcleo Seridó, mas ainda pouco estudada na literatura científica. A metodologia adotada baseou-se nos estudos da paisagem a partir da abordagem geossistêmica, da ecodinâmica e dos indicadores geofísicos e socioambientais. Essa abordagem permitiu a análise integrada da dinâmica ambiental da região, associando fatores socioambientais para uma melhor compreensão da área. O estudo estruturou-se de forma a correlacionar diferentes sistemas ambientais e os respectivos níveis de susceptibilidade à degradação, classificados em baixa, moderada e alta. Os principais resultados obtidos permitiram a delimitação de cinco sistemas ambientais: Tabuleiros, Planalto, Inselberg, Serra de Santana, Depressão Sertaneja e Planície Fluvial. Dentro desses sistemas, identificou-se sete subsistemas: Baixo Planalto de Angicos; Baixo Planalto da Borborema; Serras, Cristas e Inselbergs; Depressão Sertaneja Aplainada; Depressão Sertaneja Suave Ondulada e Planície Fluvial (do Vale do Açu e do Itaporanga). A análise da susceptibilidade à desertificação revelou três grupos distintos. O primeiro, com maior estabilidade ambiental, apresentou índices entre 3,5 e 3,3, classificado como de baixa susceptibilidade. O segundo grupo, com valores entre 3,3 e 3,0, indicou uma vulnerabilidade moderada. Já o terceiro, composto por áreas com índices entre 2,6 e 2,0, revelou alta susceptibilidade à desertificação, evidenciando um quadro preocupante de degradação ambiental. Com base nesses resultados, destaca-se a importância da realização de estudos ambientais integrados para a compreensão dos processos de degradação em regiões semiáridas. Esses estudos são fundamentais para identificar impactos ambientais, reconhecer potencialidades e limitações e embasar a formulação de estratégias eficazes de

conservação e desenvolvimento sustentável. Dessa forma, o conhecimento gerado a partir dos sertões nordestinos, aliado a pesquisas interdisciplinares, contribui significativamente para o avanço científico e a elaboração de políticas públicas voltadas à sustentabilidade dos recursos naturais e à melhoria da qualidade de vida das comunidades locais.

**Palavras-Chave:** degradação da terra; semiárido; indicadores; análise sistêmica.

## ABSTRACT

Desertification is one of the main environmental challenges faced by semi-arid regions, impacting ecosystems and communities that depend on natural resources for their subsistence. In Brazil, the problem is especially evident in the Northeastern Semi-Arid Region, where large areas show advanced processes of environmental degradation. Among these areas, the Serido Desertification Center stands out, covering 32 municipalities in the states of Rio Grande do Norte and Paraíba. Despite the recognition of this center, other equally degraded regions need more in-depth studies, such as the Immediate Region of Açu. In this context, the general objective of this research is to analyze the susceptibility to environmental degradation/desertification in municipalities located in the Immediate Region of Açu, using desertification indicators and socioeconomic indicators. The choice of this region is justified by the fact that it is located in an Area Susceptible to Desertification and is classified by the most recent environmental mappings as heavily degraded, presenting characteristics similar to those of the Serido Core, but still insufficiently studied in the scientific literature. The methodology adopted was based on landscape studies using a geosystemic approach, ecodynamics, and geophysical and socio-environmental indicators. This approach allowed for an integrated analysis of the region's environmental dynamics, associating socio-environmental factors for a better comprehension of the area. The study is structured to correlate different environmental systems and their respective levels of susceptibility to degradation, classified as low, moderate, and high. The primary data obtained allowed for the delineation of five environmental systems: Tabuleiros, Planalto, Inselberg, Serra de Santana, Depressão Sertaneja, and Planície Fluvial. Within these systems, seven subsystems were identified: Baixo Planalto de Angicos; Baixo Planalto da Borborema; Serras, Cristas e Inselbergs; Depressão Sertaneja Aplainada; Depressão Sertaneja Suave Ondulada and Planície Fluvial (do Vale do Açu e do Itaporanga). The analysis of susceptibility to desertification revealed three distinct groups. The first, with greater environmental stability, had indexes between 3.5 and 3.3, classified as low susceptibility. The second group, with values between 3.3 and 3.0, indicated moderate vulnerability. The third, composed of areas with values between 2.6 and 2.0, revealed high susceptibility to desertification, revealing a worrying picture of environmental degradation. Based on these results, the importance of conducting integrated environmental studies to understand degradation processes in semi-arid regions is emphasized. These studies are essential for identifying environmental impacts, recognizing potentialities and limitations, and supporting the formulation of effective conservation and sustainable development strategies. Thus, the

knowledge generated from the northeastern hinterlands, combined with interdisciplinary research, contributes substantially to scientific advancement and the development of public policies focused on the sustainability of natural resources and the improvement of the quality of life of local communities.

**Keywords:** land degradation; semi-arid region; indicators; systemic analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do estudo.....	18
Figura 2 – Mapa Global da Vulnerabilidade à Desertificação.....	40
Figura 3 – Áreas Susceptíveis à Desertificação.....	42
Figura 4 – Áreas Susceptíveis à Desertificação.....	43
Figura 5 – Vulnerabilidade ambiental envolvendo a ASD no Brasil.....	45
Figura 6 – Delimitação do Semiárido (2017 e 2021) .....	48
Figura 7 – Municípios excluídos da Delimitação 2021.....	47
Figura 8 – Diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação no estado potiguar.....	50
Figura 9 – Área Susceptível à desertificação no Rio Grande do Norte.....	52
Figura 10 – Espacialização das terras afetadas por processos de desertificação - Rio Grande do Norte.....	53
Figura 11 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado do Rio Grande do Norte.....	54
Figura 12 – Mapa de Áreas Susceptíveis à Desertificação no Semiárido Brasileiro.....	56
Figura 13 – Imagens de satélite da grande seca 2010-2017, no semiárido brasileiro.....	66
Figura 14 – Mapa das Unidades Geológicas.....	76
Figura 15 – Mapa de Unidades Geomorfológicas.....	77
Figura 16 – Série temporal de Superfície d’água – Angicos.....	78
Figura 17 – Série temporal de Superfície d’água – Itajá.....	79
Figura 18 – Série temporal de Superfície d’água – São Rafael.....	79
Figura 19 – Vista da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves - Itajá.....	80
Figura 20 – Série temporal de Superfície d’água – Santana do Matos.....	81
Figura 21 – Climograma dos municípios.....	82
Figura 22 – Vista de área de inselberg após períodos de chuva em São Rafael.....	83
Figura 23 – Dados de seca no Rio Grande do Norte.....	84
Figura 24 – Mapa de associação de solos.....	85
Figura 25 – População residente estimada.....	87
Figura 26 – Evolução da população de cada município da área de estudo.....	88
Figura 27 – IDHM de Angicos.....	89
Figura 28 – IDHM de Itajá.....	89
Figura 29 – IDHM de São Rafael.....	90

Figura 30 – IDHM de Santana do Matos.....	90
Figura 31 – Mapa de Uso e Cobertura do ano de 1985.....	94
Figura 32 – Mapa de Uso e Cobertura do ano de 2020.....	94
Figura 33 – Evolução do Uso e Cobertura.....	95
Figura 34 – Variação das classes de uso por ano.....	97
Figura 35 – Diagrama de Sankey com a transição dos usos.....	98
Figura 36 – Mosaico de vegetação esparsa dos municípios.....	100
Figura 37 – Mosaico de vegetação densa dos municípios.....	100
Figura 38 – Mosaico de espécies vegetais encontradas nos municípios.....	101
Figura 39 – Vista dos aerogeradores ao longe (A) e em áreas mais próximas (B) em Santana do Matos, com visão para o município de Bodó.....	104
Figura 40 – Vista do aerogerador na região leste do município de Santana do Matos.....	106
Figura 41 – Vista panorâmica da Subestação em Santana do Matos, região leste.....	105
Figura 42 – Plantação de capim em Santana do Matos, região central.....	106
Figura 43 – Central Geradora Elétrica Armando Ribeiro Gonçalves em Itajá.....	107
Figura 44 – Localização de algumas cerâmicas em Itajá.....	108
Figura 45 – Área de extração de argila na entrada de Itajá.....	109
Figura 46 – Áreas utilizadas para descarte de material na entrada da cidade - Itajá.....	110
Figura 47 – Área de extração de argila na entrada de Itajá.....	111
Figura 48 – Visão panorâmica da paisagem do corte da pedreira em São Rafael.....	112
Figura 49 – Visão da Serra do Jatobá em São Rafael.....	113
Figura 50 – Visão panorâmica do <i>neck</i> vulcânico exumado Pico do Cabugi.....	114
Figura 51 – Mosaico de pecuária nos municípios.....	115
Figura 52 – Mosaico de lixão a céu aberto.....	116
Figura 53 – Mapa dos Sistemas e Subsistemas dos municípios.....	117
Figura 54 – Área referente a Baixo Planalto, porção norte de Angicos.....	118
Figura 55 – Área representativa do Baixo Planalto Borborema, em Santana do Matos.....	119
Figura 56 – Áreas referentes a Serras, Cristas e Inselbergs.....	120
Figura 57 – Área representativa da Depressão Sertaneja Aplainada, Santana do Matos.....	121
Figura 58 – Área representativa da Depressão Sertaneja suave ondulada, Santana do Matos.....	122
Figura 59 – Área representativa da Planície Fluvial do Vale do Açu, em Itajá.....	123
Figura 60 – Mapa de Susceptibilidade à Desertificação da Região Imediata de Açu.....	134

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Mapas utilizados na pesquisa das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Rio Grande do Norte.....	22
Quadro 2 – Síntese dos Principais Estudos sobre Desertificação para o Nordeste do Brasil..	38
Quadro 3 – Áreas piloto destacadas por Vasconcelos Sobrinho e SUDENE.....	40
Quadro 4 – Distribuição climática do Rio Grande do Norte.....	49
Quadro 5 – Áreas desertificadas no Nordeste Brasileiro.....	56
Quadro 6 – Comparativos entre os trabalhos analisados nesta pesquisa.....	57
Quadro 7 – Indicadores de Desertificação (UNCCD).....	60
Quadro 8 – Indicadores propostos por Vasconcelos Sobrinho.....	62
Quadro 9 – Compilação da utilização recente de indicadores (internacional).....	63
Quadro 10 – Eventos extremos na região.....	83
Quadro 11 – Classes de uso e cobertura para os níveis Natural e Antrópico.....	91
Quadro 12 – Descrição dos atributos de uso e cobertura.....	92
Quadro 13 – Mudança dos usos de classes a partir do Diagrama de Sankley - 1985 e 2020.	99
Quadro 14 – Composição florística da área de estudo.....	102
Quadro 15 – Sinopse dos Sistemas e Subsistemas ambientais dos municípios da Região Central Potiguar.....	124
Quadro 16 – Indicadores Geofísicos aplicados nos municípios da Região Central Potiguar.....	130
Quadro 17 – Relação dos subsistemas, Indicadores e Vulnerabilidade/Susceptibilidade.....	130
Quadro 18 – Indicadores Socioeconômicos aplicados nos municípios da Região Imediata...	133

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASD	Área Susceptível à Desertificação
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Mineral
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FNDE	Fundo de Desenvolvimento do Nordeste
IA	Índice de Aridez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
IFN	Inventário Florestal Nacional
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAPIS	Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
NDVI	Vegetação por Diferença Normalizada
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECD	<i>Organization for Economic Co-Operation and Development</i>
OLI	<i>Operation Land Imager</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PAN BRASIL	Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PNDC	Plano Nacional de Combate à Desertificação
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
SEBRAE	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Norte
SR	Sensoriamento Remoto
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TGS	Teoria Geral dos Sistemas

UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNCCD	<i>United Nations Convention to Combat Desertification</i>
UNCSD	<i>United Nations Conference on Sustainable Development</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	BASES METODOLÓGICAS.....	21
2.2	Procedimentos Metodológicos.....	21
2.2.1	<i>Levantamento Bibliográfico.....</i>	21
2.2.2	<i>Levantamento Cartográfico e Processamento de dados.....</i>	24
2.2.3	<i>Pós-Processamento: visitas de campo e validação das imagens.....</i>	26
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
3.1	A Paisagem e o Geossistema como objeto de estudo.....	30
3.2	Desertificação: histórico e trajetórias.....	34
3.2.1	<i>Distribuição geográfica das áreas desertificadas.....</i>	39
3.2.2	<i>O Rio Grande do Norte.....</i>	49
3.3	Indicadores: percurso e aplicações.....	60
3.4	Geotecnologias aplicadas à Desertificação.....	64
4	CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	68
4.1	Aspectos Geológico-Geomorfológicos.....	68
4.2	Aspectos Hidroclimáticos.....	78
4.3	Aspectos Pedológicos.....	84
4.4	Aspectos Socioeconômicos.....	87
4.5	Uso e cobertura.....	91
5	SISTEMAS AMBIENTAIS E INDICADORES DE DESERTIFICAÇÃO.....	117
5.1	Caracterização dos Sistemas Ambientais.....	117
5.1.1	<i>Baixo Planalto de Angicos.....</i>	118
5.1.2	<i>Baixo Planalto da Borborema.....</i>	119
5.1.3	<i>Serra de Santana.....</i>	119
5.1.4	<i>Serras, Cristas e Inselbergs.....</i>	120
5.1.5	<i>Depressão Sertaneja Aplainada.....</i>	120
5.1.6	<i>Depressão Sertaneja suave ondulada.....</i>	121
5.1.7	<i>Planícies Fluviais (do Vale do Açu e do Itaporanga).....</i>	122
5.2	Análise dos Indicadores de Desertificação.....	126
5.2.1	<i>Indicadores Geofísicos.....</i>	127
5.2.2	<i>Indicadores Socioeconômicos.....</i>	130
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
	REFERÊNCIAS.....	137

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais pela humanidade para sua sobrevivência sempre esteve presente ao longo do tempo e do espaço. Dos povos nômades ao meio técnico-científico-informacional<sup>1</sup>, seja por meio da adaptação ou do avanço tecnológico, a sociedade tem sua permanência garantida por meio da extração de alimento da natureza, e a partir da modificação do meio passa a exercer maior pressão aos recursos naturais.

Com o desenvolvimento do sistema capitalista, os séculos XVIII, XIX e XX marcam grandes explorações desses recursos, que resultaram em intensas transformações do meio. Como consequência disso, desastres ambientais de ordem global, nacional, regional e local evidenciam as alterações climáticas, geomorfológicas e pedológicas.

Nesse contexto, destaca-se nas áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas do globo o fenômeno da desertificação, que assola a população desde a década de 1960 (Brasil, [201-a]). Nessas áreas, o quadro geoambiental e socioeconômico é comumente marcado pela vulnerabilidade, refletindo frequentemente em pobreza ou pobreza extrema.

Apesar disso, somente no ano de 1977 foi realizada a Conferência Internacional das Nações Unidas para o Combate à Desertificação em Nairóbi, no Quênia, que resultou entre outras ações, o Plano de Ação Mundial de Combate à Desertificação (Araújo; Souza, 2017; Peixôto, 2020). A desertificação é, de acordo com Silva (2018), o estado mais preocupante da degradação das terras secas devido ao caráter de ruptura e irreversibilidade do estado de resiliência dos sistemas ambientais.

Destarte, no Brasil, o semiárido recebe destaque para a presença da desertificação que abrange os nove estados (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia) e parte dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, nos quais a razão entre a precipitação anual e evapotranspiração potencial está compreendida entre 0,05 e 0,65 (Brasil, [201-b]).

O Núcleo de Desertificação do Seridó abrange os estados do RN e da Paraíba e afeta 32 municípios), no qual o estado do Rio Grande do Norte, de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE (2016), apresenta o maior percentual de áreas degradadas e suas

---

<sup>1</sup> Resumidamente, Milton Santos (1994) afirma que “O meio técnico-científico-informacional é um meio geográfico onde o território inclui obrigatoriamente ciência, tecnologia e informação” (p. 20). Além disso, enfatiza que “Nesse mundo, a primeira natureza que conta não é mais a natureza natural, mas, sim, a natureza já artificializada. [...] O meio técnico-científico-informacional é a nova cara do espaço e do tempo. É aí que se instalam as atividades hegemônicas, aquelas que têm relações mais longínquas e participam do comércio internacional, fazendo com que determinados lugares se tornem mundiais.” (p. 20-21).

manchas situam-se nas regiões central e sul do Estado, totalizando 6.689,14 km<sup>2</sup>, equivalendo a 12,87% da sua área mapeada.

Em vista disso, esta pesquisa encontra-se ancorada teórica e metodologicamente nos estudos da paisagem por meio da abordagem geossistêmica de Bertrand (1972) e Sothava (1977), da ecodinâmica de Tricart (1977) e dos indicadores geofísicos propostos por Abraham e Beekman (2006) e Oliveira (2006, 2011) para que dessa forma, seja possível conhecer a dinâmica dessas paisagens e relacionar os agentes físicos na compreensão das áreas secas e susceptíveis à desertificação.

Está, portanto, estruturada de forma a relacionar os estudos integrados para se chegar aos modelos de sistemas ambientais, bem como aos níveis de susceptibilidade (baixa, moderada e alta) da área estudada.

A escolha de municípios inseridos na Região Imediata de Açu (Figura 1) para estudo da desertificação encontra-se justificada por estar localizada em uma Área Susceptível à Desertificação que também é classificada pelos mapeamentos mais recentes como área fortemente degradada, equiparando-se à mancha do Núcleo Seridó, entretanto, com escasso estudo e literatura significativos, possuindo características geoambientais favoráveis ao processo.

**Figura 1 - Mapa de localização do estudo**



**Fonte:** elaborado pela autora (2024)

Dessa forma, compreender a estrutura e dinâmica da paisagem do recorte espacial proposto é de fundamental importância para determinar ações voltadas para uma gestão com sustentabilidade socioambiental.

Para esse fim, propõe-se responder aos seguintes questionamentos: Quais as características geoambientais da área de estudo e como influenciam a dinâmica local no contexto da Região Imediata de Açu? Como os sistemas ambientais estão relacionados e integrados? Quais as potencialidades e limitações diante das práticas de uso e conservação do solo? Qual a predominância/nível da susceptibilidade à degradação ambiental e desertificação nessas áreas?

A partir desses questionamentos, aponta-se as seguintes hipóteses:

- Os municípios estudados apresentam níveis elevados de susceptibilidade à desertificação, configurando um cenário comparável ao Núcleo de Desertificação do Seridó.
- A integração de indicadores geofísicos com indicadores socioeconômicos permite identificar zonas críticas de susceptibilidade à desertificação em parte da Região Imediata de Açu, evidenciando que a degradação ambiental é resultado da interação entre condicionantes naturais e ações antrópicas inadequadas, permitindo assim, comparações com outras áreas de condições ambientais semelhantes.

Ressalta-se, pois, que a presente pesquisa pode contribuir tanto no que diz respeito ao estado da arte quanto para a reprodução de uma metodologia eficaz, que possa consolidar os bancos de dados e compartilhar informações que possam instigar outros projetos de pesquisa bem como estimular recursos para o fortalecimento da pesquisa na Universidade e projetos nas mais diversas escalas de financiamento. Além de divulgar as informações e resultados aqui encontrados em congressos, palestras, mesas redondas e outras infinidades de eventos de divulgação científica.

Para tanto, o objetivo da pesquisa é analisar a susceptibilidade à degradação ambiental/desertificação de municípios inseridos na Região Imediata de Açu, por meio de indicadores geofísicos de desertificação e indicadores socioeconômicos.

Dos objetivos específicos, destacam-se:

- Delimitar e caracterizar os sistemas geoambientais por meio da integração dos seus componentes.
- Identificar e mapear as tipologias de uso e cobertura da terra e sua dinâmica local;

- Mensurar o nível de degradação ambiental/desertificação por meio dos indicadores geofísicos de desertificação;
- Organizar uma base de dados sobre a geocartografia da área de pesquisa;
- Propor medidas mitigadoras que possam atenuar os efeitos degradacionais a partir da sensibilização dessas áreas

A pesquisa está dividida em cinco capítulos, da seguinte maneira: Capítulo 01 – Introdução, na qual aborda-se os assuntos introdutórios do histórico da exploração humana dos recursos naturais, além da desertificação no mundo, Brasil e Rio Grande do Norte, com vistas à região central.

No Capítulo 02 apresentam-se as Bases Metodológicas, indicando os procedimentos e passo a passo utilizado para a realização da pesquisa.

No Capítulo 03 é abordado o Referencial Teórico, em que está presente a discussão sobre paisagem e o geossistema como objeto de estudo à luz de uma abordagem sistêmica e integrativa; a desertificação com suas múltiplas problemáticas e trajetórias; além de trazer uma breve caracterização dos indicadores e por fim os procedimentos e percursos metodológicos da pesquisa.

Já no Capítulo 04 é apresentado a caracterização dos componentes geoambientais da área, trazendo os principais trabalhos da área para discussão, suas principais características naturais predominantes, juntamente com os aspectos geológico/geomorfológico, aspectos hidroclimáticos, características morfopedológicas, uso e cobertura vegetal e os aspectos socioeconômicos.

Por fim, no Capítulo 05 é apresentado os sistemas ambientais delimitados na pesquisa, nos quais serão explorados as suas potencialidades e limitações, capacidade de suporte, impactos e problemas ambientais encontrados e ecodinâmica; além da análise dos indicadores de desertificação, seus respectivos valores, mapeamento e discussões pertinentes ao longo da pesquisa com relação aos resultados obtidos sobre os ambientais mais e menos susceptíveis ao fenômeno.

## Capítulo 02

---

### BASES METODOLÓGICAS

---

A pesquisa encontra-se sistematizada em quatro etapas, melhores descritas nos subtópicos a seguir, sendo essas o Levantamento Bibliográfico, o Levantamento Cartográfico (pré-processamento, processamento e pós-processamento), Análise dos dados em gabinete e Expedições de campo.

#### 2.1 Métodos e Procedimentos Metodológicos

##### 2.1.1 *Levantamento Bibliográfico*

A base teórico-metodológica está alicerçada no estudo integrado da paisagem, seguindo a proposta de Bertrand (1972) de Geossistema, dos Indicadores de acordo com Oliveira (2011), Costa (2014) e Sousa (2016), da Ecodinâmica de Tricart (1977) e, para que dessa forma enfatize-se a dinâmica dos sistemas físicos do recorte espacial estudado, chegando posteriormente à susceptibilidade dos municípios à desertificação.

Com relação ao mapeamento estudado sobre a desertificação no Rio Grande do Norte, a metodologia desenvolvida fundamenta-se, essencialmente, em estudos bibliográficos e análise de documentos oficiais de âmbito nacional e estadual, para que fosse possível realizar a análise comparativa dentre os principais mapas temáticos sobre desertificação disponíveis para o estado.

A pesquisa bibliográfica, conforme apontado por Sousa, Oliveira e Alves (2021), envolve o levantamento ou revisão de obras previamente publicadas relacionadas à teoria investigada. O objetivo principal é analisar textos já publicados que possam servir como suporte à pesquisa em desenvolvimento. Este tipo de pesquisa é baseado em material previamente elaborado, majoritariamente por livros e artigos científicos (Gil, 2022). Alinhando-se ao pensamento de Macedo (1994), que enfatiza que a revisão de literatura não implica em redundância ou repetição acerca do tema de estudo ou experimentação. De modo semelhante, Lakatos e Marconi (2003) argumentam que a pesquisa bibliográfica não representa uma mera replicação do que já foi expresso ou escrito sobre determinado tópico. Ao contrário, essa abordagem possibilita a análise de um tema sob uma nova perspectiva ou abordagem, podendo levar a conclusões inovadoras.

Assim, seguindo a metodologia proposta por Silva e Oliveira (2017), inicialmente foi realizada a pesquisa e busca por material cartográfico que envolvesse o mapeamento temático da desertificação para o estado do Rio Grande do Norte em artigos, teses e dissertações, e também em documentos oficiais disponibilizados pelos governos federal e estadual. A partir do critério de exclusão de pesquisas e documentos que não atenderam aos objetivos da presente pesquisa, foram selecionadas cinco bases distintas que foram analisadas e trabalhadas a seguir.

A partir da análise crítica de trabalhos antecedentes, tomou-se como marco inicial a análise do mapeamento de Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000), tendo em vista que é o mapeamento mais antigo disponível sobre a temática da desertificação, e o último mapeamento realizado pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS, 2016), vinculado à Universidade Federal e Alagoas.

O Quadro 1 esquematiza os mapas selecionados para análise, correspondendo aos autores, título dos mapas, escalas e metodologias adotadas.

**Quadro 1** – Mapas utilizados na pesquisa das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Rio Grande do Norte

<b>Autor</b>	<b>Mapa</b>	<b>Escala</b>	<b>Metodologia</b>
Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000)	Diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação no estado potiguar	1:2.000.000	Avaliado por meio da ocorrência e intensidade do processo, com as ASDs classificadas de acordo com o Grau de Susceptibilidade
PAN-Brasil (MMA, 2004)	Área Susceptível à desertificação no Rio Grande do Norte	1:2.000.000	Estabelecida uma regionalização em áreas semiáridas, subúmidas secas e áreas de entorno
Bezerra et al. (2011)	Espacialização das terras afetadas por processos de desertificação - Rio Grande do Norte	1:2.000.000	População que vive abaixo da linha de pobreza nas áreas secas; Índice Nacional de Precipitação Mensal; Índice de Vegetação, Derivado de imagens de satélite; Terras afetadas pela desertificação
CGEE (2016)	Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado do Rio Grande do Norte	1:2.000.000	Levantamento bibliográfico e geocartográfico; Análise socioeconômica utilizando indicadores

LAPIS (2016)	Mapa de Áreas Susceptíveis à Desertificação no Semiárido Brasileiro	1:500.000	Imagens de NDVI de longo prazo, baseada em dados do satélite Meteosat-10 de 2007 a 2016
--------------	---	-----------	---

**Fonte:** Organizado pelos autores

Devido a baixa qualidade da imagem de alguns mapeamentos e erros cartográficos encontrados (textos ilegíveis, falta de referência espacial, Datum, coordenadas, efeito ilha etc.) optou-se por reorganizá-los, porém mantendo as cores originalmente adotadas, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) em ambiente QGis versão 3.22.4 para que ficassem padronizados e com as informações cartográficas corretamente dispostas. As porcentagens apresentadas foram extraídas a partir dos polígonos que foram gerados pelos mapas analisados.. O processo consistiu apenas na reformulação do layout, garantindo melhor legibilidade e apresentação dos dados.

Os mapas foram examinados individualmente e comparados. Após o levantamento e análise crítica dos documentos encontrados foram esboçados quadros que compilam as principais informações de cada mapeamento, suas semelhanças e diferenças, além de suas contribuições históricas e cartográficas para o estado potiguar.

Para a compartimentação geoambiental foi destacado os seguintes parâmetros: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Clima, Hidrografia e Usos.

Para estabelecer os valores referentes aos Indicadores Geofísicos de Desertificação (IGD) foram utilizados a metodologia proposta por Abraham e Beekman (2006) e Oliveira (2006, 2011) e Indicadores Socioeconômicos de Desertificação (ISED) de Sousa (2016) sendo organizados de modo que os maiores valores equivalem às melhores potencialidades para a conservação ambiental e, dessa forma, o maior valor de desertificação indica menor estado de conservação (Oliveira, 2011), observado nas Tabela 1 e2.

Inicialmente, a análise da vulnerabilidade ambiental da área de estudo terá como base a metodologia proposta por Souza (2000) a fim de classificar o ambiente e determinar sua estabilidade/instabilidade de acordo com o que foi proposto por Tricart (1977). Dessa forma, como relação à pedogênese/morfogênese e grau de interferência humana sobre os recursos naturais principalmente cobertura vegetal, conforme aponta Costa (2014) serão estabelecidas três classificações nos ambientes da região central: meios estáveis, meios de transição com tendência à instabilidade e meios instáveis.

### 2.1.2 Levantamento Cartográfico e Processamento de dados

Para a produção cartográfica foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto alimentando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.22.4® para sua confecção, com escala que melhor se adequa ao que é proposto, na projeção cartográfica Datum – Sirgas 2000 – UTM Zona 24 Sul, como base georreferencial dos dados do município. Serão utilizadas informações das seguintes instituições e trabalhos:

- Limite municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021);
- Unidades Pedológicas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018);
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN (2022);
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2018);
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2020);
- Agência Nacional de Águas – ANA (2020);
- MapBiomas – (2020);

Para o mapa de geologia foram utilizadas as bases da CPRM (2020), a partir da Folha SB24-Jaguaribe, Angelim *et al.* (2007) e Pfaltzgraff (2010). Igualmente, para o mapa de geomorfologia foi utilizado como base a CPRM (2020) Folha SB24-Jaguaribe e Angelim *et al.* (2007) devido ao nível de confiabilidade do referido estudo no estado, e CPRM (2021) para a padronização na representação das cores dos atributos de relevo.

Foram utilizados dados e bases para hidrografia, disponíveis no sítio da ANA (2020) representando os principais corpos hídricos, rios e riachos. Para os dados climatológicos foram utilizados valores da EMPARN (2022).

Para o mapa de solos utilizou-se as bases de Unidades Pedológicas do IBGE (2018) atualizando as nomenclaturas do Novo Sistema de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Para a utilização de Curvas de Nível foram utilizadas as bases do TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na folha 06S375, com resolução espacial de 30 m, e diferenciação das curvas a cada 100 m de altitude.

Para os dados de uso e cobertura da área, foram utilizados dados da Plataforma do Projeto MapBiomas (Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil), que concede mapas em escala de pixel a 30 metros sobre o uso e cobertura da terra dos municípios em questão de 1985 até 2020, com intervalo de 10 anos, isso porque, ao adotar esse intervalo é possível suavizar as pequenas flutuações de dados anuais e registrar as tendências

mais estruturais e significativas, além de favorecer a gestão de dados com as mudanças mais relevantes e robustas para a época.

Os mapas foram produzidos no QGIS a partir do processamento em nuvem das imagens do *Google Earth Engine* (GEE) em escala 1:500.000 para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 e pela integração temporal pixel a pixel, utilizando os classificadores automatizados e técnicas de *machine learning* vinculados a plataforma GEE, que gera a série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra (Moraes, 2020; MapBiomias, 2022; Silva Neto *et al.*, 2024) com dados selecionados a partir da Coleção 7.1, fruto de 7 anos de trabalho do referido projeto que está em constante desenvolvimento.

Além disso, dentre esses anos há marcos ambientais no estado do Rio Grande do Norte que podem ter influenciado transformações no território. Por exemplo, o ano de 2005 é seguido pela Política Estadual do Meio Ambiente (Lei Complementar Estadual nº 272/2004); 2010 é marcado pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da seca no RN (PAE-RN); 2015 é antecedido pelo Programa de Convivência com o Semiárido Potiguar (PSP - 2014); entre os anos de 2015 e 2020 destaca-se também a Política Estadual de Combate à Desertificação (Lei nº 10.154/2017) e dentre os mais novos programas, aponta-se o Programa Viva Sabiá (2021).

A partir do recorte espacial dos municípios estudados, foi levada a camada vetorial para a plataforma do GEE e realizado os recortes anuais das respectivas áreas. Com a área pronta, no ambiente QGIS foi realizada a reclassificação das áreas e estipulada a coloração de cada valor de acordo com os atributos destinados pelo próprio MapBiomias. A partir disso, a área foi calculada em km<sup>2</sup> por meio da ferramenta *r.report* do GRASS, que entrega um arquivo de saída .txt em formato de tabela com os números dos pixels referente a cada área.

Esse arquivo foi levado para o ambiente de Excel e manipulado para realizar os cálculos referentes às mudanças ocorridas tanto em km<sup>2</sup> quanto em porcentagem, referente aos anos inicial e final da pesquisa (1985 e 2020). Ressalta-se que, conforme sugerem Silva Neto *et al.* (2024), a nomenclatura das classes é disponibilizada pelo próprio MapBiomias, entretanto, algumas foram modificadas para o melhor entendimento da pesquisa. Assim, Formação Florestal transformou-se em Caatinga arbórea, Formação Savânica em Caatinga arbustiva, Formação Campestre em Solo exposto/herbácea, Mosaico de usos em Agropecuária e Rios em Corpos hídricos. As demais classes continuaram as mesmas: Pastagem, Área urbana, Lavouras perenes e Lavouras temporárias.

Em seguida, foi confeccionado o mapa de sistemas ambientais, que consiste na integração dos mapas-base, fundindo as áreas homogêneas de acordo com Costa (2014), levando em consideração principalmente as unidades geomorfológicas, uma vez que é mais facilmente identificada e passível de uma delimitação rigorosa e precisa Oliveira (2011). A nomenclatura atribuída aos sistemas e subsistemas teve como fundamento tanto os aspectos locais quanto as unidades geomorfológicas, o que permitiu manter correspondência com os regionalismos utilizados pela população.

Por fim, foi espacializada a susceptibilidade à desertificação somando os mapas de sistemas e uso e cobertura, aplicando os valores dos indicadores geofísicos para então verificar o grau de degradação/desertificação da área e trazendo, pois, as discussões pertinentes aos resultados encontrados.

### ***2.5.3 Pós-Processamento: visitas de campo e validação das imagens***

As visitas de campo foram realizadas para melhor compreender os resultados obtidos a partir do trabalho bibliográfico e do mapeamento da área (gabinete), fazendo eventuais correções quando necessário, sendo muito importantes para a validação desses resultados. Dessa forma, o trabalho de campo é essencial na averiguação e correção do material prévio e permite uma evolução na produção e amadurecimento do trabalho (Costa, 2017).

As expedições de campo foram realizadas com o suporte de câmera fotográfica, mapas temáticos, mapa online (Google Maps) além da ajuda de mateiros (moradores da região que conhecem as vias, acessos e espécies nativas das áreas visitadas) para reconhecimento da verdade terrestre e validação do mapeamento realizado quanto aos sistemas ambientais.

Os parâmetros utilizados quanto aos Indicadores Geofísicos de Desertificação (IGD) podem ser observados na Tabela 1 e na Tabela 2 quanto aos Indicadores Socioeconômicos de Desertificação (ISED).

**Tabela 1 - Indicadores Geofísicos de Desertificação (IGD)**

<b>• Geologia (Litotipos / Permeabilidade) – IGD1</b>		V.I.
Coberturas não coesas (depósito sedimentar)		(5)
Capeamento arenítico, lateritas e rochas sedimentares		(4)
Rochas metamórficas (xistos)		(3)
Rochas metamórficas (variados tipos de gnaisses)		(2)
Núcleos granitóides, migmatitos, quartzitos		(1)
<b>• Geomorfologia (Declividade / Topografia) – IGD2</b>		
	Parâmetro	
Plano	0 – 3 %	(5)
Suave ondulado	3 – 8 %	(4)
Ondulado	8 – 15 %	(3)
Fortemente ondulado	15 – 45 %	(2)
Montanhoso	>45 %	(1)
<b>• Cobertura Vegetal (Percentual de Ocupação) –IGD3</b>		
	Parâmetro	
Alto	> 75 %	(5)
Médio-alto	54 – 75 %	(4)
Médio	32 – 53 %	(3)
Médio-baixo	10 – 31 %	(2)
Inferior	10% < 10%	(1)
<b>• Solos (Espessura) – IGD4</b>		
	Parâmetro	
Muito profundos	> 200 cm	(5)
Profundos	100 – 200 cm	(4)
Moderadamente rasos	50 – 100 cm	(3)
Raso	25 – 50 cm	(2)
Muito rasos com afloramentos rochosos	Sem solo < 25 cm	(1)
<b>• Solos (Erosão) – IGD5</b>		
	Parâmetro	
Erosão laminar		(5)
Erosão com sulcos		(4)
Erosão com ravinas	Profundidade < 100 cm	(3)
Ravinas / Voçorocas	100 – 200 cm	(2)
Voçorocas Profundidade	> 200 cm	(1)
<b>• Zonação climática – IGD6</b>		
Super-úmido	Índice de aridez >0,65	(5)
Úmido	Índice de aridez entre 0,50 e 0,65	(4)
Subúmido seco	Índice de aridez entre 0,20 e 0,50	(3)
Semiárido	Índice de aridez entre 0,0 e 0,20	(2)
Árido	Índice de aridez <0,05	(1)

**Fonte:** Adaptado de Oliveira (2011); Costa (2014). V.I.: Valor do Indicador.

**Tabela 2 - Indicadores Socioeconômicos de Desertificação (ISED)**

<b>ISED 1 • População (Densidade demográfica)</b>	<b>Hab/km<sup>2</sup></b>	<b>V.I.</b>
Nula (Não habitado)	0	(5)
Baixa	1 – 100	(4)
Média	101 – 200	(3)
Média-alta	201 – 400	(2)
Alta	> 500	(1)
<b>ISED 2 • Escolaridade</b>		
Ensino Superior		(5)
Ensino Médio		(4)
Ensino Fundamental		(3)
Alfabetizado		(2)
Analfabeto		(1)
<b>ISED 3 • Estrutura fundiária</b>		
Propriedades > 50 hectares		(5)
Entre 21 e 50		(4)
Entre 11 e 20		(3)
De 1 a 10		(2)
Famílias sem terra		(1)
<b>ISED 4 • Atividade econômica/Agricultura</b>		
	<b>(% de famílias)</b>	
Muito fraco	1 a 20	(5)
Fraco	21 a 40	(4)
Moderado	41 a 60	(3)
Forte	61 a 80	(2)
Muito forte	81 a 100	(1)
<b>ISED 5 • Atividade econômica/Pecuária</b>		
	<b>(% de famílias)</b>	
Muito fraco	1 a 20	(5)
Fraco	21 a 40	(4)
Moderado	41 a 60	(3)
Forte	61 a 80	(2)
Muito forte	81 a 100	(1)
<b>ISED 6 • Atividade econômica/Extrativismo vegetal</b>		
	<b>(% de famílias)</b>	
Muito fraco	1 a 20	(5)
Fraco	21 a 40	(4)
Moderado	41 a 60	(3)
Forte	61 a 80	(2)
Muito forte	81 a 100	(1)
<b>ISED 7 • Renda familiar (salários mínimos)</b>		
Acima de 6		(5)
Entre 4 e 6		(4)
Entre 2 e 4		(3)
Entre 1 e 2		(2)
Até 1		(1)
<b>ISED 8 • Fonte de abastecimento de água</b>		
Rede pública		(5)
Poços		(4)
Açudes/lagoas		(3)
Carros pipa		(2)
Abastecimento precário		(1)
<b>ISED 9 • Tratamento de água</b>		
Tratada		(5)
Fervida		(4)

Filtrada	(3)
Clorada	(2)
Sem tratamento	(1)
<b>ISED 10 • Matriz energética</b>	
Elétrico	(5)
Somente gás	(4)
Gás e lenha	(3)
Lenha e gás	(2)
Somente lenha	(1)
<b>ISED 11 • Destino dos resíduos sólidos</b>	
Aterro sanitário	(5)
Coletado	(4)
Enterrado	(3)
Queimado	(2)
Jogado a céu aberto	(1)

**Fonte:** Adaptado de Sousa (2016). V.I.: Valor do Indicador.

## Capítulo 03

---

### REFERENCIAL TEÓRICO

---

Este capítulo traz como pressuposto teórico os estudos integrados, baseando-se principalmente na Teoria Geossistêmica, utilizada como base teórica desta pesquisa, adotando a análise ambiental integrada como subsídio para o planejamento ambiental.

Estabelecida a teoria geossistêmica, a pesquisa perpassa ainda pelas veredas da desertificação, apontando seus marcos históricos, entraves, discussões, conceitos e aplicações. Por fim, serão abordados os conjuntos de indicadores utilizados com a concepção dos estudos integrados e desertificação como percurso para o entendimento dos processos de degradação.

#### 3.1 A Paisagem e o Geossistema como objeto de estudo

Nos dicionários, o conceito de paisagem se difunde basicamente em duas vertentes. Rocha (1996) traz dois conceitos: 1. Região que se abrange com a vista. 2. Quadro que representa uma região. Ferreira (2001), mais conhecido por “Dicionário Aurélio” também traz dois conceitos: 1. Espaço de terreno que se abrange num lance de vista. 2. Pintura, gravura ou desenho que representa uma paisagem. Cegalla (2005) basicamente reafirma os mesmos conceitos: 1. Espaço de terreno que se abrange num lance de vista. 2. Pintura, desenho ou gravura que representa espaço rural ou urbano.

Percebe-se, pois, certa semelhança nos conceitos apresentados entre os três autores citados, em que remetem a paisagem ao que abrangem a vista e à pintura, arte. Já o dicionário *online* HOUAISS (2022) além dos dois conceitos citados acima traz mais duas perspectivas sobre a paisagem: 1. Extensão de território que o olhar alcança num lance; vista, panorama. 2. Conjunto de componentes naturais ou não de um espaço externo que pode ser apreendido pelo olhar. 3. Espaço geográfico de um determinado tipo. 4. Pintura, desenho, gravura, fotografia etc. em que o tema principal é a representação de formas naturais, de lugares campestres.

De certa forma, é possível depreender que a descrição desses conceitos remete basicamente à questão do natural, como se paisagem fosse apenas um espaço de terra ainda intocável pelo homem, referindo-se também a pinturas, gravuras e fotografias de “espaços verdes”, tido como algo apenas contemplativo. Dessa forma, uma pintura do centro de São

Paulo, Fortaleza ou Natal, por exemplo, não seria considerado paisagem dentro dessas abordagens.

Entretanto, HOUAISS (2022) traz ainda nos seus múltiplos conceitos a etimologia da paisagem, que se refere à origem e evolução da palavra. Apontando os seguintes termos: “fr. *paysage* (1549) acp. de belas-artes, (1556) ‘conjunto de países’, (1573) ‘extensão de terra que a vista alcança’; ver *pais-*; f.hist. (1567) *paugagê*, 1587 *paugagens*, 1600 *pasagem*, XVI *paisagem*, 1649-1666 *passagens*, 1656 *paizagem*”.

Sobre essa assertiva, Tabacow e Silva (2015) trazem as seguintes considerações:

Nesta etimologia, a ideia de coletivo está explícita na interpretação “conjunto de países” ou ainda na atribuição de um sentido coletivo ao sufixo, com o próprio vocábulo *paisagem* [...]. Entretanto, como o termo francês “*pays*” traduz-se, alternativamente por “região”, parece interessante privilegiar esta opção, pela convergência mais direta com o sentido geográfico do espaço, do que com o político de uma nação. Teríamos, assim uma ideia de “conjunto de regiões”, que se aproxima melhor de uma conotação físico-espacial, no sentido de considerar que a paisagem tem sua expressão territorial caracterizada por um conjunto de feições não necessariamente perceptíveis por apenas um golpe de vista, ou seja, por uma visada a partir de uma posição.

De acordo com Zacharias (2010), o termo paisagem vem do latim *pagus* (país), em que, nas línguas derivadas do latim, surgiram *paisaje* (espanhol), *paysage* (francês) e *paesaggio* (italiano); das línguas germânicas a palavra *land* adjetivou o termo *landschaft* (alemão) e *landscape* (inglês) e da língua indo-europeia, com predomínio do eslavo, *land* adjetivou *landschaftskund* (russo).

A paisagem é uma das categorias de análise da ciência geográfica que contribui para a compreensão do espaço, foi e ainda é comumente associada como sinônimo de arte e natureza e bastante utilizada pela arquitetura, geologia, ecologia e biologia. Porém, foi na geografia que ganhou maior repercussão e trouxe contribuições para os estudos ambientais.

É tratada como abordagem científica em meados do século XIX, em que autores das escolas francesa e alemã afirmam que a paisagem é relevante instrumento utilizado por pesquisas geográficas, principalmente sob o prisma da Geografia Física.

A partir do século XIX, as contribuições de Alexander von Humboldt destacou que a paisagem deveria ser observada em duas escalas: a primeira seria pelos aspectos da vegetação (fisionomia dos *pays*) e a segunda era observar até que ponto o clima influenciava as condições naturais do solo e, conseqüentemente, a cobertura vegetal (Zacharias, 2010). Além disso, afirma

Braido (2015), Humboldt também incorporava aos seus estudos os aspectos antropológicos culturais, sendo essa a geografia praticada na época para estudos da paisagem.

Rodriguez e Silva (2013) por sua vez, apontam duas vertentes que sinalizaram o nascimento do conceito da paisagem: a visão de mundo naturalista (representada por Humboldt) e a Antropogeografia (representada por Ratzel) e ainda que os fundamentos filosóficos da visão naturalista estão no movimento romântico e na Filosofia da Natureza (do alemão Schelling). As escolas alemã (com Humboldt) e russo-soviética (com Lomonosov e Dokuchaev), de acordo com Augusto (2016), definiram a paisagem como um complexo integrado, formado por diferentes elementos e tiveram importantes pensadores como Passarge (1919), Troll (1950), Riábchicov (1976), Sochava (1978), dentre outros.

Esse conceito integrador, como afirmam Rodriguez e Silva (2002), trazia nova visão da Geografia Física em contradição com a visão tradicional da análise isolada dos componentes naturais e com a visão extrema do determinismo físico e ambiental, empreendido pelas concepções radicais da Geopolítica Alemã, encabeçada por Ratzel. A busca da compreensão dos fenômenos se voltava para a regularidade, estabilidade e permanência, reduzindo os processos a um pequeno número de leis imutáveis, de abordagem analítica ou reducionista; porém, a necessidade de compreender esses fenômenos, encaminhou os estudos para uma ótica mais complexa, de maneira não fragmentada, levando o entendimento do todo de forma sistêmica, mais conhecida como abordagem holística (Guerra; Marçal, 2012).

Nos anos 30 do século XX, Ludwig von Bertalanffy propôs a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), aplicando para os organismos vivos; em 1935 Arthur G. Tansley desenvolve o conceito de ecossistema, tanto para bioma quanto para habitat e em 1979, V. B. Sochava publica o livro *Introdução à Teoria dos Geossistemas*, trazendo grandes contribuições para a temática em geral. Ao introduzir o conceito de Geossistemas nos estudos da paisagem, Sochava (1977) trouxe ainda aparato teórico robusto para a Geoecologia da Paisagem, com enfoque na dinâmica, estrutura e conexões entre os elementos (Augusto, 2016).

Os estudos da paisagem influenciam, ainda na década de 1970, os estudos propostos por Tricart (1977), que propõe que nos estudos ambientais a paisagem seja analisada pelo seu comportamento dinâmico, partindo da identificação das unidades de paisagem, que denomina de unidades ecodinâmicas (Ross, 2014).

É a partir daí, como aponta Cavalcanti (2014), que surge o conceito de morfologia da paisagem como estudo da composição, forma e arranjo espacial, associado às ideias de dinâmica

e evolução; afirmando ainda que, na geografia, a paisagem vai além do estético e do perceptivo, é também fenômeno geoecológico e cultural.

Sob a perspectiva geográfica, Milton Santos (2008) definiu a paisagem como sendo do domínio do visível, aquilo que a vista abarca, o que, para Cavalcanti (2014) isso abrange uma interpretação basicamente visual e, portanto, ligada à percepção. Ab'Saber (1969; 2003), por sua vez, afirma que é a realidade do visível, herança de processos fisiográficos, biológicos e patrimônio coletivo dos povos que as herdaram.

Para Bertrand (2004), a paisagem é resultado da combinação dinâmica, (logo, instável) dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, sempre evoluindo. Corroborando essa ideia, Bonfim e Lima (2020) afirmam que para compreensão de seu funcionamento é necessário estudar estes elementos e suas conexões.

Diniz *et al* (2017) afirmam que as bases para compreensão da unidade de paisagem envolvem dois entendimentos: o primeiro trata a unidade de paisagem como divisões de um espectro taxonômico passível de mapeamento e dimensionamento, citando o sistema taxonômico universal de Bertrand (1972), que permite classificar as paisagens na dupla perspectiva do espaço e do tempo; e o segundo são as discussões o arcabouço teórico que respalda essas delimitações, o Geossistema, apontado por Sochava (1977), e aceito posteriormente por Bertrand como uma categoria de análise, e não um nível taxonômico, como tratado por esse último.

Bertrand (2004), por sua vez classifica seis unidades de paisagem: Zona, Domínio, Região Natural (consideradas superiores), Geossistema, Geofácies e Geótopo (consideradas inferiores), dando maior ênfase ao geossistema, pois afirmava que era nessa unidade que ocorria a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos das paisagens. Afirma ainda que é no geossistema que estão presentes os dados mais relativamente estáveis: fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos.

Dentro da pluralidade dos conceitos de paisagens, bem como de sua aplicação, considerar-se-á nessa pesquisa a unidade de geossistema para estudo holístico e integrador dos sistemas geoambientais.

Além disso, para homogeneização e classificação das unidades de paisagens aqui propostas, é necessário perpassar pela Ecodinâmica de Tricart (1977), isso porque, é a partir dessa metodologia que se pretende articular quanto a estabilidade ou instabilidade dos ambientes da região central do Rio Grande do Norte.

Essa Ecodinâmica, tratada por Tricart como unidades ecodinâmicas é, segundo o autor, integrado ao conceito de ecossistema e enfoca as relações mútuas entre os componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria (Tricart, 1977).

Para tanto, o autor aponta para três divisões quanto a classificação dos sistemas: meios estáveis, meios instáveis e os meios *intergrades*. Para os meios estáveis, tem-se que a noção de estabilidade é aplicada ao modelado que evolui lentamente, pouco perceptível; para os meios instáveis, a morfogênese é o elemento predominante, havendo assim processos erosivos e formadores de relevo mais presentes, quando for o caso; e os meios *intergrades* assumem a passagem gradual entre os meios instáveis e estáveis (Tricart, 1977).

A partir dessa perspectiva, é possível encontrar na literatura diversas pesquisas que abordam as classificações de sistemas de Tricart. Ao fazer uma aproximação para estudos nos sertões nordestinos, encontram-se pesquisas como Costa e Pinto (2024), Santiago, Silva e Soares (2023), Santos, Cavalcanti e Corrêa (2022), Albuquerque e Sousa (2019), Freitas (2024), Santos (2024), Gama *et al.* (2024) entre outros. Para o território potiguar, cita-se Araújo, Grigio e Pereira Neto (2024), Peixôto, Pereira Neto e Guedes (2021), Peixôto, Araújo e Pereira Neto (2023), Pereira Neto (2016) e Pereira Neto e Fernandes (2015), com trabalhos que vão desde o Seridó à região central, recorte desta pesquisa.

Assim, ao considerar a paisagem pela visão integradora da Geografia, é fundamental compreendê-la não apenas como a soma de elementos, mas como a expressão visível de sistemas ambientais articulados. Esses sistemas, por sua vez, se organizam em diferentes níveis de complexidade, possibilitando a identificação de subsistemas que interagem de maneira dinâmica e interdependente. Dessa forma, a paisagem pode ser entendida como uma manifestação concreta da estrutura e do funcionamento dos sistemas e subsistemas ambientais, evidenciando sua natureza relacional e processual. Essa perspectiva, ao aproximar os conceitos de paisagem e geossistema, permite uma análise holística, adequada ao estudo das dinâmicas ambientais que foi desenvolvida nesta pesquisa.

### **3.2 Desertificação: histórico e trajetórias**

É importante compreender, ao tratar da desertificação, que há autores que trazem suas contribuições teórico-metodológico, bem como as diversas instituições e governos com seus projetos específicos para cada caso de degradação das terras secas. Com isso, tem-se a seguir

uma explanação desses conceitos, os principais autores, suas principais abordagens e entraves dentro da perspectiva do fenômeno da desertificação.

Historicamente, a desertificação desponta como grave problema ambiental em meados da década de 1960, quando avança pela população africana especialmente na região semiárida, ao sul do deserto do Sahara, conhecida como Sahel, em que a situação se caracterizava pela pobreza, fome e destruição de recursos naturais vitais (principalmente água, vegetação e solo) (Brasil, [201-]).

As pesquisas relacionadas à desertificação foram relacionadas à Ecologia, ganhando caráter interdisciplinar, sobretudo quando chamaram a atenção dos geógrafos durante a ocorrência da Conferência sobre o Meio Ambiente, em 1972 (onde foi instituído o dia 5 de junho como dia mundial do meio ambiente). Mas foi em 1977 que a Conferência Mundial sobre Desertificação, em Nairobi, no Quênia, reuniu os grandes líderes mundiais para discutirem sobre a problemática.

A partir daí, outras conferências internacionais foram realizadas, como a ECO-92 (também conhecida como Rio 92) que trouxe a Agenda 21 com um dos principais resultados; a Conferência Rio +10 com a consolidação do termo “desenvolvimento sustentável” e também a Rio +20 com o documento *O futuro que nós queremos* como principal resultado da Conferência.

Daí em diante, os países passam a ter mais autonomia para realizar estudos e projetos específicos para suas áreas degradadas, afim de buscar a mitigação e frear o avanço da desertificação nas áreas mais afetadas. Para tanto, foi preciso buscar um conceito para que se possa compreender esse fenômeno e agir diretamente nas causas.

É então onde se concentra grande parte do entrave relacionado à desertificação: a sua pluralidade de conceitos ao longo do globo. Isso porque, entre outras coisas, há similaridades entre os conceitos de seca e deserto, que muitas vezes são considerados como sinônimos e não o são. Pretende-se, portanto, distinguir tais conceitos e caracterizá-los de acordo com as suas particularidades.

Verdum *et al.* (2001) alertam ainda para cinco fases importantes durante a história da desertificação. A primeira diz respeito à *fase da conscientização*: situada na década de 40, indica a deterioração do solo e da vegetação causada pelas atividades humanas como causa principal do processo; aponta Aubreville como o precursor dessa conscientização para identificar o surgimento de “verdadeiros desertos” nas ex-colônias europeias no norte da África. A segunda, caracterizada como *fase da percepção exagerada sobre o processo* ocorre, ainda de acordo com os autores, no decorrer da década de 70 e aponta a necessidade da elaboração de

um conceito único aceito internacionalmente e da espacialização do fenômeno na escala mundial, tendo como base os produtos do sensoriamento remoto e os dados climáticos. A terceira fase, indicada como a *dúvida sobre o processo*, situada ao final da década de 80, aponta problemas quanto à caracterização da desertificação, dúvidas são recorrentes quanto à extensão do processo, causas e soluções, irreversibilidade ou não da desertificação e a dinâmica complexa das areias associadas aos centros irradiadores com concentração populacional. A quarta fase é o *mito do crescimento do deserto*, que consiste no mito de considerar que os desertos estariam aumentando. Por fim, a quinta fase indicada pelos autores é o *novo realismo sobre a desertificação* e destaca-se o pouco conhecimento em relação à dinâmica climática capaz de elucidar as crises pluviométricas e conseqüentemente hidrológicas desses ambientes (Verdum *et al.*, 2001)

As Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas (UNCCD, [201-]) afirma que a desertificação é a degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, um processo gradual de perda de produtividade do solo e afinamento da cobertura vegetativa devido às atividades humanas e às variações climáticas, como secas e inundações prolongadas.

A nível nacional, o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil) define a desertificação como a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas; resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas, essa última relacionada principalmente ao uso inadequado de recursos naturais como solo, água e vegetação (Brasil, 2005).

Além do PAN-Brasil, a Política Nacional de Combate à Desertificação (PNCD), instituída pela Lei nº 13.153/2015, caracteriza a desertificação como a degradação da terra, nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores e vetores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (Brasil, 2015).

Ademais, diversos autores também trazem conceitos distintos. No Brasil, representando o Nordeste, despontou-se o professor Vasconcelos Sobrinho (s/d) como pioneiro nos estudos sobre desertificação no país, o qual afirmou que a desertificação é um fenômeno em processamento que pode resultar ou não em deserto. Cita também mais uma diferença entre o termo desertificação e desertização, em que o primeiro deve ser utilizado quando se trata de um fenômeno originado pelos efeitos de causas naturais, e esse último quando induzida pela ação do homem.

Além disso, no ano que se realizava a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação em Nairobi, o geógrafo Aziz Ab'Saber (1977) publicou a obra intitulada "Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical" em que a define como processos parciais de desertificação todos aqueles fatos pontuais ou areolares suficientemente radicais para criar degradações irreversíveis da paisagem e dos tecidos ecológicos naturais.

Drew (2005) afirma que desertificação é um vocábulo de significado amplo, que inclui várias alterações climáticas, ecológicas e geomorfológicas, que diminui a produtividade biológica de uma área, tornando-a inaproveitável para a agricultura.

Matallo Júnior (2009), por sua vez, indica que desertificação é o resultado do manejo inadequado dos recursos naturais nas zonas áridas. Além disso, pontuou cinco problemas sobre o fenômeno: falta de “clareza empírica” na diferenciação entre desertificação e seca, falta de uma metodologia de avaliação econômica, sua amplitude conceitual, ausência de métodos de estudo universalmente aceitos e ausência de métodos confiáveis para a identificação dos processos de desertificação (Matallo Junior, 2001).

O termo desertificação, de acordo com Oliveira (2011) significa a expressão geral dos processos biofísicos, naturais e induzidos, assim como sociais e econômicos que rompem o equilíbrio ecológico das terras secas.

Entre as ações humanas que desencadeiam o processo estão:

- o cultivo inadequado em solos frágeis e expostos a fenômenos de erosão hídrica e eólica;
- a redução do intervalo de tempo entre o cultivo de uma cultura e outra e a falta de adubação do solo, fertilizantes orgânicos e minerais. A prática da monocultura;
- o desmatamento para pasto ou a extração excessiva da madeira, em particular da lenha;
- o uso descontrolado do fogo para pretensa regeneração dos pastos;
- a ação do gado que consome os brotos das plantas;
- as técnicas de cultivo que destroem a estrutura do solo e em particular o uso de máquinas agrícolas pouco adequadas;
- o desvio do curso de rios para levantar diques;
- o uso desordenado de pesticidas que corroem o solo e contaminam os lençóis freáticos etc. (UNESCO, [201-])

A pesquisa realizada por Sales (2003) evidencia, pois, divergências metodológicas principalmente com relação à escala, além disso, a autora compila e organiza um quadro, mostrado no Quadro 2 a seguir, com a síntese dos principais estudos sobre desertificação para o nordeste brasileiro.

**Quadro 2 - Síntese dos Principais Estudos sobre Desertificação para o Nordeste do Brasil**

AUTOR/ANO	TÍTULO	ESCALA DE ABRANGÊNCIA	METODOLOGIA	RESULTADOS
VASCONCELOS SOBRINHO (DÉCADA DE 70)	Entre outros, "O Deserto Brasileiro"	Regional/Nordeste	Bio-Indicadores, variação dos elementos do clima e condições sócio-econômicas [sic]	Identificou "Núcleos de Desertificação"
AZIZ AB'SABER (1977)	"Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical"	Escala Nacional	Base Conceitual Relacionada Aos Geossistemas	Identificou 9 (nove) Geótopos Áridos
EDMON NIMER (1980)	"Zoneamento Sistemático de Áreas mais predispostas à Desertificação"	Escala Nacional	Caracterização climática através do regime pluviométrico, duração da estação biologicamente seca e variabilidade pluviométrica ano a ano	Demarcou as áreas de clima sub-úmidos [sic] e semi-áridos [sic] no Brasil
VALDEMAR RODRIGUES (1992), REVISADO POR FERREIRA (1994)	"A Desertificação no Nordeste do Brasil: Diagnóstico e Perspectiva"	Escala Regional	Índice de Aridez da UNEP e indicadores sócio-econômicos [sic]	Carta da susceptibilidade à desertificação e mapa de ocorrência da desertificação no Nordeste do Brasil
JOSÉ BUENO CONTI (1995)	"Desertificação nos Trópicos – Proposta Metodológica de Estudo Aplicada ao Nordeste Brasileiro"	Escala Regional: Semi-Árido [sic] delimitado pela isoieta de 800 mm/ano.	Análise de séries temporais da Pluviosidade, Variabilidade Interanual e Ciclicidades	237 postos analisados: 118 com tendência linear crescente, 85 com tendência linear estável e 34 com tendência linear decrescente

**Fonte:** adaptado de Sales (2003) e Peixôto (2020)

A desertificação no Brasil está em níveis tão elevados que em dezembro de 2021 foi notícia no sítio oficial do *The New York Times* (2021), trazendo dados, fatos e história sobre a região do Seridó, no Rio Grande do Norte. Além disso, cabe ressaltar que esta foi a Década Mundial de Combate à Desertificação - 2010 a 2020 e que seus efeitos, principalmente no Nordeste brasileiro, vêm impactando forte e negativamente a vida do sertanejo.

O solo, sendo uma das variáveis aflagidas no processo de desertificação e que mais afeta a vida dos interioranos que dele dependem para sobreviver, impacta diretamente o potencial

produtivo de uma área, colabora indiretamente na erosão, mudanças físicas e químicas de seus constituintes, salinização, compactação, entre outros (Leal *et al.*, 2020; Teixeira, 2018).

Além disso, locais de maior declive, solos rasos, de textura mais argilosa e baixa fertilidade são mais susceptíveis à desertificação por possuírem baixa capacidade de retenção de água e deficiência em matéria orgânica e nutrientes, denotando grande perda de potencial produtivo (Leal *et al.*, 2020) enquanto que os locais planos, profundos, arenosos e de alta fertilidade são menos susceptíveis à erosão (Sampaio *et al.*, 2005).

### **3.2.1 Distribuição geográfica das áreas desertificadas**

Nas palavras de Alencar (2021), a desertificação não é uma ameaça menor para a humanidade que o aquecimento global ou a perda da biodiversidade e negligenciar essa pauta é ignorar 40% de toda área terrestre do planeta e a vida de quase duas bilhões de pessoas.

Decerto, há muito que se discutir quanto ao fenômeno da desertificação em níveis globais, principalmente por atingir mais fortemente os chamados “países do Sul”, ou seja, além de haver poucos recursos para sua prevenção, há poucos recursos para a sobrevivência propriamente dita dessas populações.

O continente africano segue sendo um dos territórios que mais sofrem com os danos causados pela desertificação. Além disso, outros países também buscam comprometimento das políticas públicas e conferências mundiais, juntamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nos quais a desertificação encontra-se ancorada no Objetivo 15, referente à Vida Terrestre. Mais especificamente, encontra-se no subtópico 15.3, que diz que:

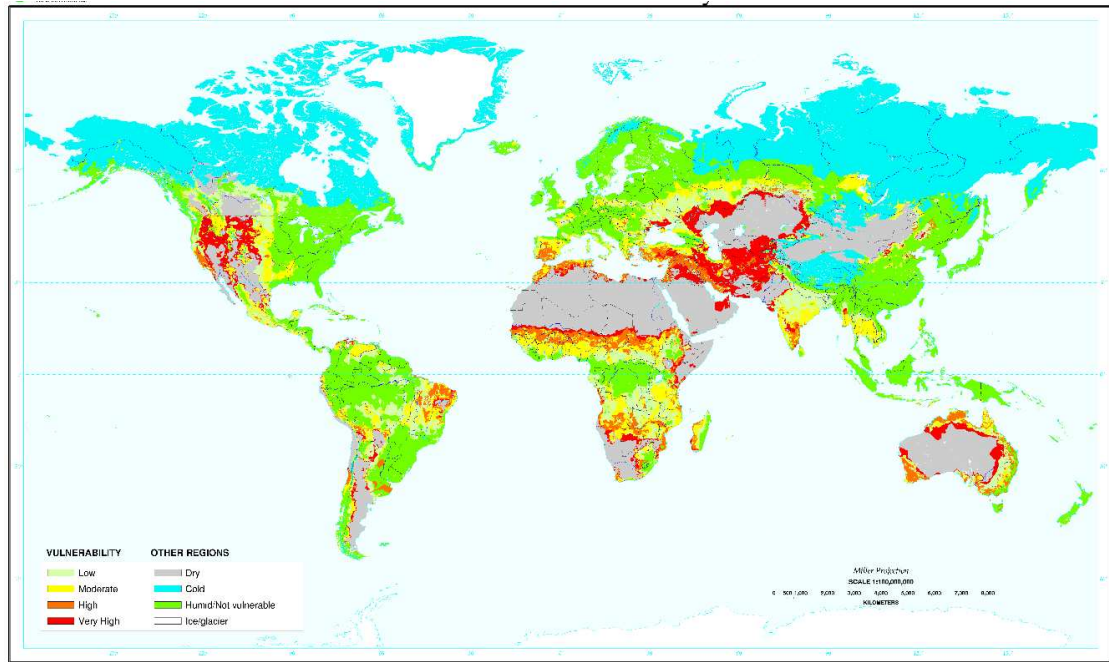
**15.3** Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo (ONU, [201-]).

Em nível global, o Índice de Aridez (IA) serviu como base para a concepção do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA (Abreu, 2018). Tal índice será abordado mais adiante nessa pesquisa.

Na Figura 2, tem-se a vulnerabilidade global para a desertificação. É possível observar nas áreas em vermelho as localidades mais vulneráveis ao fenômeno: parte do Estados Unidos e México, Nordeste do Brasil, países africanos na faixa do Sahel, países europeus e asiáticos, como a China, e até mesmo parte da Austrália.

Isso quer dizer que mesmo nos países tidos como “desenvolvidos” há presença de desertificação, ou pelo menos áreas bastante degradadas, o que muito embora não exclui a possibilidade de não haver maior precaução e prevenção por parte desses.

**Figura 2 - Mapa Global da Vulnerabilidade à Desertificação**



**Fonte:** Adaptado de Dourado (2017) e Abreu (2018)

Para o Brasil, de acordo com o PAN-Brasil (2005), a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE iniciou juntamente com o prof. Vasconcelos Sobrinho em 1977, o estudo das áreas em processo de desertificação que visava identificar as áreas mais atingidas e selecionar as mais críticas como áreas piloto para mapeamento, em que foram selecionadas seis áreas piloto que estão dispostas no Quadro 3.

**Quadro 3: Áreas piloto destacadas por Vasconcelos Sobrinho e SUDENE**

Áreas Piloto selecionadas	Estados	Regiões Naturais e/ou microrregiões homogêneas	Municípios
1	Piauí	Caatinga e Cerrado	Gilbués, Simplício Mendes, Cristino Castro, Riberio Gonçalves, Correntes, Bom Jesus e município vizinhos
2	Ceará	Inhamuns	Tauá, Arneiroz, Mombaça, Aiuaba, Catarina, Saboeiro, Irauçuba e municípios vizinhos
3	Rio Grande do Norte	Seridó	Currais Novos, Acari, Parelhas, Equador, Carnaúba dos Dantas, Caicó e Jardim do Seridó
4	Paraíba	Cariris Velhos	Juazeirinho, São João do Cariri, Serra Branca, Cabaceiras e Camalaú

5	Pernambuco	Sertão Central	Salgueiro, Parnamirim, Cabrobó, Itacuruba, Belém do São Francisco, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e municípios vizinhos
6	Bahia	Sertão do São Francisco	Uauá, Macururé, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá Gloria, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos

**Fonte:** Adaptado de Brasil (2005)

Esses estudos trouxeram contribuições significativas para as áreas submetidas aos processos de desertificação, onde destaca-se o Projeto BRA 93/036 – Preparação para o Plano Nacional de Combate à Desertificação – PNCD, no qual a partir desse foi constatado que a causa principal para a intensa degradação dessas áreas foi a substituição da caatinga pela agricultura e pecuária, bem como pela mineração (Gilbués), extração de argila de solos aluviais (Seridó) e retirada de madeira para lenha, sendo caracterizadas como de alto risco à desertificação e ficaram conhecidas como núcleos desertificados, a saber: Gilbués, Irauçuba, Seridó e Cabrobó (Brasil, 2005).

Ao longo dos anos, têm ocorrido frequentes atualizações e aprimoramentos nas bases e critérios empregados para a inclusão ou exclusão de municípios. Essas modificações são evidenciadas pelas variações nos números anuais e nos documentos emitidos ao longo do tempo. Importa sublinhar, entre as diversas alterações, a relevante revisão da Delimitação do Semiárido promovida pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em 2021. Neste processo, alguns municípios foram tanto incorporados quanto excluídos, conforme os critérios definidos na época. Segundo a Resolução nº 150, datada de 13 de dezembro de 2021, a delimitação do Semiárido foi baseada em critérios técnicos e científicos específicos, a saber:

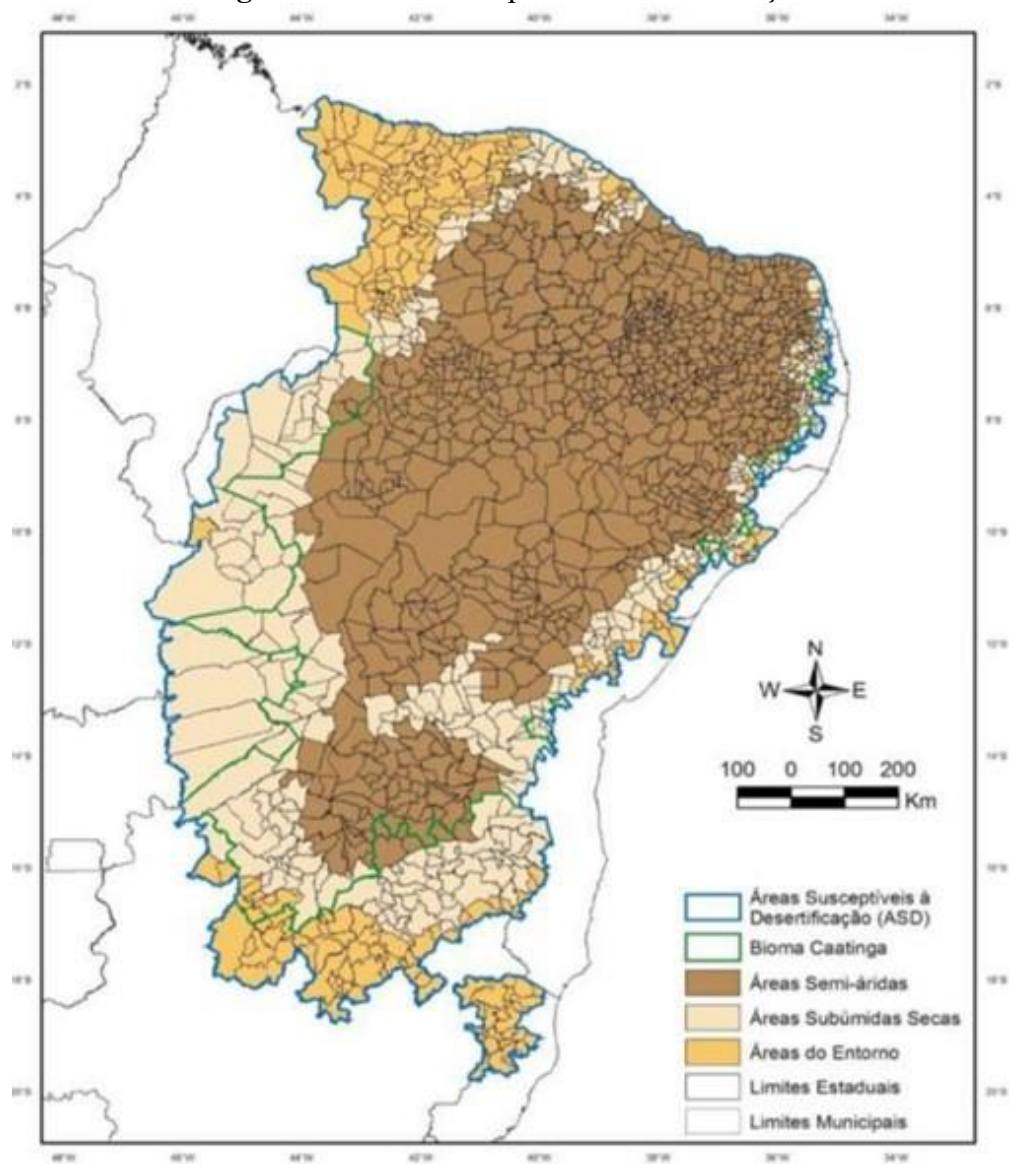
- a) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm (oitocentos milímetros);
- b) Índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50 (cinco décimos de inteiro); e
- c) percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% (sessenta inteiros por cento) considerando todos os dias do ano (Brasil, 2021).

Os ambientes semiáridos e subúmidos secos, situados na região nordeste, bem como no norte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, foram designados como Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) pelo PAN-Brasil (MMA, 2004). Adicionalmente, dentro dessas ASDs, foram estabelecidas quatro categorias distintas: I) núcleos de desertificação: áreas caracterizadas por solos superficiais, majoritariamente expostos a afloramentos rochosos, incapazes de reter água; II) áreas semiáridas e subúmidas secas: espaços impactados ou em risco de sofrer processos de desertificação; III) áreas de entorno: locais igualmente susceptíveis

a enfrentar processos de desertificação análogos e; IV) novas áreas propensas a desertificação (Brasil, 2005).

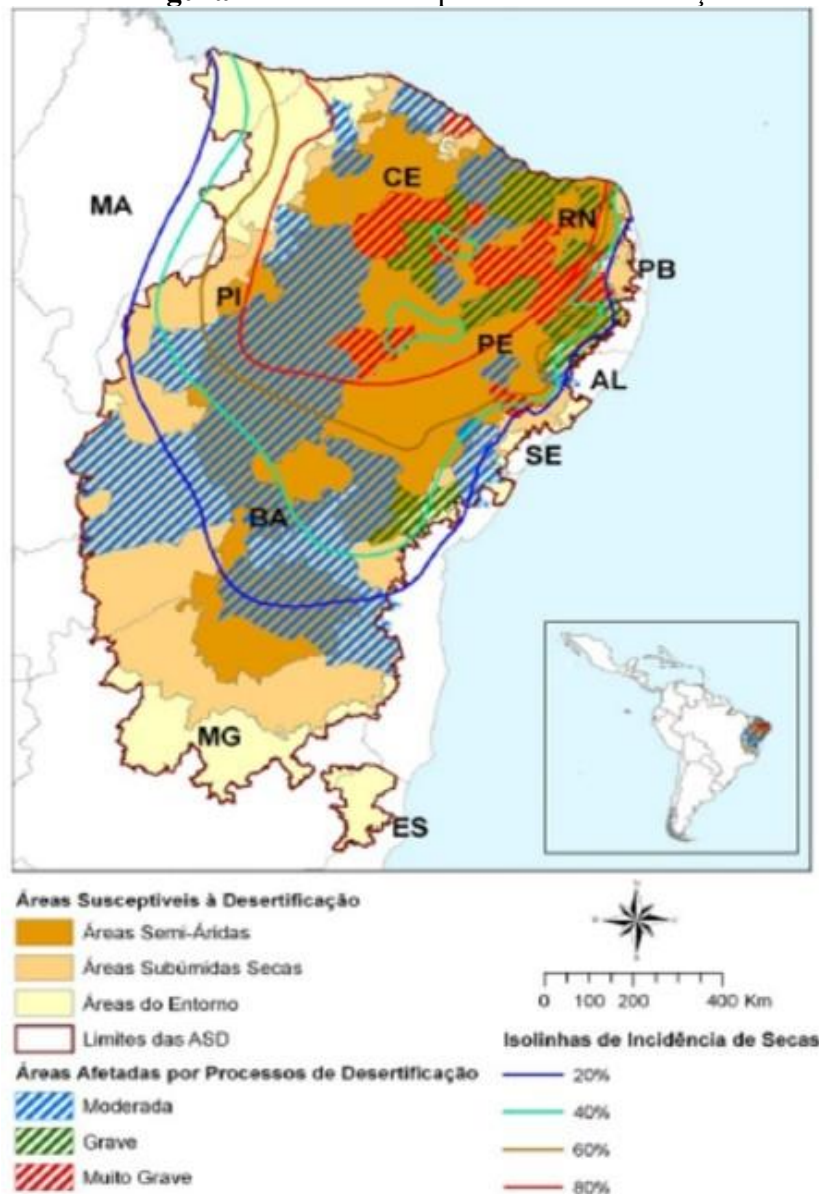
Essa categorização fundamentou os mapeamentos de Áreas Susceptíveis à Desertificação ilustrados nas Figuras 3 e 4. A Figura 3 ilustra a espacialização definida pelo PAN-Brasil (MMA, 2004), enquanto a Figura 4 representa o mapeamento realizado pelo Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul (OEA, 2006).

**Figura 3 - Áreas Susceptíveis à Desertificação**



**Fonte:** PAN-Brasil (MMA, 2004)

**Figura 4 - Áreas Susceptíveis à Desertificação**



**Fonte:** Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul (OEA, 2006) e Roxo e Neves (2010)

Adotou-se por convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação os termos “árido, semiárido e subúmido seco” para caracterizar as áreas que são propensas à degradação pela desertificação. No Brasil, este também é um critério adotado pelo PAN-Brasil (MMA, 2004), entretanto, o próprio documento afirma que os espaços considerados áridos no Nordeste são territorialmente exíguos e a partir disso, trabalha-se apenas com as categorias de áreas semiáridas e subúmidas secas, como observado na Figura 3.

Dessa forma, observa-se a divisão adotada pelo PAN-Brasil como áreas semiáridas, áreas subúmidas secas e também áreas de entorno, que ficam em sua maioria em torno das

áreas subúmidas secas.

A partir da Figura 4 é possível constatar que há mais delimitações nas áreas espacializadas, e também há a inserção de novas áreas, principalmente entre os estados da Bahia e Piauí. Além disso, nessa mesma figura, tem-se uma delimitação mais precisa dos graus de susceptibilidade, sendo eles o Moderado (azul), o Grave (verde) e o Muito Grave (vermelho), além das isolinhas com a porcentagem de incidência de secas por toda a região Nordeste, estando a maior incidência (com 80%) espacializada entre os estados da Bahia, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

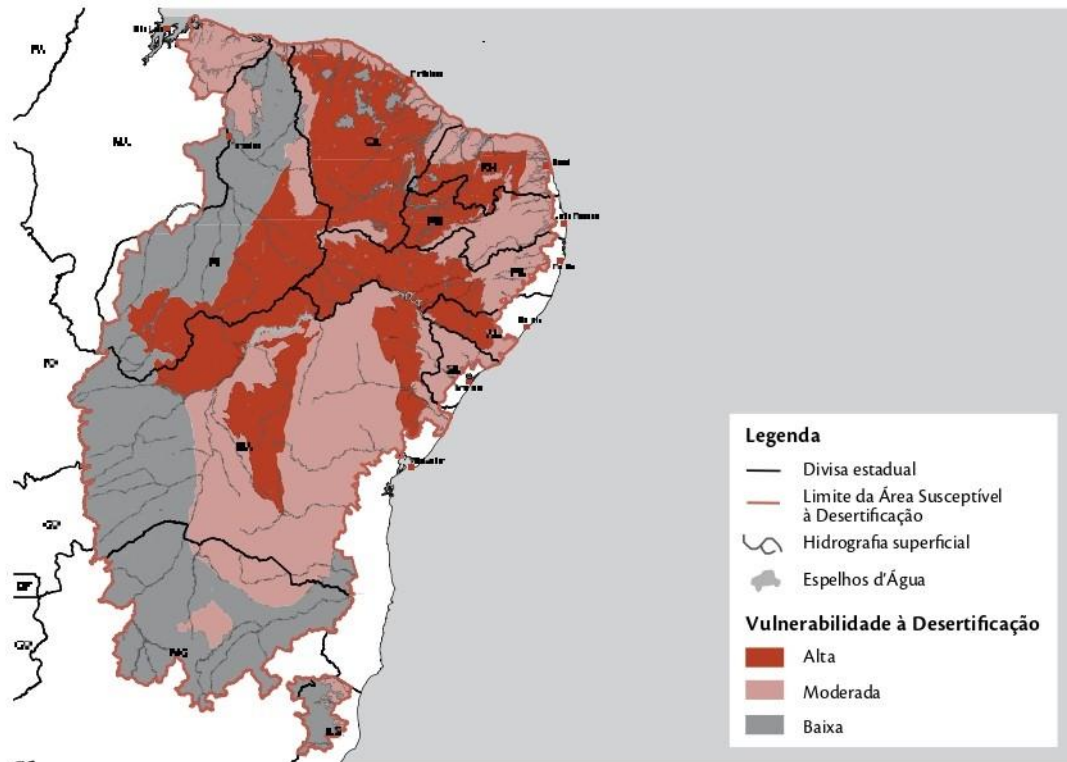
Outros mapeamentos importantes foram realizados não somente trazendo a questão da vulnerabilidade como também a inserção nas áreas semiáridas e subúmidas secas (onde ocorrem primordialmente o fenômeno), áreas afetadas em processo de desertificação e áreas fortemente degradadas que serão discutidas a seguir.

Um novo mapeamento foi realizado e publicado no ano de 2016 a nível de nordeste/sudeste pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), atualizando os dados geoespaciais que já se tinha conhecimento, como é possível analisar na Figura 5, que utiliza como nomenclatura o termo “vulnerabilidade” e indica onde se encontram as manchas vulneráveis à desertificação na área atingida na região nordeste e parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Foram delimitados três tipos de vulnerabilidades: Alta (vermelho), Moderada (Rosa) e Baixa (Cinza). Observa-se que as manchas em tons de cinza predominam nos estados do Piauí, Minas Gerais e Espírito Santo, além de se encontrar presente em menor área nos estados do Maranhão, Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

As áreas em vermelho no mapa se caracterizam como sendo de alta vulnerabilidade à desertificação, entre os quais destacam-se os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, e partes da Bahia. De acordo com o CGEE (2016), mais de 70,5 mil km<sup>2</sup> dessas regiões atingiram um estado de degradação em que a produção agrícola se torna inviável. Além disso, a produtividade dos recursos naturais nessas áreas é extremamente baixa, impactando negativamente a capacidade de sustento de vidas humana e animal.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) adverte ainda que o cenário de degradação dessas terras está se agravando devido à erosão acelerada. Esse processo é intensificado em climas áridos ou semiáridos, facilitando a desertificação, sobretudo no semiárido nordestino, no Cerrado do Tocantins, e no norte de Mato Grosso e Minas Gerais.

**Figura 5 - Vulnerabilidade ambiental envolvendo a Área Suscetível à Desertificação no Brasil**



**Fonte:** CGEE, 2016.

Sabendo que ao longo dos anos são realizados aperfeiçoamentos e atualizações das bases e critérios utilizados para inserção ou exclusão dos municípios, cabe ressaltar aqui que além disso ter sido realizado (e a maior evidência é a diferença dos números ao longo dos anos e dos documentos), é importante frisar, entre outras atualizações, a nova Delimitação do Semiárido realizada pela SUDENE, no ano de 2021. A última atualização fora realizada em 2017 e após 4 anos, foram inseridos e também excluídos alguns municípios de acordo com os critérios estabelecidos.

De acordo com a Resolução nº 150, de 13 de dezembro de 2021, os critérios técnicos e científicos adotados na nova delimitação do Semiárido foram:

- precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm (oitocentos milímetros);
- Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 (cinco décimos de inteiro); e
- percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% (sessenta inteiros por cento) considerando todos os dias do ano (Brasil, 2021).

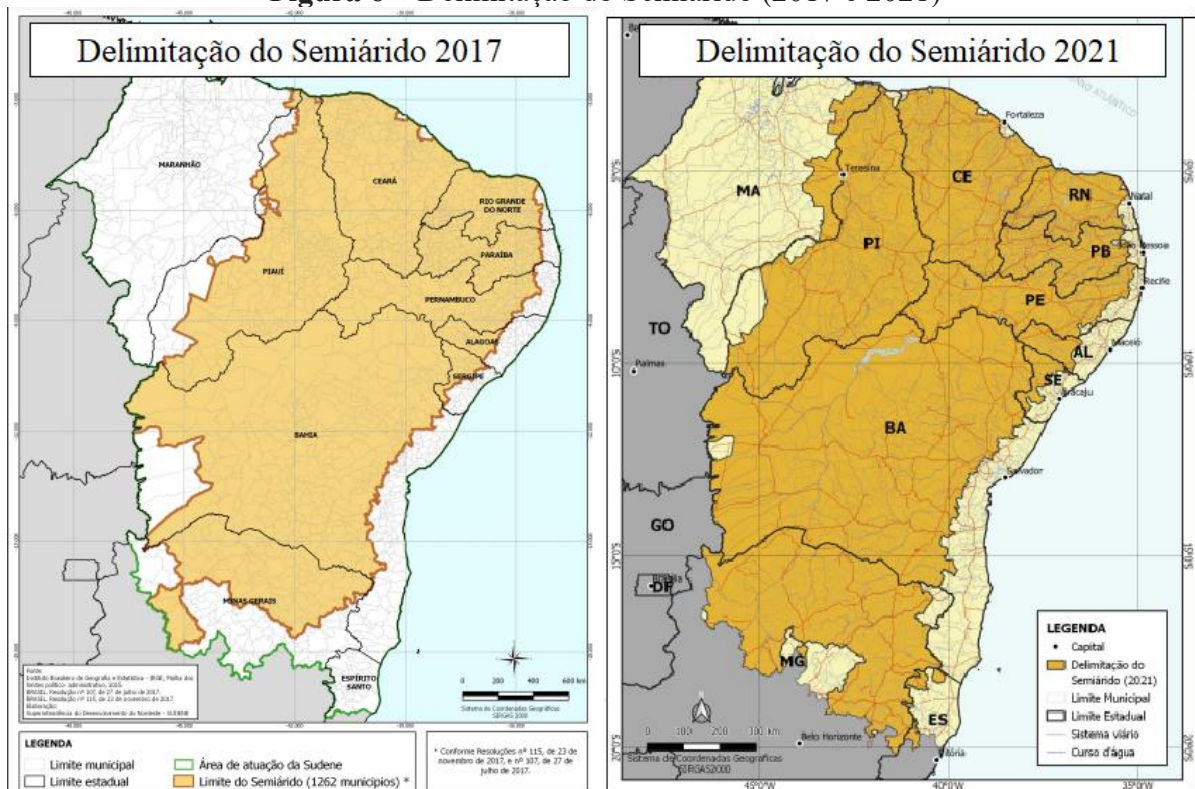
O Índice de Aridez (IA), por sua vez, proposto por Thornthwaite (1941) com valores que variam de  $>0,65$  a  $<0,05$  pode ser consultado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Índice de Aridez (IA)**

Clima	Índice
Subúmido e úmido	>0,65
Subúmido seco	0,51 e 0,65
Semiárido	0,21 e 0,50
Árido	0,05 e 0,20
Hiperárido	<0,05

Fonte: Thornthwaite (1941)

A partir desses parâmetros, foi espacializado a nova delimitação do semiárido, como pode ser observado e comparado com a delimitação anterior (2017), a seguir na Figura 6.

**Figura 6 – Delimitação do Semiárido (2017 e 2021)**

Fonte: adaptado de SUDENE (2021)

Ainda de acordo com os dados disponibilizados pela Superintendência, 1.212 municípios já integravam a delimitação de 2017 e 215 municípios foram adicionados em 2021. Com relação a isso, tem-se a Tabela 4, em que demonstra a comparação do quantitativo de municípios com a nova delimitação.

**Tabela 4** - Variação da quantidade de municípios entre as delimitações do Semiárido de 2017 e 2021

UF	Semiárido 2017	Semiárido 2021			Total
		Já constavam 2017	Inseridos	Excluídos	
AL	38	34	4	4	38
BA	278	274	9	4	283
CE	175	171	0	4	171
ES	0	0	6	0	6
MA	2	2	14	0	16
MG	91	83	126	8	209
PB	194	184	4	10	188
PB	123	118	19	5	137
PI	185	184	31	1	215
RN	147	140	1	7	141
SE	29	22	1	7	23
<b>Total</b>	<b>1.262</b>	<b>1.212</b>	<b>215</b>	<b>50</b>	<b>1.427</b>

Fonte: adaptado de SUDENE (2021)

A partir da tabela observa-se que foram excluídos 50 municípios na nova delimitação, ocorrido pois nenhum deles atingiu os critérios técnicos estabelecidos para 2021, de acordo com a Superintendência. Por fim, tem-se a espacialização dos municípios excluídos na Figura 7.

Ressalta-se a importância desse adendo, dentro da pesquisa, uma vez que a exclusão desses municípios da nova delimitação pode afetar diretamente os incentivos disponibilizados pelo Governo Federal, suas políticas públicas e fomentação. Dentre outras políticas acessíveis aos municípios, como cita Madeiro (2022), tem-se vantagens em programas como o Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FNDE) também administrado pela SUDENE e que é maior em áreas consideradas prioritárias (semiárido), a construção de cisternas e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF Semiárido) que financia projetos de infraestrutura hídrica e implementação de infraestrutura; e a possibilidade de exclusão desses recursos podem piorar a situação dos municípios afetados.

Figura 7 – Municípios excluídos da Delimitação 2021



Fonte: adaptado de SUDENE (2021)

### 3.2.2 O Rio Grande do Norte<sup>2</sup>

Conforme dados do CGEE (2016), o Rio Grande do Norte conta com 159 dos seus 167 municípios inclusos em Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASDs). O nível de degradação é particularmente intenso no Núcleo de Desertificação do Seridó, reconhecido desde a década de 1960 por Vasconcelos Sobrinho.

As condições geoambientais e de ecodinâmica dessa área e sua relação com o fenômeno da desertificação tem sido mais recentemente estudadas por Pereira Neto (2013, 2016), Pereira Neto e Silva (2012) e Pereira Neto, Fernandes e Sales (2023). Este núcleo de desertificação está localizado no centro do Polígono das Secas (Brasil, 2005; SEMARH, 2010; CGEE, 2016).

O estado potiguar possui clima Semiárido Tropical, com temperaturas variando entre 20°C e 28°C, a precipitação anual média no estado oscila entre 250 mm e 1000 mm com maior concentração nos meses de março a maio (Bezerra *et al.*, 2011). Adicionalmente, Diniz e Pereira (2015) indicam que o estado apresenta dois tipos climáticos principais, com diversas variedades e subdomínios climáticos, como demonstrado no Quadro 4.

**Quadro 4 – Distribuição climática do Rio Grande do Norte**

<b>Tipo</b>	<b>Variedades Climáticas</b>	<b>Subdomínios Climáticos</b>
Tropical do Nordeste Oriental	De 3 meses secos	Úmido
	De 4 a 5 meses secos	Semiúmido (Subúmido)
	Brando de 6 meses secos	Semiárido
	Mediano de 7 a 8 meses secos	
Tropical de Zona Equatorial	Brando de 6 meses secos	Semiárido
	Mediano de 7 a 8 meses secos	
	Forte de 9 a 10 meses secos	

**Fonte:** Adaptado de Diniz e Pereira (2015)

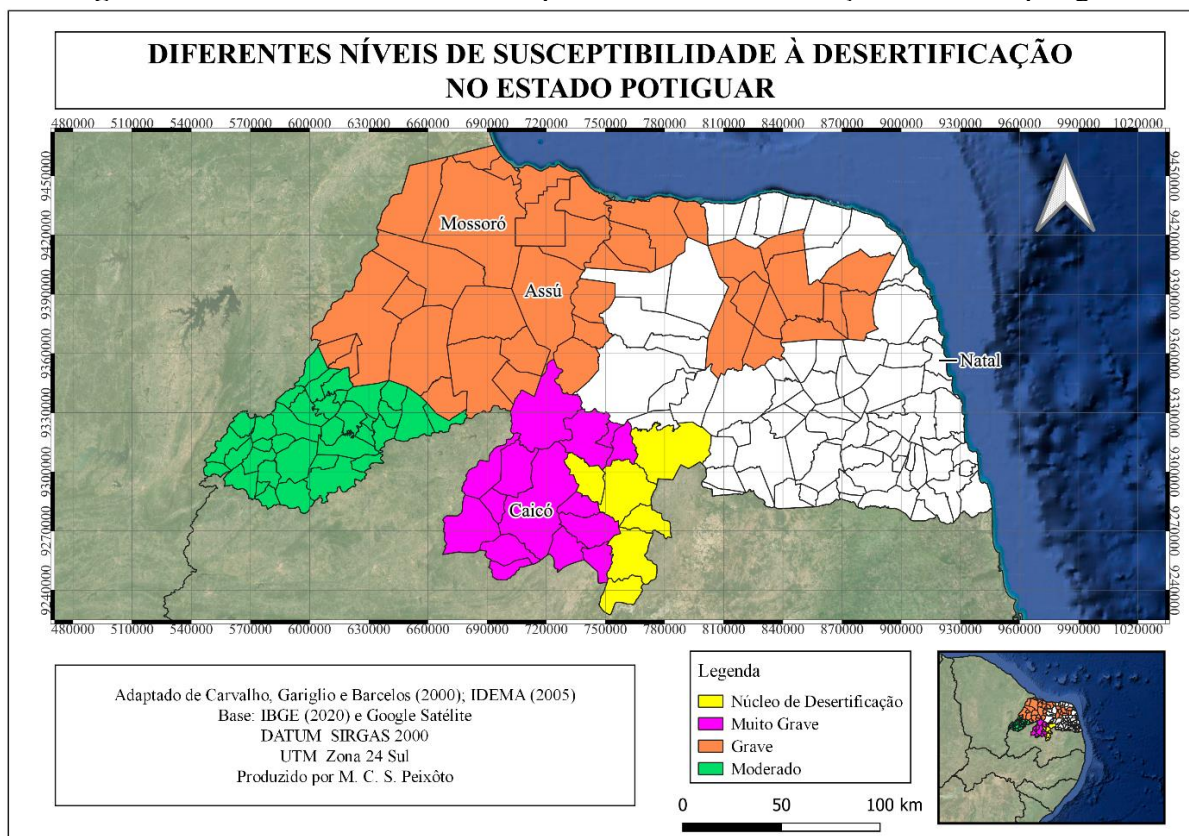
O semiárido potiguar é cenário de uma ampla gama de atividades econômicas. Estas vão desde a mineração de caulim, passando por olarias, fruticultura e indústria têxtil, até a carcinicultura e extração de sal. Ademais, a produção de tijolos e telhas na região mantém uma conexão intrínseca com o desmatamento local, fenômeno este que ocorre em uma área atualmente em processo de desertificação (MZPAS, 2018). O CGEE (2016) destaca ainda que

<sup>2</sup> Um artigo sobre esse tópico foi publicado na Revista Brasileira de Geografia Física, disponível no link: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/263635>

o Rio Grande do Norte é palco de exploração de diversos recursos minerais, incluindo metais preciosos, materiais cerâmicos, insumos para construção, além da extração de areia, argila, calcário dolomítico, diatomita, água mineral e ouro.

No contexto de estudos desenvolvidos sobre o território potiguar, destaca-se a pesquisa de Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000), intitulada “Caracterização das áreas de ocorrência de desertificação no Rio Grande do Norte”. Este trabalho, que provavelmente teve início em meados dos anos 1990 (IDEMA, 2005), constitui uma referência importante e é frequentemente consultado por pesquisadores interessados em compreender historicamente o processo de desertificação na região. Como base, o estudo utilizou o Plano Nacional de Combate à Desertificação (PNCD) (Figura 8), que categoriza em quatro níveis a susceptibilidade à desertificação no Rio Grande do Norte.

**Figura 8** - Diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação no estado potiguar



**Fonte:** Adaptado de Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000); IDEMA (2005)

A Figura 8 ilustra, no que tange à extensão territorial, que a maior incidência de processos de desertificação no Rio Grande do Norte é evidenciada nas áreas destacadas na cor laranja. Estas áreas compreendem as antigas microrregiões de Baixa Verde, Médio

Oeste, Chapada do Apodi, Mossoró, bem como partes das microrregiões do Vale do Açu e Angicos. As zonas demarcadas em roxo e amarelo correspondem, respectivamente, às microrregiões do Seridó Ocidental e Oriental. Já a área verde delinea as microrregiões da Serra de São Miguel, Umarizal e Pau dos Ferros.

Quanto à classificação das Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASDs), estas foram categorizadas com base no Grau de Susceptibilidade. Assim, foram identificadas áreas de intensidade Muito Grave (cor roxa), Grave (cor laranja) e Moderada (cor verde). Adicionalmente, o Núcleo de Desertificação foi representado na cor amarela, conforme exposto na Tabela 5.

**Tabela 5** - Ocorrência do Processo de Desertificação no Rio Grande do Norte

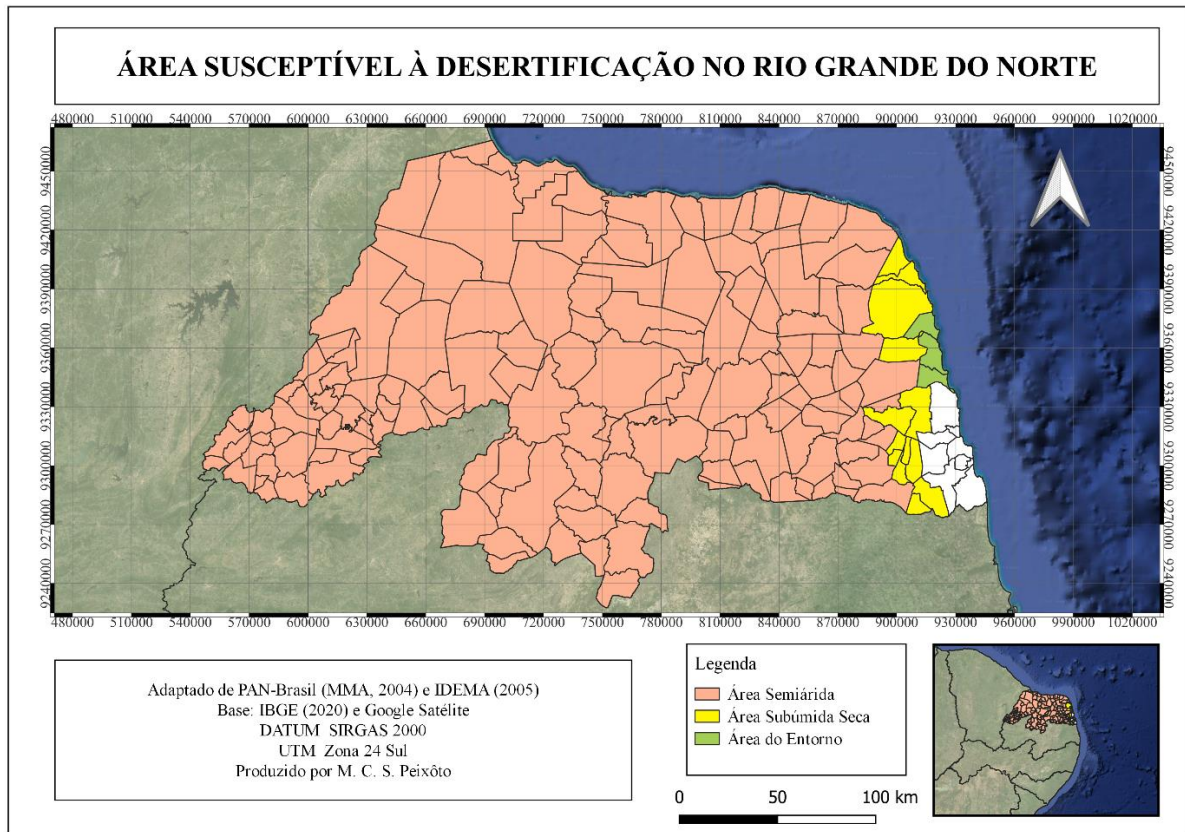
CLASSE DE INTENSIDADE	ÁREA		POPULAÇÃO	
	Km <sup>2</sup>	%	Absoluta	%
Muito Grave	12 965	24,3	289 767	11,0
Grave	20 545	38,5	591 158	22,5
Moderada	5 120	9,6	215 112	8,2
Total Afetado no RN	38 630	72,5	1 096 037	41,7
Estado	53 307	100	2 630 000	100

Fonte: IDEMA (2005)

Os dados indicam que, no início dos anos 1990, o Rio Grande do Norte tinha aproximadamente 72% de seu território classificado como área susceptível à desertificação. Dentro deste percentual, 24,3% eram considerados de intensidade Muito Grave (representado pela cor roxa), 38,5% Grave (cor laranja) e 9,6% Moderado (cor verde), conforme informações do IDEMA (2005). Esta situação impactava diretamente a vida de cerca de 1.096.037 habitantes, o que representava 41,7% da população estadual na época. Nos setores categorizados como Muito Grave e Grave, eram afetados respectivamente 11% e 22,5% da população.

Segundo o mapa temático apresentado pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA, 2005), baseada em dados do PAN-Brasil (MMA, 2004), são identificadas três áreas distintas: Área Semiárida (representada pela cor rosa), Área Subúmida Seca (cor amarela) e Área de Entorno (cor verde) (Figura 9).

**Figura 9 – Área Susceptível à desertificação no Rio Grande do Norte**



**Fonte:** Adaptado de PAN-Brasil (MMA, 2004) e IDEMA (2005)

Ainda com base nesta categorização, 97,6% do território do Rio Grande do Norte estava compreendido em Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASDs), sendo que a maior parcela deste território estava inserida na Área Semiárida (Tabela 6).

**Tabela 6 - Áreas Susceptíveis à Desertificação no Rio Grande do Norte segundo o PAN-Brasil – 2004**

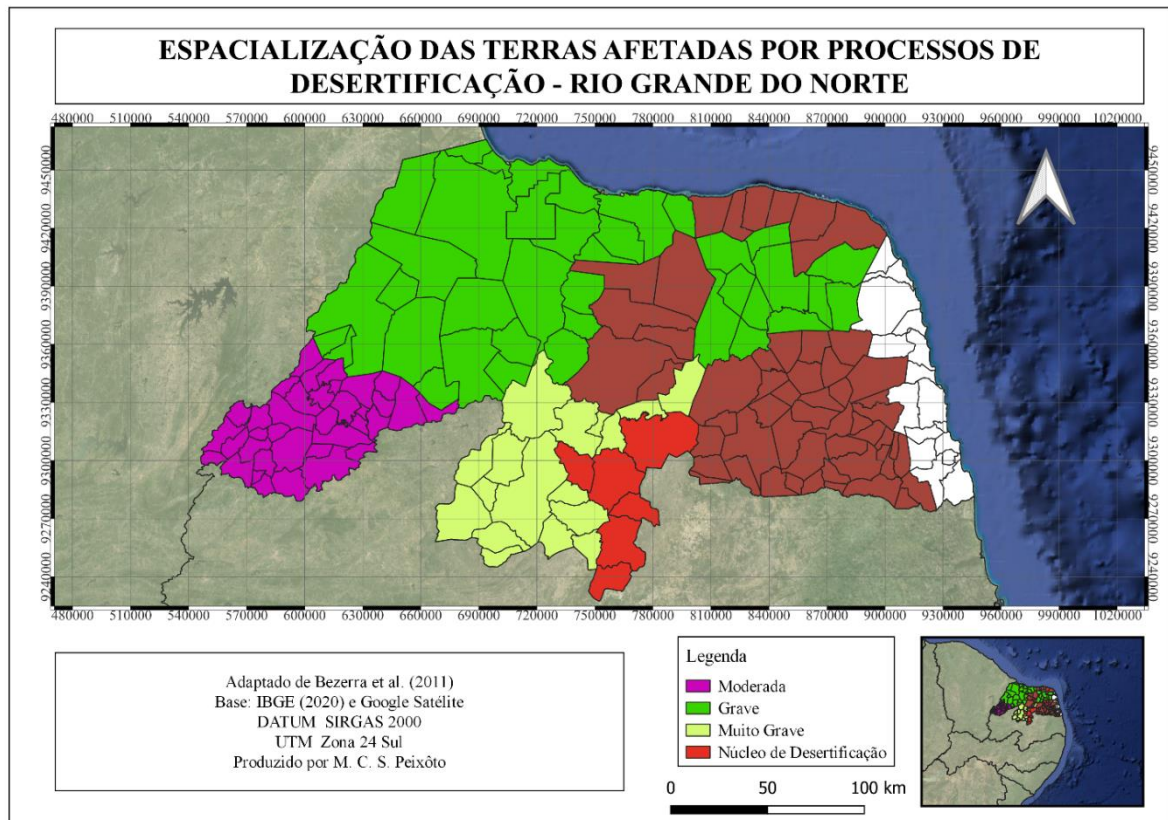
Áreas suscetíveis	População				Área (km <sup>2</sup> )	
	Urbana	Rural	Total	%	Total	%
Semiárida	1 041 484	521 994	1 563 478	6,3	48 706,01	92,3
Subúmida Seca	104 704	155 586	260 290	9,3	2 396,834	4,5
Do Entorno	834 874	21 705	856 579	30,9	416,165	0,8
ASD do Estado	1 981 062	699 285	2 680 347	96,5	51 519,01	97,6
Estado (total)	2 036 673	740 109	2 776 782	100	52 796,791	100

**Fonte:** Adaptado de MMA (2004) e IDEMA (2005), grifo nosso

Bezerra *et al.* (2011) realizaram um mapeamento onde, metodologicamente, analisaram indicadores propostos pela Agenda 21 (ONU, 1994), recomendados para nações enfrentando

problemas de desertificação. Entre os indicadores analisados se destacam I) População residindo abaixo da linha de pobreza em áreas secas; II) Índice Nacional de Precipitação Mensal; III) Índice de Vegetação, obtido a partir de imagens de satélite; e os IV) Territórios afetados pela desertificação (Figura 10).

**Figura 10** – Espacialização das terras afetadas por processos de desertificação - Rio Grande do Norte



**Fonte:** Adaptado de Bezerra *et al.* (2011)

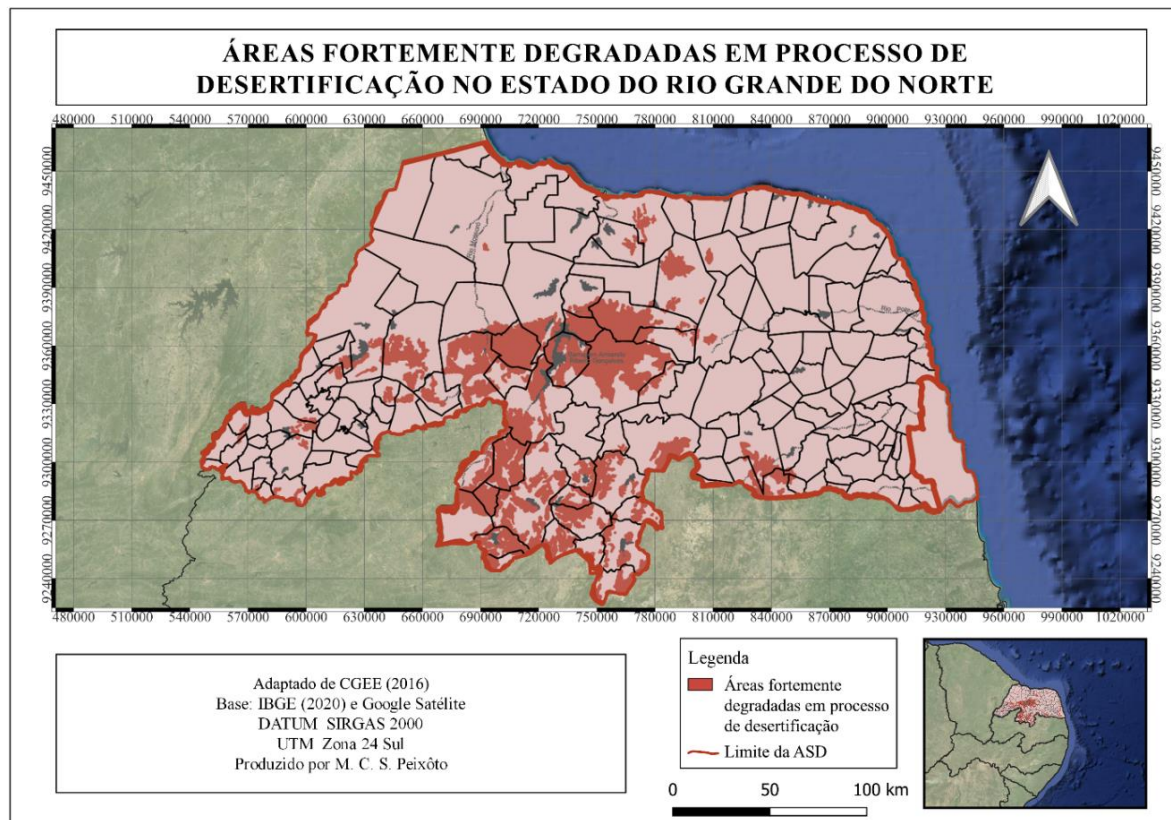
Os autores categorizaram os resultados cartográficos em cores, facilitando a interpretação visual dos dados apresentados e proporcionando um entendimento mais claro das áreas e da intensidade da desertificação no respectivo território. O nível Moderado é representado pela cor roxa, o Grave é indicado pela cor verde, Muito Grave é na cor amarela, Núcleo de Desertificação é em vermelho, e o “Semiárido Potiguar” é representado na cor marrom.

O mapeamento conduzido por Bezerra *et al.* (2011) em grande medida confirma a cartografia previamente realizada por Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000). De acordo com o estudo, aproximadamente 58,84% da área total analisada estava em estado grave de desertificação (representada pela cor verde). Os dados adicionais indicam 18,2% da área em

estado muito grave (amarelo), 14,98% em estado moderado (roxo), e 7,98% correspondendo ao núcleo de desertificação (vermelho), este último abrangendo uma extensão aproximada de 278.146,19 hectares.

Em um levantamento posterior, realizado em 2016 pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), observou-se que o Rio Grande do Norte, com uma área total de 52.811,126 km<sup>2</sup>, possuía 51.977,2 km<sup>2</sup> classificados como Área Susceptível à Desertificação (ASD). Isso significa que 98,42% do território estadual era considerado ASD pelo órgão, conforme ilustrado na Figura 11. Adicionalmente, dentro dessas ASDs, áreas que eram fortemente degradadas somavam 6.689,14 km<sup>2</sup>, representando 12,87% do total.

**Figura 11** - Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado do Rio Grande do Norte



**Fonte:** Adaptado de CGEE (2016)

Diferente dos outros mapeamentos, o CGEE utilizou-se de coloração monocromática em tons de vermelho, com coloração mais intensa para representar as manchas de Áreas Fortemente Degradadas. No mapeamento realizado para a região Nordeste, o Rio Grande do Norte apresentou o maior percentual de áreas degradadas de acordo com os resultados do mapeamento, com manchas concentradas nas regiões central e sul do estado.

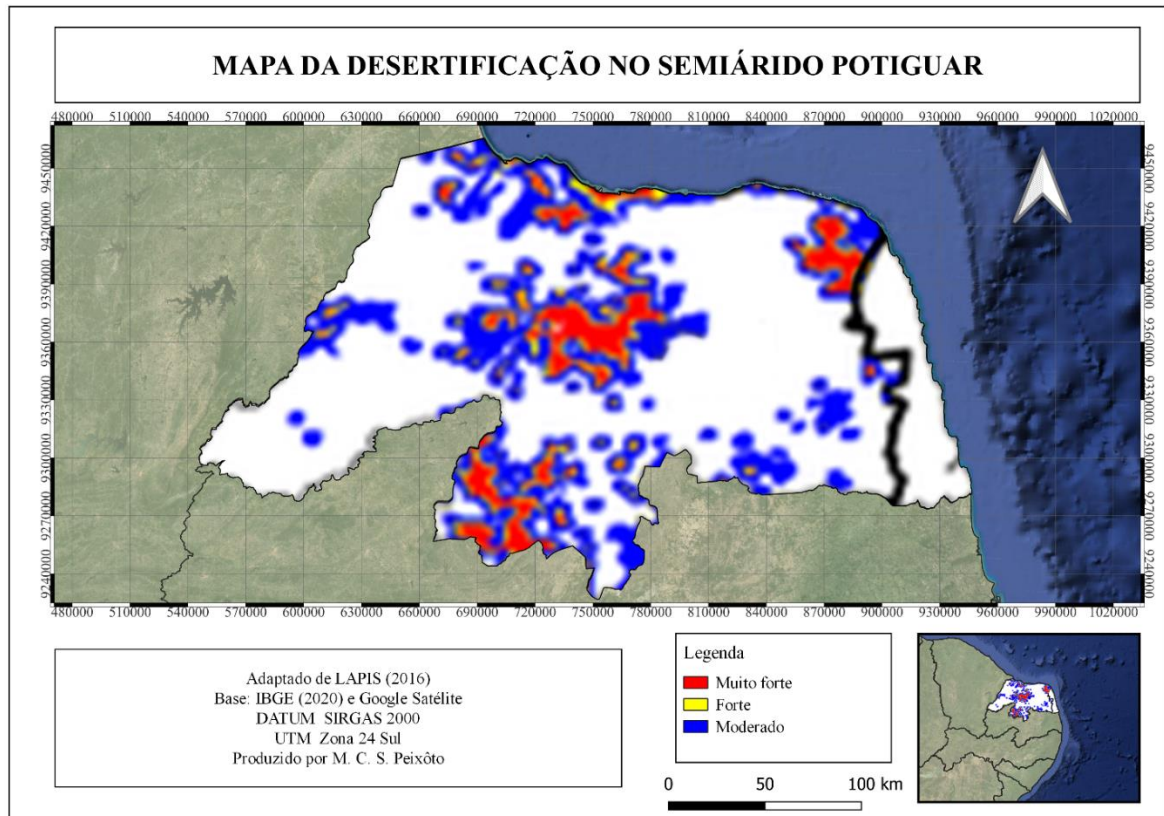
Nesse material, infere-se ainda que a área susceptível à desertificação perpassa pelo litoral leste, abrangendo inclusive a capital Natal, diferente da cartografia de Carvalho, Gariglio e Barcelos (2000), Bezerra *et al.* (2011) e PAN-Brasil (MMA, 2004), que utiliza da nomenclatura Área Subúmida Seca e Área de Entorno para os municípios que estão situados no litoral leste potiguar.

O mapeamento mais recente com relação ao estado norte-rio-grandense é a realizado pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, também de 2016 (apesar do mapeamento ter sido concluído em 2016, só é possível encontrar dados oficiais a partir de 2019. Para tanto, foi adotado o ano de 2019 para as referências). Apesar de não ser um mapeamento estadual e sim de nível regional, os seus resultados corroboram os resultados do CGEE (2016).

O estudo compreendeu a análise multitemporal dos anos de 2007 a 2016, utilizando como metodologia para classificação dos níveis de degradação, usando imagens de NDVI de longo prazo, baseada em dados do satélite Meteosat-10 (Buriti; Barbosa, 2022). As cores adotadas nesse estudo foram estabelecidas em três parâmetros: Muito Forte (Vermelho), Forte (Amarelo) e Moderado (Azul), como pode ser observado na Figura 12.

A espacialização dos dados foi conduzida considerando a delimitação do semiárido nordestino, que recentemente passou por ajustes, conforme indicado pela SUDENE em 2021. Os resultados do estudo revelam a presença de manchas vermelhas (indicativas de desertificação) localizadas principalmente na região do Seridó (parte sul do estado), na área central, e também no litoral norte do Rio Grande do Norte.

**Figura 12** – Mapa de Áreas Susceptíveis à Desertificação no Semiárido Brasileiro



**Fonte:** Adaptado de LAPIS (2019)

Adicionalmente, à época do estudo, o estado possuía 27,6% de sua superfície total sob processo de desertificação, conforme detalhado no Quadro 5. Dessa porção, uma área correspondente a 5,2% estava submetida a um nível de degradação categorizado como “grave”, enquanto 9,2% enfrentavam uma degradação considerada “muito grave”. É importante notar que essas porcentagens são calculadas em relação à área total do Rio Grande do Norte (Buriti; Barbosa, 2022).

**Quadro 5** – Áreas desertificadas no Nordeste Brasileiro

Estado	Área em Desertificação (%)
Alagoas	32,8
Paraíba	27,7
Rio Grande do Norte	27,6
Pernambuco	20,8
Bahia	16,3
Sergipe	14,8
Ceará	5,3
Minas Gerais	2,0
Piauí	1,8

**Fonte:** LAPIS (2019)

Em suma, as informações dos mapeamentos, especializações e comparativos realizados para identificação de Áreas Susceptíveis à Desertificação para o estado do Rio do Grande do Norte podem ser observadas no Quadro 6:

**Quadro 6** – Comparativos entre os trabalhos analisados nesta pesquisa

Mapa	Área Total do Estado	Área Total do Estado (%)	Áreas Fortemente Susceptíveis à Desertificação (%)
Carvalho, Barcelos e Gariglio (2000)	53 307 km <sup>2</sup>	72,5%	24,3%
PAN-Brasil (MMA, 2004)	2 776 782	97,6%	92,3%
Bezerra <i>et al.</i> (2011)	5.313.366,82 ha	58,84%	18,2%
CGEE (2016)	52.811,126 km <sup>2</sup>	98,42%	12,87%
LAPIS (2019)	Não informado	27,6%	9,2%

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023)

Inicialmente, é preciso discutir a discrepância entre os dados obtidos, em que, no período entre 2000 e 2019 observa-se uma flutuação nas porcentagens tanto de área total do estado categorizada como Área Susceptível à Desertificação (ASD), variando de 58,84% a 98,42%, quanto nas áreas fortemente susceptíveis à desertificação, que variaram de 9,2% a 92,3%, que podem ser atribuídas a diversos fatores, por exemplo, as diferenças de escala cartográfica e resolução espacial influenciam diretamente a detecção e a delimitação das áreas afetadas. Nesse caso, estudos com resolução mais fina tendem a mapear manchas menores e descontínuas, reduzindo o percentual total identificado, enquanto abordagens mais gerais, como no PAN-Brasil, tendem a ampliar os limites das áreas classificadas como suscetíveis. Além disso, os critérios de classificação adotados variam significativamente entre os trabalhos. Enquanto alguns autores priorizam parâmetros biofísicos (clima, solo, relevo, vegetação), outros incorporam variáveis socioeconômicas e de uso do solo, ampliando o escopo das áreas consideradas vulneráveis.

Outro fator importante é o contexto climático, que exerce grande influência no semiárido potiguar. É possível que os mapas elaborados em períodos de secas prolongadas ou imediatamente após eventos climáticos extremos registrem maiores extensões de áreas

degradadas ou em processo de desertificação. Além disso, as metodologias de processamento específicas (classificação supervisionada, não supervisionada, modelagem multicritério) contribuem para variações significativas nos resultados.

Os critérios utilizados pelos próprios autores são igualmente importantes: a definição operacional do que se entende por “fortemente suscetível à desertificação” pode divergir entre uma e outra abordagem. Essas alterações de classificação podem elevar ou reduzir a área enquadrada nessa categoria, mesmo com dados e metodologias semelhantes. Dessa forma, a ausência de padronização metodológica limita a comparabilidade temporal e espacial dos mapeamentos, gerando desafios para o monitoramento contínuo e dificultando a formulação de políticas públicas consistentes.

Assim, é possível observar que, inicialmente as abordagens dos mapas estudados baseavam-se em observações e interpretações de imagens de satélite de baixa resolução, o que provavelmente limitava a precisão na identificação das áreas ao longo dos anos. Além disso, cada mapeamento subsequente empregou novas tecnologias e metodologias aprimoradas; o avanço de métodos como o sensoriamento remoto de alta resolução, modelagem espacial e aprendizado de máquina vem possibilitando análises cada vez mais detalhadas.

Além disso, nos mapeamentos mais recentes, conduzidos pelo CGEE em 2016 e pelo LAPIS em 2019, foram identificadas áreas que não haviam sido destacadas em estudos anteriores (como os realizados por Bezerra *et al.* em 2011, pelo MMA em 2004, e por Carvalho, Gariglio e Barcelos em 2000). Essas áreas adicionais incluem as regiões do médio oeste, alto oeste e litoral norte, bem como o Seridó ocidental (sendo que o Núcleo de Desertificação identificado em estudos anteriores corresponde ao Seridó oriental).

De maneira geral, entre as principais causas relacionadas à ação antrópica nessa área que podem estar agravando os processos de degradação/desertificação na área central do estado se não forem realizadas com consciência, tem-se a retirada de lenha para fornos cerâmicos, bem como de argila (Silva; Gurgel, 2022), retirada de vegetação nativa, principalmente da espécie Algaroba (*Prosopis juliflora*) (Souza *et al.*, 2024), a poluição do ar e dos rios (Nascimento e Nogueira, 2021), como também a perda da biodiversidade, intensificação de processos erosivos e alteração do microclima local (Melo e Pereira Neto, 2024).

Além disso, Diodato *et al.* (2022) apontam também para uma frequência relativa de incêndios/queimadas na região central, embora o maior foco esteja concentrado na região oeste do estado. Já Dias *et al.* (2021) apontam para um histórico de degradação avançado, principalmente em relação à pecuária, que repercute na redução de espécies polinizadoras,

causada pela degradação de habitats e também pelas mudanças no uso dos solos e pelo uso indiscriminado de agrotóxicos.

Destaca-se também a importância de estudos evolutivos de monitoração e mapeamento, pois a forma de representar por meio de produtos cartográficos e figuras tornam sua interpretação mais factual e inteligível.

O desenvolvimento e emprego de novas tecnologias e metodologias nos estudos de desertificação não só proporcionam uma compreensão mais detalhada e refinada da extensão e intensidade da desertificação, mas também ressaltam a dinâmica e a complexidade desse fenômeno ambiental ao longo do tempo e espaço no estado do Rio Grande do Norte.

Entretanto, ressalta-se que a constante mudança de metodologias, falta de padronização dos critérios de classificação, a escassez de séries temporais consistentes e as limitações na integração de dados ambientais e socioeconômicos ainda representam obstáculos para um diagnóstico preciso e eficaz. Isso porque, assim como o próprio conceito de desertificação ainda é um tema debatido e apresentado por diferentes vertentes, as metodologias empregadas para estudar esse fenômeno também são heterogêneas.

No processo de revisão cartográfica referente à desertificação no estado do Rio Grande do Norte, observa-se que as regiões mais afetadas consistentemente são a central e a do Seridó. Notavelmente, a região central tem emergido mais recentemente como uma área de intensa degradação/desertificação. Entretanto, essa área não tem recebido a devida atenção na literatura e nos estudos, nem é destacada em documentos oficiais como o PAE-RN e o PAN-Brasil.

No estado, dos 167 municípios, 159 estão incluídos em Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASDs). Deste total, aproximadamente 20 a 30 municípios são categorizados como áreas fortemente degradadas, dependendo do estudo consultado. Assim, a identificação dessas áreas críticas, junto com as discrepâncias observadas entre diferentes mapeamentos, ressalta a crescente necessidade de conduzir estudos geoambientais mais precisos e incisivos.

A complexidade da desertificação exige uma abordagem integrada e multidimensional para entender e combater o fenômeno de maneira eficaz. Nesse cenário, é inegável o papel desempenhado pelas geotecnologias avançadas na promoção de estudos relacionados ao meio ambiente e uso do solo. O acesso facilitado a *softwares* especializados, avanço das geotecnologias, com imagens de satélite de média à alta resolução espacial, tem sido ferramentas valiosas para a comunidade acadêmica e governamental, possibilitando não somente a identificação, mas também o monitoramento das referidas áreas.

Dessa forma, os resultados comprovam que a evolução dos estudos vem permitindo

um maior grau de confiabilidade nas técnicas utilizadas, devido principalmente a utilização de imagens de satélite de altíssima resolução para identificar e mensurar áreas com níveis de degradação/desertificação mais intensas, além do emprego de indicadores. Isso alerta ainda para a necessidade de incentivo de políticas públicas nos locais apontados como “graves”, tanto no que diz respeito às Áreas Susceptíveis quanto aos Núcleos de Desertificação. Com isso, espera-se que a partir dessa pesquisa novas contribuições emerjam e se convertam em políticas sociais que mitiguem os efeitos desse fenômeno no território norte rio grandense.

### 3.3 Indicadores: percurso e aplicações

Ao longo da história da desertificação, muitas pesquisas e metodologias foram desenvolvidas em vistas de mitigar ou parar seu avanço. Para tal, uma das metodologias bastante empregada até os dias de hoje são os indicadores. O que, entretanto, trouxe também outras subdivisões dentro da própria estrutura.

A Agenda 21 trouxe no bojo da sua essência o plano nacional para que organizações governamentais e não-governamentais desenvolvessem o conceito de indicadores do desenvolvimento sustentável e identificasse esses indicadores (CNUMAD, 1992).

Já em 1977, a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCCD) trouxe alguns indicadores de desertificação, compilados no Quadro 7.

**Quadro 7 – Indicadores de Desertificação (UNCCD)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicadores</b>
Indicadores Climáticos	Radiação solar; temperatura; velocidade do vento; precipitação
Indicadores Hidrológicos	Sólidos dissolvidos em água; mudança de fluxos de água e dos depósitos sedimentares no canal de escoamento; profundidade do lençol freático; qualidade da água; descarga dos rios; umidade do solo; fluxo subsuperficial; água de escoamento e produção de sedimentos.
Indicadores Pedológicos	Profundidade do solo; capacidade de acumulação de água; composição dos horizontes; estado da superfície; teor de matéria orgânica; albedo; grau de salinização e alcalinização; teor de pedregosidade; encrostamento; fendilhamento; compactação e permeabilidade da crosta.
Indicadores Biológicos	Grau de cobertura e altura da vegetação; biomassa aérea e subterrânea; rendimentos; distribuição e frequência de espécies; organização e profundidade das raízes; queda e organização de folhas; produção primária; produção de pastoreio; composição de espécies; atraso de germinação;
Indicadores Sociológicos	Distribuição espacial de implantações humanas

**Fonte:** Adaptado de Lopes e Soares (2016)

Com relação à aplicação de indicadores no Brasil, Matallo Júnior (2001) cita que o levantamento bibliográfico mais completo sobre a desertificação no país foi feito por Rodrigues (1997) em trabalho elaborado para o Plano Nacional de Combate à Desertificação, em que foram analisados 56 títulos para avaliar as preocupações e conhecimentos gerados pela comunidade científica e considerou 7 grupos de informações:

- a) Conceitos de desertificação;
- b) Indicadores considerados;
- c) Áreas identificadas;
- d) Causas e consequências;
- e) Diagnóstico;
- f) Medidas e propostas sugeridas para o combate à desertificação;
- g) Instituições mencionadas (Matallo Júnior, 2001)

Vasconcelos Sobrinho (1971) também trouxe sua contribuição para indicadores, afirmando que sua aplicação era o modelo fundamental dos estudos de desertificação e visava alcançar um conhecimento mais exatos e rápido, permitindo:

- 1- Avaliar a vulnerabilidade à desertificação;
- 2- Prever o começo da desertificação antes que ela se inicie;
- 3- Vigiar o processo nas regiões que sofrem a desertificação e nas que se considera que correm perigo;
- 4- Avaliar os efeitos dos processos de desertificação e dos programas para combatê-los (Vasconcelos Sobrinho, 1971)

Outra contribuição desse autor, de acordo com Matallo Júnior (2001), foi a proposição de 36 indicadores por influência de Reining (1978), distribuídos entre categorias físicas, biológicas, agropecuárias e socioeconômicas, como pode ser observado no Quadro 8.

**Quadro 8 – Indicadores propostos por Vasconcelos Sobrinho**

<b>INDICADORES FÍSICOS</b>
Grau de salinização e alcalinização do solo
Profundidade das águas subterrâneas
Qualidade da água
Profundidade efetiva do solo acima das camadas que inibem o crescimento das raízes
Número de tormentas de pó e de areia
Presença de crostas no solo
Quantidade de matéria orgânica no solo
Volume dos sedimentos nas correntes de água
Área coberta de vegetação
Turbidez das águas superficiais
Teor de matéria orgânica do solo
Albedo
<b>INDICADORES BIOLÓGICOS AGRÍCOLAS</b>
Vegetação
Cobertura vegetal
Biomassa acima da superfície
Espécies chaves; distribuição e frequência
Animais
Espécies chaves (incluindo invertebrados)
População de animais domésticos
Composição dos rebanhos
Produção
Rendimento (colheita)
<b>INDICADORES SOCIAIS USO DA TERRA</b>
Agricultura por irrigação
Agricultura de sequeiro
Pastoreio
Corte da cobertura vegetal para combustível e construções (prática extrativa)
Mineração
Instalações de turismo e de recreio
<b>TIPO DE ASSENTAMENTO NAS POPULAÇÕES RURAIS</b>
Assentamento recente
Expansão do assentamento
Diversificação do assentamento
Abandono do assentamento
<b>PARÂMETROS BIOLÓGICOS HUMANOS</b>
Estrutura da população e taxas demográficas
Medições da situação em matéria de nutrição
Índice de saúde pública
<b>PARÂMETROS DE PROCESSO SOCIAL</b>
Conflito
Migração
Esquema de redistribuição
Marginalização
Circulação de dinheiro relativamente à subsistência

**Fonte:** adaptado de Matallo Júnior (2001)

Além desses, diversos outros indicadores e parâmetros foram desenvolvidos ao longo da história do processo de desertificação. Alguns mais complexos, outros mais simples, que consideram apenas a parte física da terra, outros integram o físico e o social e há autores que defende que os índices sociais falam por si só e possuem maior representatividade nos indicadores. De qualquer forma, ainda não há consenso por quais de indicadores utilizar, ou seja, tudo dependerá da área de estudo e dos interesses da pesquisa e do pesquisador.

A partir disso, compilou-se no Quadro 9 os trabalhos internacionais recentes e os seus indicadores utilizados.

**Quadro 9** – Compilação da utilização recente de indicadores (internacional)

<b>Indicadores</b>	<b>Autores</b>
Índice de qualidade do solo (IQS)	Turan, Dengiz, Özkan, 2019
Clima, solo, topografia, geologia, vegetação, pressão humana e gestão da terra e da água	Hien <i>et al.</i> , 2019
Qualidades de manejo, clima, lençol freático, qualidade do solo	Zakerinejad; Masoudi, 2019
Cobertura vegetal, tipo de planta, profundidade do solo, fragmentos de rocha, textura do solo, gradiente de encosta, drenagem, material de origem, precipitação média anual, aspecto de encosta, aridez índice, intensidade de uso da terra e aplicação de políticas	Gül, Erşahin, 2019
Clima, qualidade do solo, uso do solo, quantidade de cobertura vegetal e manejo	Uzuner, Dengiz, 2020
Características físicas, sociais e econômicas. Complexidade e variabilidade na gestão do solo e dos recursos hídricos	Karavitis, 2020
Tendências e cenários climáticos de uso e cobertura da terra	Bezerra, 2020
Atividades humanas, clima, água, fatores socioeconômicos, vegetação, desenvolvimento agrícola, solo, geologia e erosão	Akbari <i>et al.</i> , 2020
Topografia, clima local e uso da terra; aspecto, inclinação, precipitação, temperatura, uso da terra e velocidade do vento	Shihab, Al-hameedawi, 2020
Fração de vegetação, biomassa acima do solo, umidade do solo e temperatura da superfície da terra	Kuang <i>et al.</i> , 2020
Chuva, vegetação	Vendruscolo <i>et al.</i> , 2021
Índice de vegetação de diferença (NDVI) e albedo ( $\alpha$ ), molhamento da capa com borla (TCW), brilho (TCB) e verdor (TCG)	Salih, Hassaballa, Ganawa, 2021
Indicadores de cobertura vegetal - riqueza de espécies lenhosas, densidade de plantas lenhosas, altura do dossel, circunferência basal média, circunferência média à altura do peito e dominância absoluta total	Moura <i>et al.</i> , 2022

**Fonte:** elaborado pela autora (2023)

A partir do quadro, é possível identificar que os indicadores mais utilizados pelos autores são o clima, o solo e a vegetação, havendo de certa forma uma predileção por estes.

Para esta pesquisa, foram utilizados os indicadores geofísicos (IGF) e socioeconômicos (ISED) propostos por Abraham e Beekman (2006), Oliveira (2006, 2011), Oliveira *et al.* (2013) e Sousa (2016). A escolha desses indicadores fundamenta-se na compreensão da desertificação como um processo de natureza multifatorial, no qual a dinâmica entre fatores ambientais e antrópicos define a intensidade e a expansão da degradação. Os indicadores geofísicos, como clima, solos, vegetação, relevo e geologia, permitem evidenciar a vulnerabilidade, associada a condições naturais que favorecem a susceptibilidade do próprio ambiente aos processos erosivos e à perda de fertilidade, por exemplo. Já os indicadores socioeconômicos, como uso e cobertura da terra, densidade populacional, práticas produtivas e condições de vida, representam as pressões humanas sobre o território, tornando-se essenciais para explicar a intensidade e a distribuição espacial dos processos de degradação.

### **3.4 Geotecnologias aplicadas à Desertificação**

Nas últimas décadas, a desertificação vem sendo estudada e monitorada por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), georreferenciamento, sensoriamento remoto e diversas outras técnicas que envolvem dados espaciais.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas para identificar, quantificar e mitigar os efeitos da desertificação, a partir de metodologias e indicadores específicos e variados, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto (Cruz Neto *et al.*, 2021), em a colaboração entre tecnologia e meio ambiente. Com a introdução das geotecnologias nesses estudos, é possível obter dados cada vez mais precisos sobre degradação de solos, dinâmica da cobertura vegetal e prever possíveis alterações climáticas.

Trabalhos recentes (Bezerra *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2020; Kulik *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020; Mutti *et al.*, 2020) foram desenvolvidos nessa parceria, utilizando o Sensoriamento Remoto junto a técnicas como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e imagens de satélite como as de Landsat e MODIS. Complementadas com as análises multitemporais, que garantem uma gama de métodos e técnicas, resultam em produtos cartográficos mais atualizados e precisos.

Entretanto, o estudo realizado por Rivera-Marin *et al.* (2022) aponta que o número de artigos científicos sobre estudos de desertificação que utilizam sensoriamento remoto no mundo inteiro consta ainda de um desequilíbrio considerável: enquanto na África foram publicados 45

artigos e 35 na América, a Ásia tem 245 artigos sobre desertificação usando sensoriamento remoto. Os autores registram isso como uma possível lacuna geográfica onde a desertificação está sendo estudada, mas também veem como uma oportunidade de observar os métodos desenvolvidos, variáveis usadas e diferentes resultados obtidos no continente.

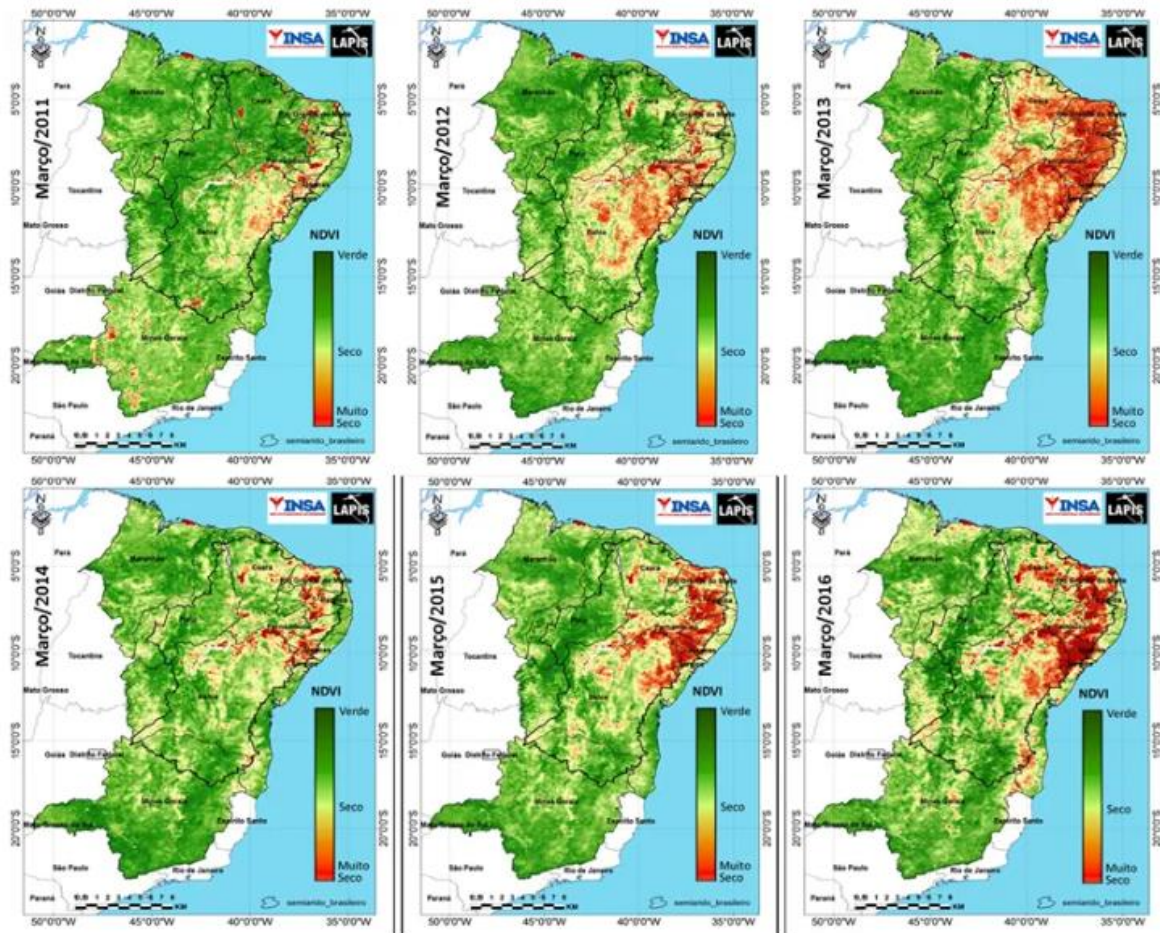
No Brasil, as pesquisas variam bastante quando se tratam da temática da desertificação e sua maioria despende a partir de diferentes escalas (municipais, regionais, estaduais). A utilização de técnicas e métodos combinam desde os estudos sobre evolução da erosão (Santos e Santos, 2021; Lima *et al.*, 2023) uso e cobertura da terra e confirmação em campo (Gois *et al.*, 2022), dados de plataformas nacionais como o MapBiomas, BDIA e SIDRA (Santos *et al.*, 2023); MapBiomas aliado a métodos estatísticos como lógica Fuzzy (Oliveira Júnior e Pereira, 2023); juntamente com a declividade e altimetria a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (Silva e Nascimento, 2024); Índice de Aridez (IA) (Morais, Wanderley, Delgado, 2024) entre outros.

Corroborando esse fato, a Figura 13 demonstra a monitoração da grande seca no semiárido brasileiro dos anos de 2010 a 2017, permitindo assim, observar os locais mais afetados e destinar recursos para a população ou desenvolver políticas públicas específicas.

Para tal, é preciso que o pesquisador crie funções e ordens específicas para que o software utilizado apresente resultados. Esses resultados, entretanto, podem não trazer uma verdade inquestionável, o que sobrepõe, pois, a necessidade de verificar em campo a realidade do terreno. De qualquer modo, os resultados são influenciados pelo comando dado pelo pesquisador e pela técnica adotada.

Porém, isso não desvia a necessidade de utilização da tecnologia geográfica e espacial dentro das ciências ambientais, pelo contrário, demanda-se cada vez mais para aprimoramento e desenvolvimento de novas técnicas e processamentos para que se possa contribuir para o estudo do meio. É de suma importância que o pesquisador encarregado do tratamento de dados não imponha uma opinião sobre os resultados obtidos afim de revertê-los para o seu interesse particular, mas sim, trate-os com o rigor metodológico que é necessário para que os resultados estabeleçam relações entre si e entre o que foi exposto no seu arcabouço teórico.

Figura 13- Imagens de satélite da grande seca 2010-2017, no semiárido brasileiro



Fonte: Buriti e Barbosa (2018)

As geotecnologias podem contribuir significativamente para o avanço de estudos preventivos como também para estudos mitigadores, pois, assim como citam Silva e Zaidan (2015):

Os resultados de pesquisa ambientais podem ser gerados a partir de exemplos diretos, nos quais sejam apresentados ou cotejados métodos e conceitos, sendo as técnicas colocadas no seu lugar subordinado de elementos de operacionalização, necessários, mas não primordiais. Neste sentido, é absolutamente relevante que os profissionais ligados ao ambiente sejam alertados quanto ao sabor, o “charme” do uso das técnicas de processamento de dados aplicadas aos estudos ambientais, que podem criar uma “cortina tecnológica” inibidora do verdadeiro conhecimento da realidade ambiental.

A partir dessa afirmação, é possível observar em alguns trabalhos a preferência por certos tipos de técnicas ou métodos para desenvolver determinadas pesquisas no Brasil. No caso da desertificação, por exemplo, é recorrente as pesquisas que envolvem utilização de imagens de satélites para monitoramento ou estabelecimento de cenários futuros. Além disso, é comum também a utilização de imagens do satélite Landsat (programa de satélite de observação da

Terra), principalmente Landsat 5 e/ou 8, além de mais recentemente, imagens da Plataforma MapBiomass, CBERS etc.

Utilizando essa e outras técnicas de processamento, é necessário (na maior parte dos casos) realizar o tratamento dessas imagens, seja utilizando técnicas de realce, de classificação, aritmética ou gerando composições coloridas. Mais uma vez, tudo depende do comando dado ao software pelo pesquisador para que seja executado pelo programa.

Dessa forma, seja nos estudos sobre desertificação, seja sobre bacias hidrográficas ou qualquer estudo de cunho ambiental, a utilização das geotecnologias vem se mostrando cada vez mais importante, necessária e presente, uma vez que é possível manipular grande quantidade de dados em máquinas computacionais e processá-las com alguns cliques, desde áreas municipais à regionais, nacionais ou globais.

## Capítulo 04

---

### CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

---

Neste capítulo será abordado a caracterização geoambiental da área que constitui os elementos geofísicos estudados: geologia, geomorfologia, pedologia, clima, vegetação e uso e cobertura.

A pesquisa tem como recorte espacial os municípios de São Rafael, Itajá, Angicos e Santana do Matos, localizados em área central do estado do Rio Grande do Norte nas Regiões Geográfica Intermediária de Mossoró e Região Imediata de Açu. O recorte fundamenta-se em critérios associados à distribuição e intensidade dos processos de degradação ambiental na área.

A partir dos mapeamentos mais recentes de áreas suscetíveis à desertificação (CGEE, 2016; LAPIS, 2019), verificou-se a presença de uma mancha contínua e de elevada intensidade de degradação ambiental abrangendo especificamente esses municípios, contrastando com a ocorrência de manchas menores e mais dispersas nos demais integrantes da região. Além da inexistência de estudos anteriores direcionados à análise detalhada dessa porção territorial, especialmente sob a perspectiva da degradação e da desertificação, o que reforça a relevância da pesquisa na área analisada. Essa área se configura como uma região de intensa degradação ambiental, tanto pelas suas características físicas quanto por suas características socioambientais, que serão abordadas a seguir.

#### 4.1 Aspectos Geológico/Geomorfológico

A princípio, é necessário salientar a importância de conhecer a área estudada desde a sua base geológica. Isso porque, para entender qualquer sistema natural é preciso passar pela identificação do objeto de análise e suas variações propriamente ditas (Christofolletti, 1999), caracterizando-os quanto a sua forma, arranjo estrutural e composição integrativa (Pereira Neto, 2016).

Suguio (2010) já expressava que os fenômenos geológicos ocorridos no Quaternário estão evidenciados no relevo, e com isso, afirma que não se pode estudar a geologia ignorando a geomorfologia e não se pode tratar da geomorfologia desprezando a geologia. Dessa forma, compreende-se que para entender uma certa unidade de paisagem, por

exemplo, é preciso perpassar pela sua gênese, dinâmica das formas do relevo, bem como mecanismos motores de sua geração (Ross, 2014).

Claudino-Sales, Maia e Andrades Filho (2022) afirmam que, geologicamente, o território brasileiro tem composição complexa e variada, como terrenos sedimentares e terrenos cristalinos que caracterizam o embasamento brasileiro, registrando as mais diversas litologias e estruturas, cuja origem remonta com frequência a episódios da Tectônica de Placas. Essa camada, funciona como piso do estrato geográfico e é nela que se encontra recursos minerais, recursos energéticos e nutrientes minerais necessários para desencadear o ciclo da vida dos vegetais e animais (Ross, 2003).

Isso posto, a compreensão da estrutura, estado e função do todo a partir do esforço sistêmico, conforme ressaltam Christofolletti (1999) e Pereira Neto (2016), é entender como as partes estão integradas em uma totalidade, com a identificação de possíveis (sub)sistemas de contexto regional na região semiárida central potiguar.

Parte da estrutura geológica do Nordeste corresponde a Província da Borborema, caracterizada por extensas exposições de embasamento pré-cambriano, dobramentos e plutonismo granítico (Fetter *et al.*, 2000) e além disso, registra uma longa e complexa história evolutiva de eventos de ordem tectônica que operaram durante o Arqueano, Paleoproterozoico e Neoproterozoico (Brito Neves, 1991).

Para o Rio Grande do Norte a geologia está, de acordo com Medeiros, Nascimento e Sousa (2010), generalizada em três grandes grupos: unidades Pré-cambrianas (mais antigo, 3,45 bilhões de anos até 542 milhões de anos), unidades do Cretáceo (145 a 65 milhões de anos, representadas pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas) e Coberturas Sedimentares Cenozoicas (mais jovem, 65 milhões de anos até o recente).

Geologicamente, a área de estudo (Figura 14) encontra-se entre as unidades Pré-cambrianas, caracterizadas a partir dos domínios Jaguaribeano e Domínio Rio Piranhas-Seridó, localizadas na área central do estado, e entre a Faixa Seridó, com granitoides entre São Rafael e Angicos.

Oliveira e Nascimento (2019) definem para esta área eventos do Pré-Cambriano e Plutonismo Neoproterozoico, caracterizando as Unidades de Rochas Metamórficas Ortoderivadas Paleoproterozoicas do Complexo Caicó, Domínio Rio Piranhas-Seridó e Domínio Jaguaribeano; Rochas Metamórficas Paraderivadas Neoproterozoicas do Grupo Seridó e do Domínio Rio Piranhas-Seridó; e Rochas Ígneas (plutônicas) oriundas de manifestações magmáticas que acometeram a Província Borborema durante o Neoproterozoico.

### *Domínio Jaguaribeano (DJ)*

Conforme apontado por Angelim (2007) Domínio Jaguaribeano acontece numa estreita faixa na direção NE-SW no extremo oeste do estado, limitando-se a leste com o Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS) pela zona de cisalhamento Portalegre. Além disso, representa uma entidade geológica do paleoproterozoico, constituída principalmente por litotipos do Complexo Jaguaretama, Grupo Serra de São José e ortognaisses da Suíte Serra do Deserto (Pfaltzgraff, 2010).

### *Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS)*

Esse Domínio ocupa uma área extensa da porção central do estado, onde se localiza os municípios desta pesquisa e se limita tectonicamente a oeste com o Domínio Jaguaribeano (DJ) pela zona de cisalhamento Portalegre e, a leste, com o Domínio São José do Campestre (DSJ) por meio da zona de cisalhamento Picuí-João Câmara (Angelim *et al.*, 2007).

Sua base constitui-se de rochas metaplutônicas e metavulcanossedimentares do paleoproterozóico, com possíveis remanescentes do arqueano (Complexo Caicó - gnaisses e migmatitos, predominantemente) e por uma suíte de *augen* gnaisses graníticos paleoproterozóicaorosiriana (Suíte Poço da Cruz - augengnaisses paleoproterozoicos/orosirianos). Estes, por fim, são cobertos por rochas do Grupo Seridó (Neoproterozoico/Ediacarano), onde se encontra as principais minerações do estado para scheelita, ferro e ouro, além de gemas e pedras ornamentais associadas a pegmatitos intrusivos na região (Pfaltzgraff, 2010).

### *Complexo Caicó (PP2cai)*

O Complexo Caicó é constituído por uma unidade inferior e mais antiga de natureza metavulcanossedimentar e outra unidade metaplutônica e mais jovem, entretanto, em vários locais essas unidades encontram-se cartografadas de forma indivisa (Pfaltzgraff, 2010) e possui embasamento gnáissicomigmatítico, incluindo supracrustais mais antigas, em caráter subordinado (Angelim *et al.*, 2007).

### *Grupo Seridó (Ediacarano)*

Engloba as rochas metamórficas ediacaranas das formações Jucurutu, Equador e Seridó, respectivamente, da base para o topo da sequência (Pfaltzgraff, 2010).

### *Formação Jucurutu (NP3sju)*

A Formação Jucurutu é representada por biotita ± epidoto ± anfibóli-paragnaisses com intercalações de mármore, rochas calcissilicáticas e *skarns* e também de micaxistos, quartzitos, formações ferríferas, metavulcânicas, metaconglomerados basais e possíveis níveis de metacherts (Pfaltzgraff, 2010). E ainda, recobre grandes extensões do Complexo Caicó, preenchendo estruturas sinformais em contatos discordantes tectônicos ou de não conformidade sobre os litotipos desse embasamento. Os mármore e as formações ferríferas da Formação Jucurutu, junto com a tendência calcíticaquartzítica dos paragnaisses, indicam um ambiente de deposição marinho raso, entretanto, possui espessos horizontes de mármore em alguns locais da unidade (Angelim *et al.*, 2007).

### *Formação Seridó (NP3ss)*

Conforme apontado por Anglim *et al.* (2007), a Formação Seridó é a principal unidade litoestratigráfica da faixa dobrada em área de afloramento e ocorre também como segmentos alóctonos isolados sobre o embasamento gnáissico-migmatítico do Domínio São José do Campestre. É constituída essencialmente por micaxistos feldspáticos ou aluminosos de fácies xisto-verde baixo a anfibolito (granulito em locais restritos) (Pfaltzgraff, 2010).

Angelim *et al.* (2007) apontam ainda que, do ponto de vista econômico, esta unidade é muito importante por abrigar inúmeros corpos pegmatíticos com mineralizações metalíferas e gemas tais como, berilo e água marinha, tantalita e columbita, cassiterita, entre outros, além dos não metálicos como turmalina, quartzo, micas, feldspato e caulim.

### *Plutonismo Brasileiro (Ediacarano)*

Pfaltzgraff (2010) aponta que vários corpos plutônicos brasileiros são encontrados no estado potiguar com idades no intervalo de 590-570 Ma, agrupados nas suítes intrusivas São João do Sabugi, Itaporanga, Dona Inês, Catingueira e Umarizal, com corpos graníticos cujas características ainda não foram determinadas.

### *Suíte intrusiva São João do Sabugi (NP3δ2s)*

É constituída por gabros, gabronoritos, dioritos, quartzodioritos, quartzomonzonitos, com biotita e/ou anfibólio apresentando granulação fina a média e coloração cinza a preta e são encontrados como corpos isolados ou associados a corpos dos granitoides porfiríticos da Suíte Itaporanga (Pfaltzgraff, 2010). Os plutons desta suíte têm ampla distribuição no Domínio

Rio Piranhas-Seridó, sendo mais raros nos demais domínios tectônicos contidos no estado; suas rochas, quando associadas aos granitóides da Suíte Itaporanga (NP3(2it), exibem feições de campo indicativas de contemporaneidade entre os magmas máficos e os magmas félsicos (Angelim *et al.*, 2007).

#### *Suíte intrusiva Itaporanga (NP3(2it)*

Constitui-se como sendo o principal evento magmático brasileiro na Província Borborema e também no território norte-riograndense, em frequência de corpos plutônicos e volume de magma representado por extensos batólitos, possui conjunto de rochas graníticas, sinorogênicas brasileiras, associadas a rochas máficas a intermediárias (Angelim *et al.*, 2007). Seus litotipos são representados por anfibólio-biotita, variando a quartzomonzonitos, sienogranitos ou granodioritos, apresentando textura porfírica, com megacristais de feldspato potássico que podem atingir até cerca de 15 cm de comprimento (Pfaltzgraff, 2010).

#### *Granitóides Indiscriminados (NP3(i)*

Os Granitoides Indiscriminados, conforme Angelim *et al.* (2007) correspondem aos corpos de composição diversa, que por carência de dados geoquímicos e por vezes petrográficos, não foram enquadrados em nenhuma das suítes intrusivas descritas.

#### *Suíte intrusiva Dona Inês (NP3γ2di)*

Os plútons desta suíte ocorrem preferencialmente como corpos isolados, como o de Angicos, sob a forma de *sheets*, diques e *sills*, ou associados a algum corpo da Suíte Itaporanga e são encontrados nos domínios São José do Campestre, Rio Piranhas-Seridó e Jaguaribeano, intrudindo diferentes litologias (Angelim *et al.*, 2007). É composta por biotita (e/ou anfibólio) granitos a tonalitos, equigranulares, de granulação fina a média e coloração cinza-clara, além de variações microporfíricas de composição granítica, fácies com muscovita primária e granada são relativamente raras (Pfaltzgraff, 2010).

#### *Bacias Sedimentares Cretáceas*

De acordo com Pfaltzgraff (2010) as rochas sedimentares da Bacia Potiguar são responsáveis pela intensa atividade petrolífera do estado, uma vez que são geradoras e armazenadoras de hidrocarbonetos e destacam-se as rochas carbonáticas da Formação Jandaíra

(fabricação de cimento, cal, ração animal) e a Formação Açú (grande armazenador de água na região centro-norte), possuindo evolução tectônica relacionada aos esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior (Neocomiano), que culminaram com a separação das placas Sul-Americana e Africana.

#### *Formação Açú (K12a)*

Conforme Angelim *et al.* (2007) a Formação Açú é o principal aquífero da Bacia Potiguar e suas águas, explotadas como água mineral, são utilizadas em hotéis, abastecimento público e agricultura irrigada. É constituída por camadas espessas de arenitos que vão de médios a muito grossos, com coloração esbranquiçada, intercalações de folhelhos, argilitos verde-claros e siltitos castanho-avermelhados (Pfaltzgraff, 2010).

#### *Basalto Macau (E3βm)*

A unidade Basalto Macau é constituída por olivina-basaltos, basanitos, ankaratritos e nefelinitos alcalinos, com raros nódulos de peridotitos, granulação fina a afanítica, por vezes apresentando textura vesicular (Pfaltzgraff, 2010) e é o mais expressivo, em área aflorante, no extremo centro-norte do Rio Grande do Norte, próximo à cidade de Macau, em termos de relevo, Angelim *et al.* (2007) destacam os derrames da serra Preta a nordeste de Pedro Avelino, borda da Bacia Potiguar e o *neck* do pico do Cabugi, localizado no município de Angicos, no embasamento cristalino. O Pico situa-se na bifurcação de uma zona de cisalhamento transcorrente dextral, assemelhando-se estruturalmente a uma *fault jog* (Oliveira, 2019).

#### *Depósitos aluvionares (N4a)*

Os Depósitos Aluvionares ocorrem, conforme Angelim *et al.* (2007) ao longo dos vales dos principais rios que drenam o estado e são constituídos por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, com níveis irregulares de cascalhos formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos cursos médios dos rios. Pfaltzgraff (2010) destaca ainda que esses depósitos de canal constituem-se nos principais jazimentos de areia em volume de reservas para uso na construção civil, enquanto nos depósitos de planície (mais conhecidos como áreas de várzea) encontram-se as argilas vermelhas e, subordinadamente, as argilas brancas, como é o caso do município de Itajá.

Os aspectos geomorfológicos são reflexos das condições geológicas, fatores

endógenos e exógenos que atuam juntos na esculturação da superfície terrestre e sua análise é de fundamental importância para compreender o contexto geomorfológico da área (Sousa, 2016).

Geomorfologicamente, conforme Ab'Sáber (1985) e IBGE (2009), os municípios encontram-se no domínio morfoclimático das Caatingas e nas Depressões Intermontanas e Interplanálticas Semiáridas. Quanto aos Domínios morfoestruturais, encontra-se entre as Bacias Sedimentares Fanerozoicas ao Norte, Cinturões Móveis Neoproterozoicos ao Sul e Depósitos Sedimentares Quaternários na região próxima ao Piranhas-Açu.

Dessa forma, a situação geomorfológica da Região Central Potiguar encontra-se alicerçada em condição de semiaridez, áreas predominantemente aplainadas com relevo suavemente ondulado que chega até 700 metros de cotas altimétricas.

Para a área de estudo (Figura 15), a CPRM (2020) aponta para as seguintes formas geomorfológicas: Chapadas e Platôs, Inselbergs, Domínio de colinas amplas e suaves, Domínio de morros e serras baixas, Escarpas serranas e Superfícies aplainadas degradadas. Para tanto, descreve-se a seguir sobre cada forma encontrada a partir de Guerra e Guerra (2015).

#### *Planaltos e Platôs*

Geomorfologicamente a chapada é um planalto sedimentar típico que trata de um acamamento estratificado que, em certos pontos, encontra-se nas mesmas cotas da superfície de erosão, talhadas em rochas pré-cambrianas e que no Nordeste, podem corresponder a verdadeiros testemunhos da antiga cobertura cretácea da área. Localiza-se no extremo sul de Santana do Matos, já na divisa com o município de Florânia.

#### *Domínio de colinas amplas e suaves*

As colinas são usadas pelos geomorfólogos para indicar pequenas elevações do terreno com declives suaves e inferiores, são formas intermediárias, complexas e constituem-se de formas de erosão. Localiza-se na porção Norte do Angicos, marcada por uma fazenda particular com extensos terrenos cobertos por vegetação arbórea-arbustiva e carnaúbas.

#### *Domínio de morros e serras baixas*

Os morros são montes pouco elevados com altitude de aproximadamente de 100 m a 200 m, já as serras, por sua vez, são terrenos acidentados com fortes desníveis. Localiza-se na

porção Leste de Santana do Matos, marcada fortemente pela presença de aerogeradores seguindo pelas cidades circunvizinhas.

### *Escarpas serranas*

São rampas ou aclives de terrenos que aparecem nas bordas de planalto, serras, testemunhos etc. As escarpas de erosão são aquelas cujos abruptos foram escavados por agentes erosivos. Destaca-se para a área, a Serra de Santana, ao sul de Santana do Matos. A respectiva Serra, conforme Oliveira (2019) trata-se de um platô arenítico conservado do embasamento cristalino, rodeada por cimeiras cristalinas em que à medida que as isoípsas diminuem, o grau de epigenia aumenta e em cotas menos elevadas (300-600 m) o relevo passa a ser representado por um conjunto de vales.

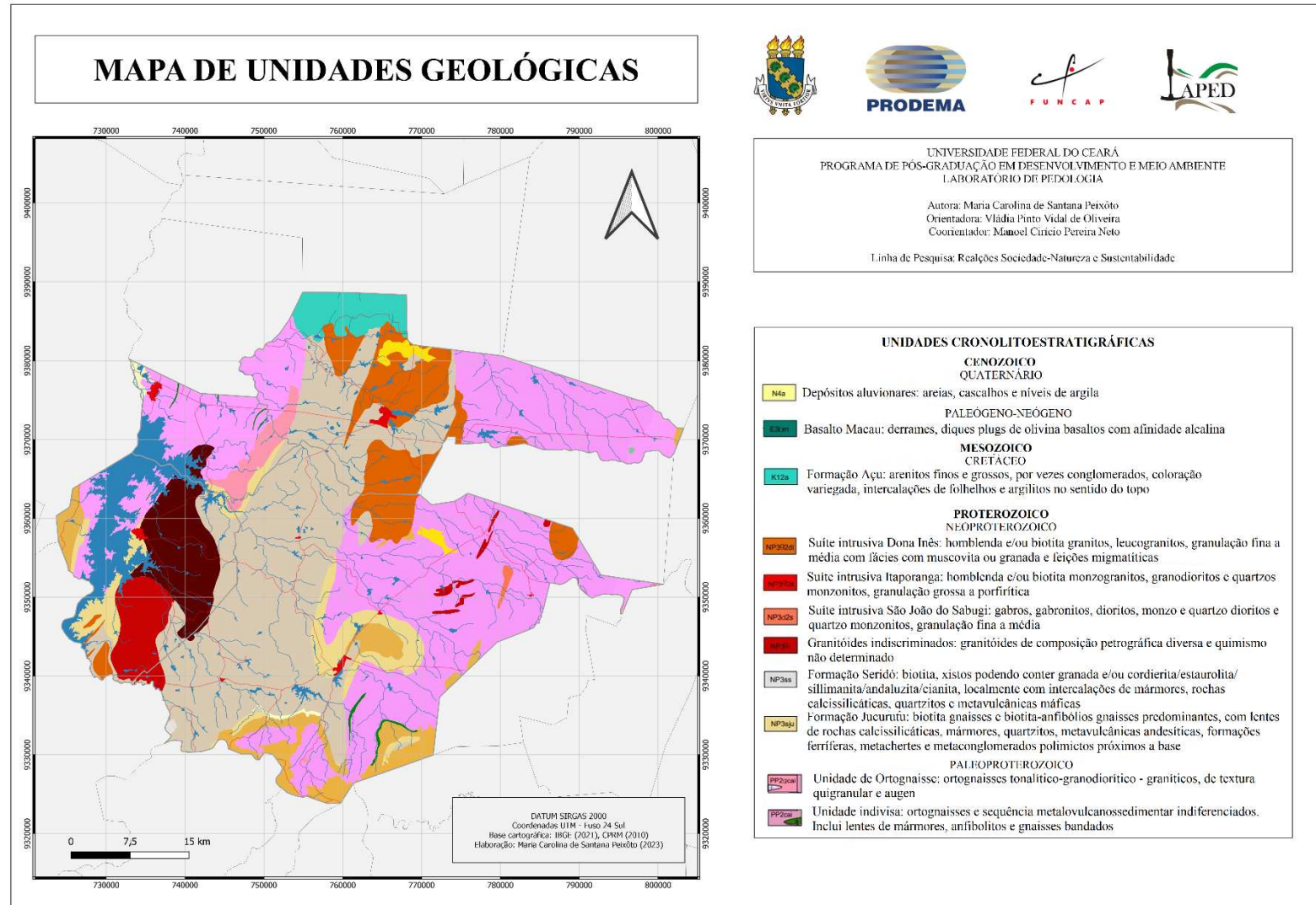
### *Inselbergs e Cristas Residuais*

Os Inselbergs são formações rochosas isoladas e abruptas que se elevam sobre um terreno circundante mais plano, como “ilhas de montanha” em uma paisagem desgastada pela erosão, com resíduos de pediplanação em climas áridos quentes e semiáridos. Para a área de estudo, destaca-se o neck vulcânico exumado Pico do Cabugi (Angicos).

### *Superfícies Pediplanadas*

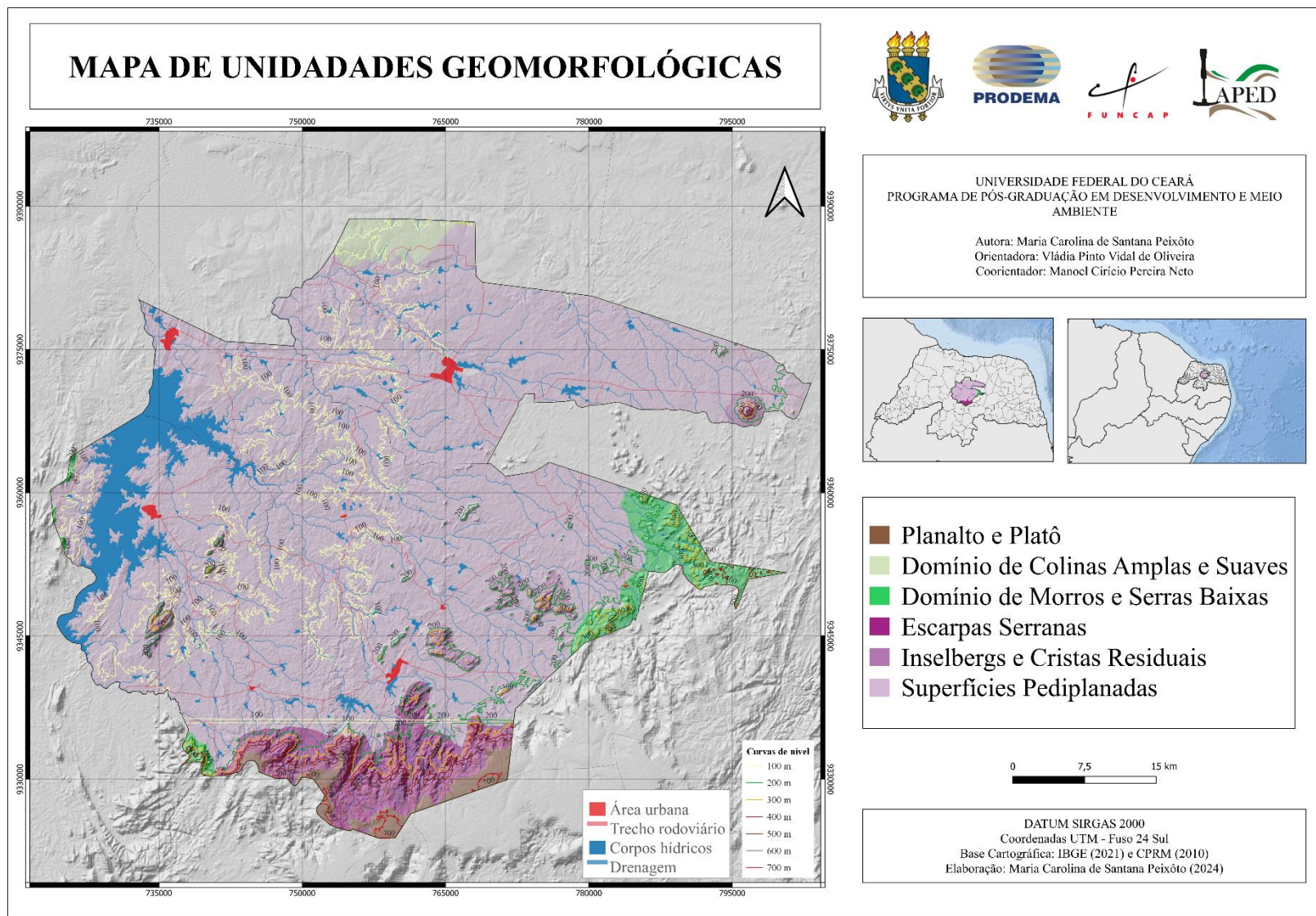
As superfícies pediplanadas são superfícies de erosão que cortam superfícies diversas com feições planas a fracamente onduladas. Encontra-se em grande parte da área de estudo.

Figura 14 - Mapa das Unidades Geológicas



Fonte: Elaborado pela autora a partir de CPRM (2010)

Figura 15 - Mapa de Unidades Geomorfológicas



Fonte: Elaborado pela autora a partir de CPRM (2010)

## 4.2 Aspectos Hidroclimáticos

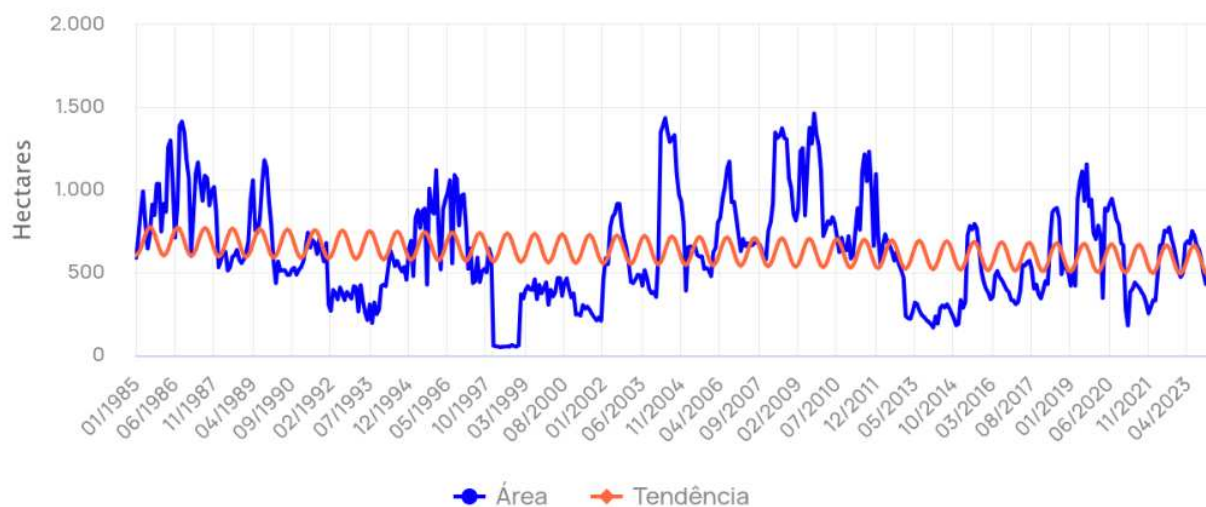
De acordo com Angelim *et al.* (2007), com relação à hidrografia potiguar, as principais bacias do estado são a do Piranhas-Açu, Apodi-Mossoró, Potengi e Ceará Mirim. Quase todos os seus rios se caracterizam por ser de regime temporário e por nascerem em área de cristalino, encontrando-se secos durante a maior parte do ano.

O rio Piranhas-Açu é responsável pela maior Bacia do estado. Nasce no estado da Paraíba, na região Oeste, e desemboca no litoral Norte potiguar, na região próxima à cidade de Macau.

Nessa região próxima à desembocadura do Piranhas-Açu, a água penetra no baixo curso e forma as salinas, uma das atividades econômicas mais expressivas do estado. Nas áreas baixas referentes à zona salineira encontram-se os solos com alto teor de sais. No interior, não há encontro com a água salina (do mar), podendo ser aí encontrados os solos aluviais eutróficos, muito cultivados e de grande importância econômica para a região (Angelim *et al.* 2007).

Para os municípios de Angicos, Itajá, São Rafael e Santana do Matos, conforme dados do MapBiomias Água (2023) apontam para os seguintes resultados de superfície de água (Figuras 16, 17, 18 e 20), onde os gráficos representam a série histórica, em área, da superfície d'água nos municípios e no período selecionado (de 1985 a 2023). Em azul, a área é calculada a partir dos dados mensais, em laranja, a tendência, baseada em um modelo harmônico.

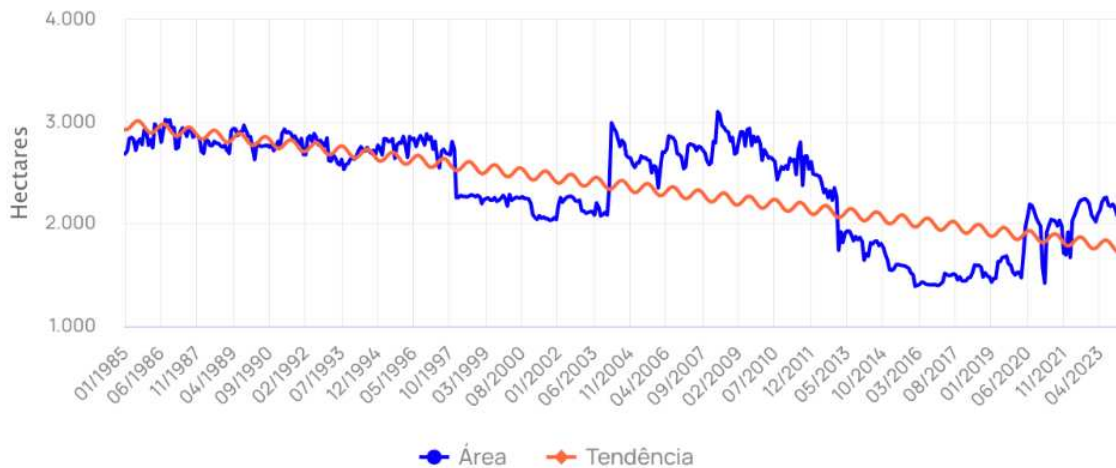
**Figura 16** – Série temporal de Superfície d'água – Angicos



**Fonte:** a partir de dados do MapBiomias (2023)

A partir do gráfico, percebe-se que a área corresponde até 1.500 ha e os anos que ficaram abaixo da tendência esperada corresponde a 1988, 1990, 1992 a 1995, 1997 a 2002, 2004, 2005, 2012, 2013, 2014, 2017, 2018, 2021 e 2022. Enquanto que os demais anos ficaram acima da tendência esperada.

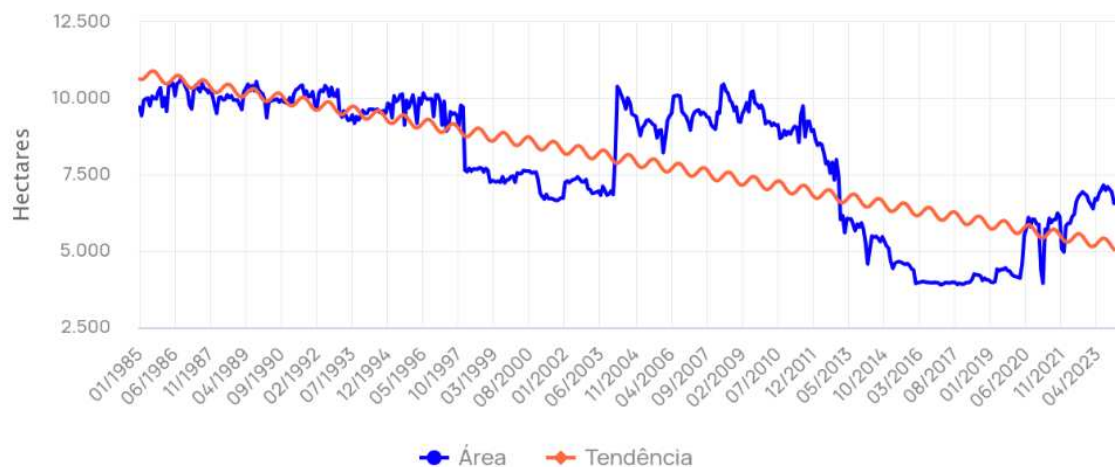
**Figura 17** – Série temporal de Superfície d'água – Itajá



**Fonte:** a partir de dados do MapBiomias (2023)

Para o município de Itajá a área corresponde até pouco mais de 3.000 ha e possui um *gap* na tendência que vai de 1997 a 2003 e de 2013 a 2020, com o menor ano referente a 2016. Entre os anos de 1985 até 1996 e de 2020 a 2022 a superfície d'água ficou, de maneira geral, dentro do esperado para a tendência. Já para os anos de 2004 a 2012 corresponde aos anos de maior área, com o ano de 2009 ultrapassando a marca dos 3.000 ha.

**Figura 18**– Série temporal de Superfície d'água – São Rafael



**Fonte:** a partir de dados do MapBiomias (2023)

Para São Rafael, os dados mostram que esse é o município com a maior área de superfície d'água, chegando a pouco mais de 10.000 ha nos anos de 2004, 2006 e 2010. Entre os anos de 1986 a 1997 e de 2020 a 2021, os dados correspondem ao limite da tendência esperada. Já entre os anos de 1997 a 2003 e 2012 a 2020 o gráfico mostra uma queda relativa, com valores que transicionam entre 3000 e 4000 ha.

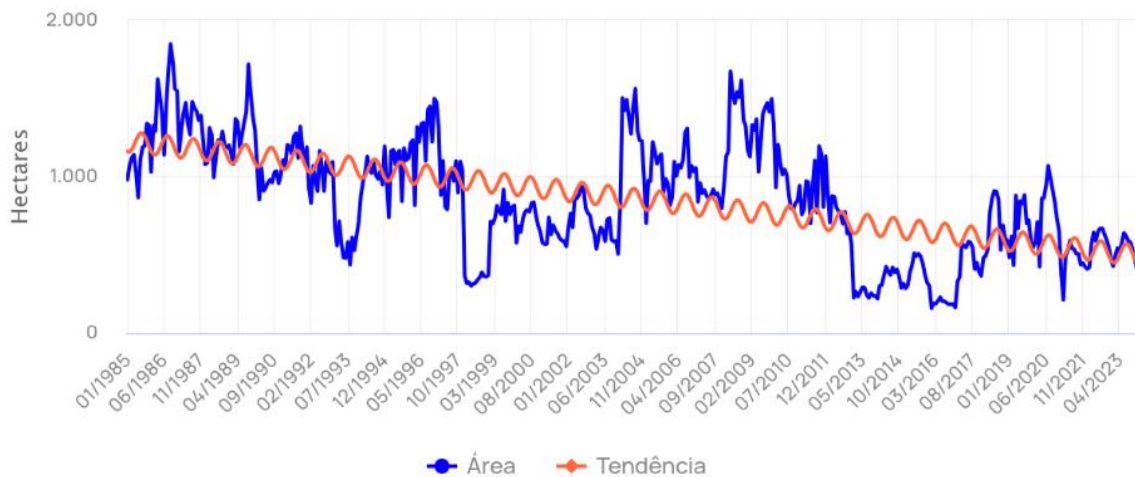
Além desses dados, vale salientar que nos municípios de Itajá e São Rafael foi inserida uma barragem em área de planície, a Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, como pode ser observado na Figura 19.

**Figura 19** – Vista da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves - Itajá



**Fonte:** acervo da autora (2024)

A barragem se encontra na Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu e é o maior reservatório de água do estado. Abrange os municípios de Jucurutu, São Rafael, Itajá e Assú, na região central do estado do Rio Grande do Norte. Conforme a ponta o DNOCS (2023) com a construção da barragem e os incentivos governamentais, especialmente nas décadas de 1970 e 1980, favoreceram a implantação de um novo modelo de agricultura voltada para uma produção em larga escala e para o mercado externo, provocando impactos tanto na esfera econômica quanto ambiental e social. Foi a barragem também a responsável pela perenização do rio Piranhas-Açu, e possui ainda múltiplos usos além do abastecimento humano, como a agricultura, piscicultura, pecuária, sendo considerada, assim, como a grande mola propulsora da economia dos municípios que compõe o Vale do Açu (DNOCS, 2023).

**Figura 20** – Série temporal de Superfície d'água – Santana do Matos

**Fonte:** a partir de dados do MapBiomias (2023)

Por fim, para Santana do Matos, apesar de ser o maior município em área territorial, é também o menor município em área de hectare por superfície d'água. Os dados revelam queda no início e fim dos anos 1990, início dos anos 2000 e entre os anos de 2013 a 2018. Os maiores valores são encontrados entre a década de 1980, entre 1994 e 1996, entre 2004 e 2012 e entre 2019 e 2020, com os anos de 2022 e 2023 dentro da expectativa da tendência.

Já no que diz respeito às águas subterrâneas, a área de estudo se encontra completamente inserida no contexto do Aquífero Cristalino, que ocupa a maior extensão territorial do estado e tem sua composição geológica a partir das rochas do embasamento cristalino (Trolei; Silva, 2018). O autor afirma ainda que o aquífero é funcionalmente limitado tanto em qualidade (vazões que variam de 2 a 16 m<sup>3</sup>/hora) quanto em qualidade (água com elevado teor de salinidade). Além de salinas, as águas contam com teores de sólidos totais dissolvidos superiores a 2.000mg/L e com taxas de infiltração essencialmente nas zonas de fraqueza das rochas (fendas e fissuras), podendo serem mais elevadas sob os domínios das planícies aluviais e/ou solos com cobertura vegetal (MZPAS, 2018).

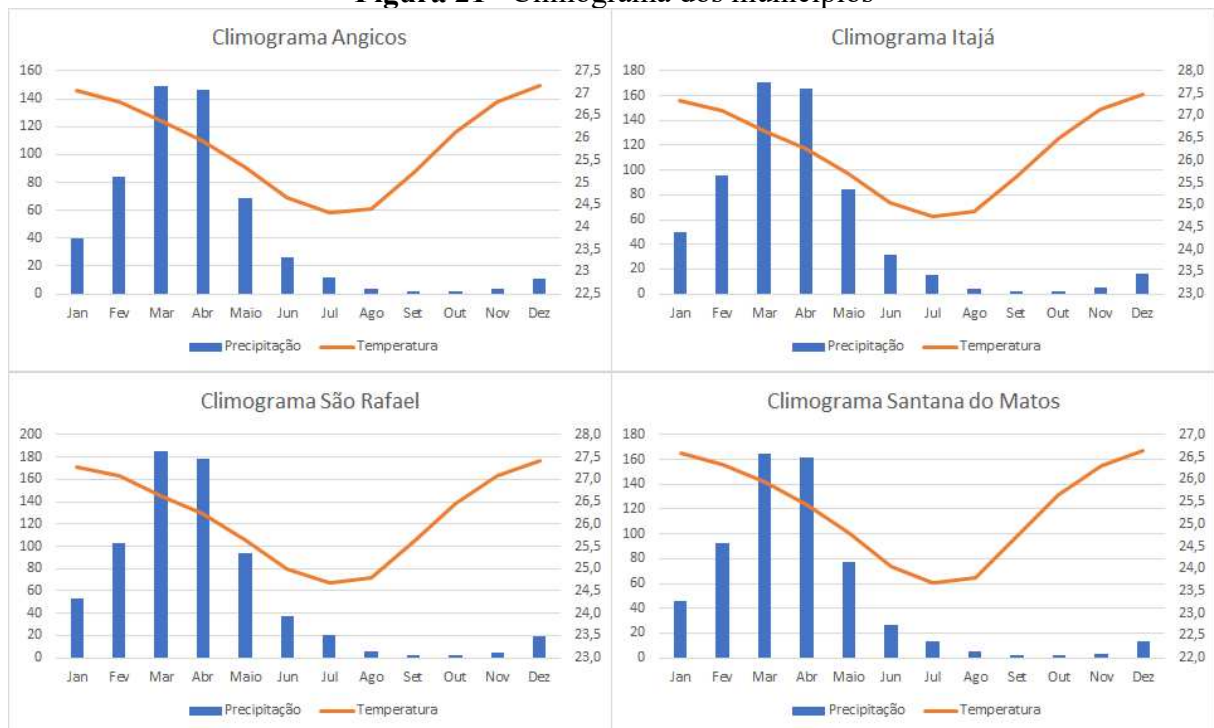
Com relação ao clima da região, Mendes, Costa e Silva (2017) já apontavam, ao fazer uma análise de tendência e associação com as condições de desertificação no Rio Grande do Norte, no período de 1979 a 2009, que os percentis da precipitação para o estado mostram que as chuvas na região central e sul potiguar não ultrapassam os 900 mm e as áreas, com precipitação abaixo do percentil P25, se concentram na região do Seridó e na região central, onde se localiza os municípios de Angicos, Itajá, São Rafael e Santana do Matos.

Os autores afirmam ainda que as chuvas nessas áreas possuem uma distribuição interanual bastante irregular com índice de desertificação negativo bastante elevado e que essa

situação de escassez de chuvas se agrava ainda mais pelos longos períodos de estiagem e pelo alto desmatamento na região.

A partir de dados de Alvares *et al.* (2013), tem-se os climogramas dos municípios a seguir (Figura 21). Por serem municípios circunvizinhos, não há tanta diferença entre os resultados. Percebe-se, pois, que o início das chuvas começa no mês de dezembro e a quadra chuvosa, com maior intensidade pluviométrica, se concentra nos meses de fevereiro, março, abril e maio, com alguns anos (excepcionais) se estendendo até os meses de junho e julho, como foi o caso do ano de 2024 (Figura 22)

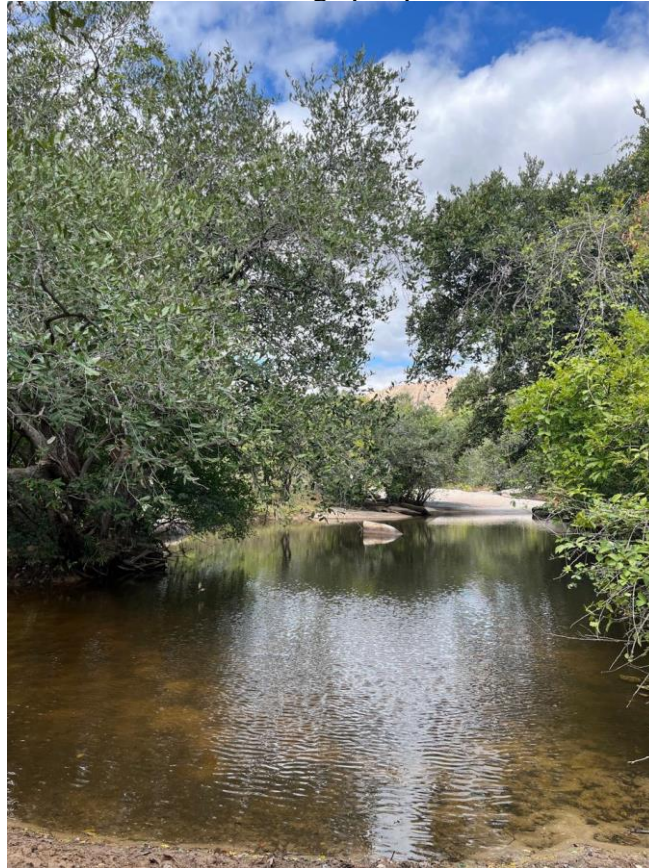
**Figura 21**– Climograma dos municípios



**Fonte:** a partir de dados de Alvares *et al.* (2013)

É importante ressaltar ainda a importância dessas chuvas para a região. Uma vez que ajuda na regeneração da caatinga e na retenção temporária de água em pequenas marmitas e fendas, funcionando como micro-habitat para espécies locais, além de se tornar um atrativo turístico tanto para a população residente como para turistas.

**Figura 22** – Vista de área de inselberg após períodos de chuva em São Rafael



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Além disso, ressalta-se aqui a importância de tratar sobre os eventos extremos na região, que são “desastres naturais que acarretam impactos significativos sobre a sociedade e sua infraestrutura instalada, gerando prejuízos sociais, relativos às vidas perdidas ou afetadas, e prejuízos econômicos” (MZPAS, p. 166, 2018).

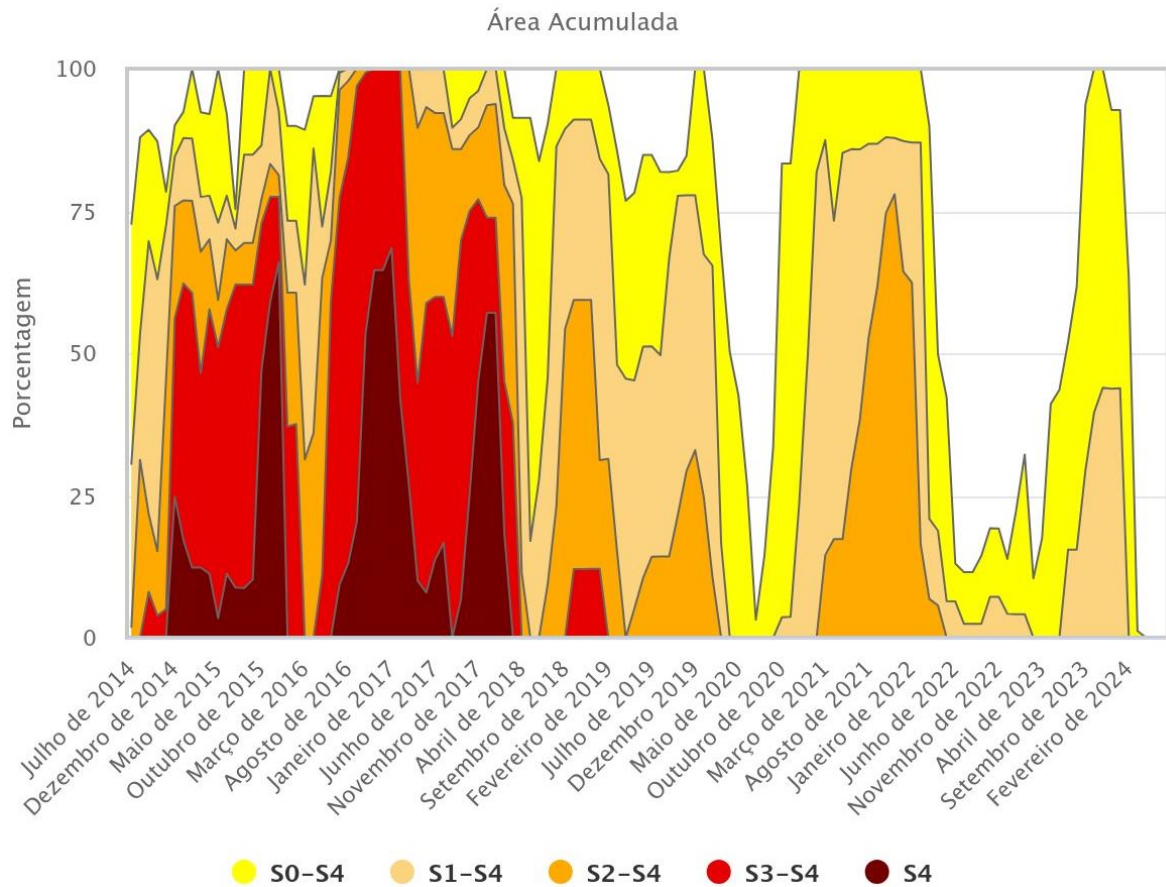
Para tanto, elaborou-se um quadro (Quadro 10) a partir de MZPAS (2019) com os principais eventos extremos acometidos pelos municípios em questão.

**Quadro 10** – Eventos extremos na região

<b>Município</b>	<b>Inundações, alagamentos e enxurradas (1991 a 2012)</b>	<b>Secas e estiagem (1991 a 2012)</b>
Angicos	3	12
Itajá	1	5
São Rafael	3	7
Santana do Matos	2	15

**Fontes:** dados a partir de MZPAS (2019)

Corroborando os fatos, tem-se a seguir uma compilação de seca (Figura 23) no estado do Rio Grande do Norte dos últimos 10 anos segundo o Monitor de Secas (ANA, 2024).

**Figura 23** – Dados de seca no Rio Grande do Norte

Em que: S0 – Seca Fraca; S1 – Seca Moderada; S2 – Seca Grave; S3 – Seca Extrema; S4 – Seca excepcional. **Fonte:** a partir de ANA, 2024.

A partir dos dados acima, é possível aferir que os anos com seca excepcional no estado potiguar foi equivalente aos anos de 2014 a 2018, com os anos de 2019 a 2024 intercalados com meses/anos de seca fraca, moderada ou grave.

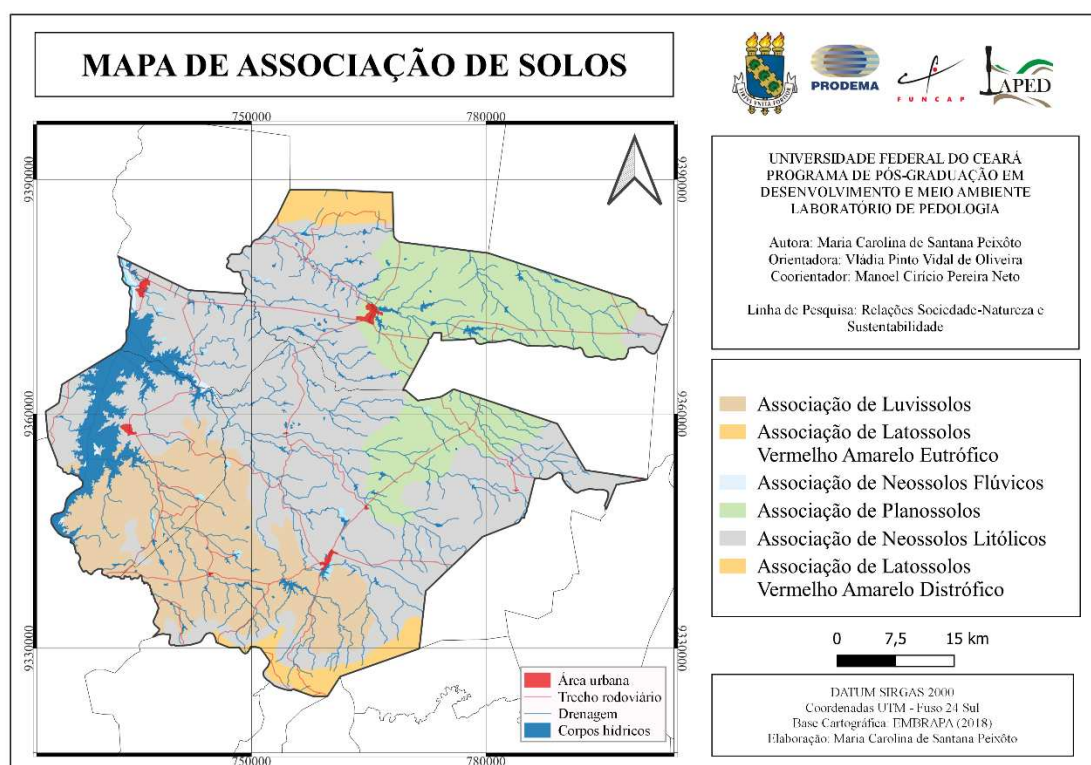
### 4.3 Aspectos pedológicos

Moro *et al.* (2016) já afirmavam que os solos derivados de rochas cristalinas são mais ricos em nutrientes, embora rasos e pedregosos limitando a retenção de água; os solos derivados de rochas sedimentares são pobres em nutrientes, apesar de apresentarem maior profundidade e reter mais água que os primeiros; enquanto que nas áreas de inselbergs ocorrem solos pouco profundos ou mesmo sua ausência. Seguindo essa visão, Souza (2023) aponta que a flora da caatinga apresenta diferente biodiversidade nos ambientes de terrenos cristalinos, sedimentares e inselbergs, criando assim paisagens heterogêneas.

Accioly (2000) e Araújo (2002) já mostravam que a desertificação pode ser vista como um ciclo vicioso de degradação em que a erosão causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos, levando a redução de biomassa e tornando o solo cada vez menos capaz de reter água (Mendes; Costa; Silva, 2017).

Para os solos da área estudada, pode-se destacar os Luvisolos, Latossolos Vermelho Amarelo Eutrófico e Distrófico, Neossolos Flúvicos e Litólicos, Planossolos e Neossolos Litólicos, como observado na Figura 24.

**Figura 24** – Mapa de associação de solos



**Fonte:** elaborado pela autora a partir de EMBRAPA (2018)

### *Luvisolos*

São solos quimicamente ricos e apresentam elevado potencial nutricional e significativos teores em minerais primários facilmente intemperizáveis e podem ser moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos (Oliveira, 2011; Embrapa, 2018). Apesar disso, a susceptibilidade desses solos à erosão é aumentada devido as chuvas do semiárido serem concentradas, sendo comum também a presença de calhaus e matacões na superfície do terreno, dificultando o seu preparo para o cultivo, mas protegendo-o contra a erosão. (Oliveira, 2011).

No semiárido, a acentuada deficiência hídrica aliada a algumas características físicas pouco favoráveis à agricultura, como a pouca espessura e pedras à superfície faz com que sua principal utilização seja pecuária extensiva (Lepsch, 2010).

#### *Latossolos Vermelho Amarelo Eutrófico e Distrófico*

Os Latossolos são solos profundos, com pouca diferenciação entre os horizontes e são também bastante intemperizados, apresentando argilas de baixíssima atividade, pouca retenção de bases e ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis (Resende *et al.*, 2002).

A maioria dos Latossolos se localizam em relevo aplainado a suave ondulado, de fácil preparo para o plantio e bastante utilizados para culturas extensivas com permeabilidade em geral muito boa (Oliveira, 2011).

Esses solos são típicos das regiões equatoriais e tropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora também possam ocorrer em áreas mais acidentadas (EMBRAPA, 2018). Em regiões com longas estações secas, comumente estão sob vegetação pouco densa, com arbustos retorcidos e tortuosos, conhecidos como cerrados ou savanas edáficas (Lepsch, 2010).

#### *Neossolos*

Os Neossolos compreendem solos pouco desenvolvidos compostos por material mineral ou por material orgânico com pouca espessura e não apresentam nenhum tipo de horizonte B diagnóstico e alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2018). São constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso em consequência da baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, das características do próprio material do relevo, que em conjunto ou isoladamente impele ou limita a sua evolução (Oliveira, 2011).

Os Neossolos Litólicos são solos com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície. Apresentam severa restrição ao aprofundamento do sistema radicular das plantas, agravando essa limitação o fato de grande parte desses solos ocorrerem em relevo com rochas expostas, entretanto, é comum encontra-se neles reflorestamento e pastagens e até culturas como a cana de açúcar (Oliveira, 2011). Além disso, podem ter fortes limitações ao uso agrícola devido a alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade, rochosidade, e aos declives das áreas serranas (Pereira; Silva, 2007).

Os Neossolos Flúvicos são derivados de sedimentos aluviais, com horizonte A assente sobre a camada ou horizonte C. Desenvolvem-se em relevos planos e têm espessura suficiente o sistema radicular dos cultivos, mas estão sujeitos a constantes inundações (Lepsch, 2010). Costa (2017) afirma que são solos de grande potencialidade para a agricultura, não sofrendo maiores restrições ao seu uso.

#### *Planossolos*

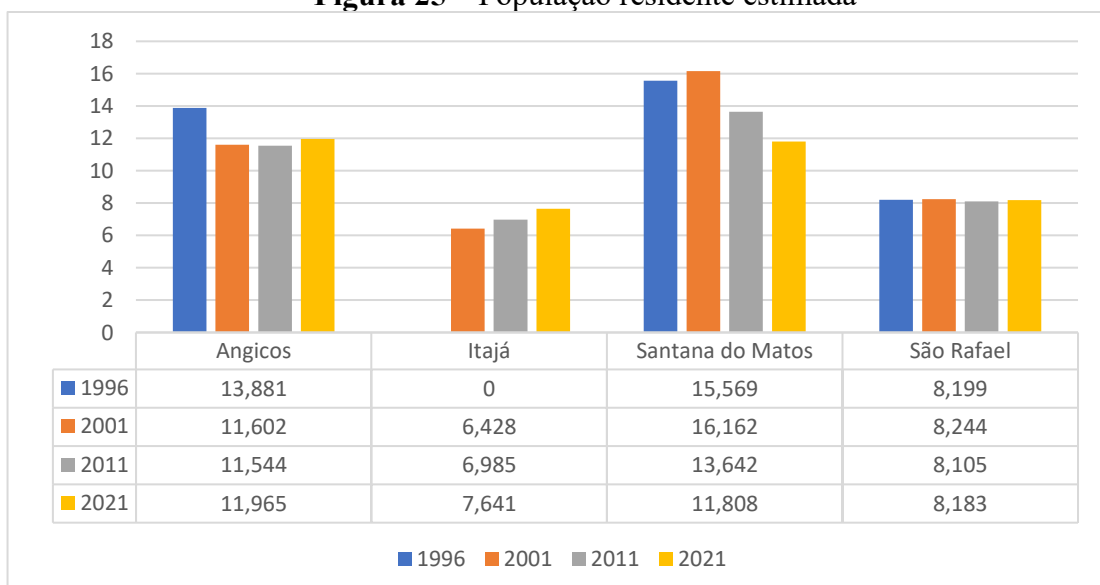
São solos minerais imperfeitamente ou mal drenado, com horizonte subsuperficial eluvial, seguido horizonte B plânico, sua baixa condutividade hidráulica do horizonte plânico determina a formação de um lençol freático suspenso temporário nos períodos chuvosos do ano (Oliveira, 2011). Além disso, a maior parte desse solo possui limitações físicas para a agricultura (Lepsch, 2010).

Os Planossolos ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições do próprio solo e as condições ambientais favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, até mesmo sob condições de clima semiárido (EMBRAPA, 2018).

#### **4.4 Aspectos Socioeconômicos**

No que se refere ao contingente populacional dos municípios em questão, o gráfico com a perspectiva de crescimento populacional está compilado com informações a partir de dados obtidos na Plataforma SIDRA (IBGE, 2023) conforme observa-se na Figura 25.

**Figura 25 – População residente estimada**



**Fonte:** a partir de dados do IBGE (2023)

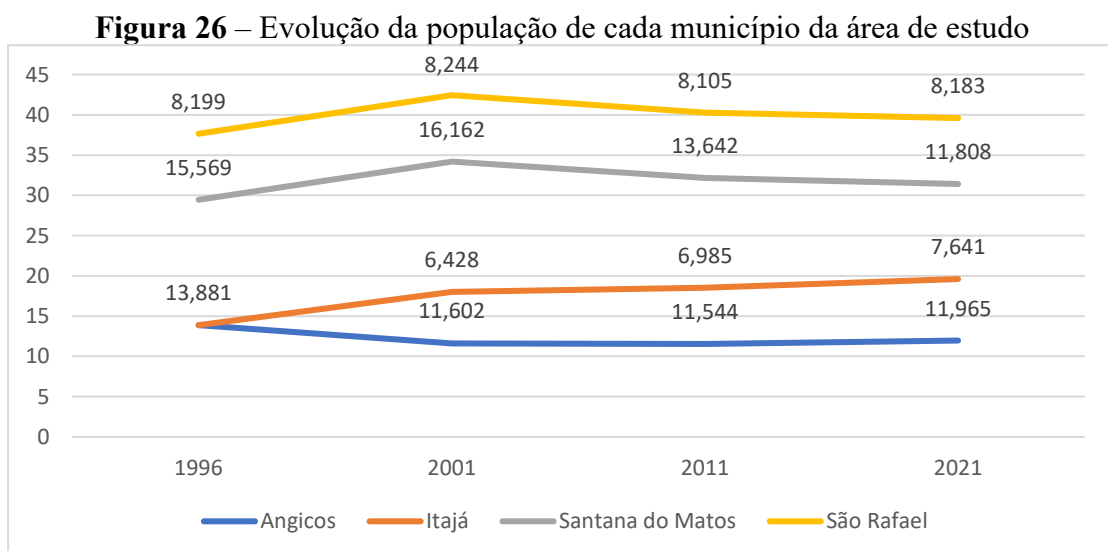
Esses dados mostram a população que reside/residia no município na época em que a pesquisa fora realizada. Com isso, observa-se que o município de Angicos, com área equivalente a 741,582 km<sup>2</sup>, teve seu maior contingente populacional na década de 1990, com 13.881 habitantes. A partir disso, obteve queda relativa no início dos anos 2000 e na década de 2010, e pequeno aumento no ano de 2021, com 11.965 hab.

O município de Itajá é o menor em se tratando de área (203,624 km<sup>2</sup>) e população. Embora tenha 32 anos de emancipação política (fundação em 1992), não foi possível obter dados para a década de 1990. Já para as duas primeiras décadas dos anos 2000 sua população manteve-se quase que com o mesmo valor, apenas com uma pequena diferença (6.428 em 2001 e 6.985 em 2011). Para o ano de 2021 também obteve relativo aumento, com 7.641 hab.

Já Santana do Matos é o maior município em área, com 1.422,268 km<sup>2</sup>, e em população. Teve relativo aumento da década de 1990 (15.569) e 2000 (16.162) e manteve declínio nas duas décadas seguintes, com 13.642 na década de 2010 e 11.808 no ano de 2021.

Por fim, São Rafael se manteve praticamente com a mesma população nas quatro décadas analisadas. Com área territorial corresponde a 469,101 km<sup>2</sup>, conservou sua população entre os 8 mil habitantes, com maior número na década de 2000, com 8.244 hab.

A partir do gráfico de linhas (Figura 26) é possível ter melhor visão da evolução da população em cada município.



Fonte: a partir de dados do IBGE (2023)

Já com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano em que

envolve os parâmetros de longevidade, educação e renda, varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1 maior será o desenvolvimento humano (PNUD, 2024), os dados obtidos pelo IBGE (2023) apontam para os seguintes resultados, conforme observados da Figuras 27, 28, 29 e 30.

**Figura 27 – IDHM de Angicos**



Fonte: a partir de dados do IBGE (2023)

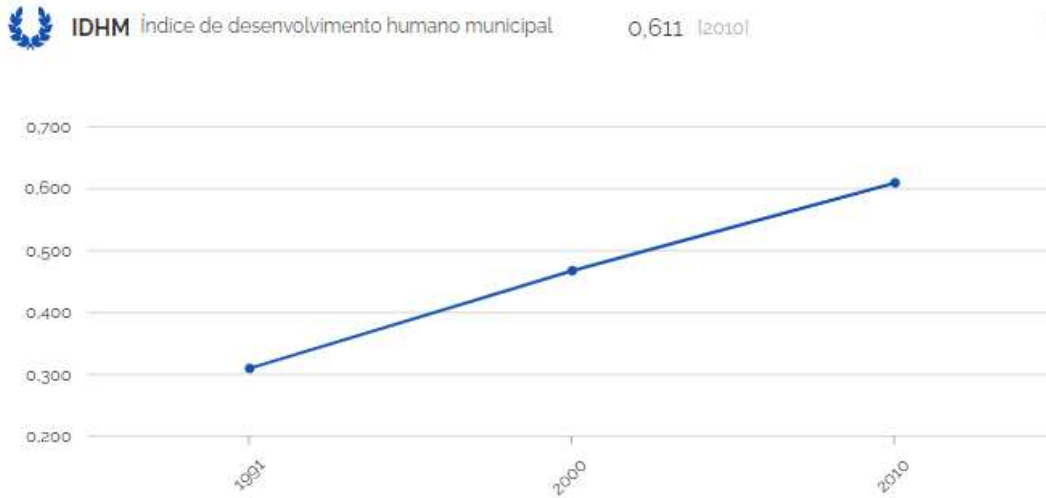
Angicos e Itajá lideram o ranking entre os municípios estudados, com um total de 0,624 cada. São Rafael também mantém o seu IDHM acima de 0,6 e Santana do Matos possui um total de 0,591, a menor taxa entre os municípios.

**Figura 28 – IDHM de Itajá**



Fonte: a partir de dados do IBGE (2023)

**Figura 29 – IDHM de São Rafael**



Fonte: a partir de dados do IBGE (2023)

**Figura 30 – IDHM de Santana do Matos**



Fonte: a partir de dados do IBGE (2023)

Assim, os resultados de IDHM dos municípios revelam um quadro de desigualdades internas, mesmo estando inseridos na mesma região semiárida e enfrentem desafios socioeconômicos e ambientais semelhantes. Embora alguns municípios apresentem leve desempenho superior, os resultados são insuficientes para garantir bem-estar socioeconômico e ambiental de forma plena, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à redução dessas desigualdades, de maneira a promover avanços sustentáveis no IDHM.

#### 4.5 Uso e Cobertura<sup>3</sup>

No que diz respeito à vegetação e cobertura do solo, esse é um dos elementos mais significativos na estrutura da paisagem, uma vez que a vegetação interfere na formação, conservação e regeneração do solo (Sousa, 2016). É a partir da cobertura da terra que é possível relacionar as condições reais de degradação e impacto, manejo e conservação, bem como o monitoramento, gestão e planejamento.

Oliveira Júnior e Pereira (2023) utilizaram a nomenclatura “mosaico de agricultura-pecuária” para a classe que engloba “mosaico de usos”, que são áreas de uso agropecuário sem distinção clara entre pastagem e agricultura. Baseado nessa premissa, esta pesquisa adotou apenas a nomenclatura “agropecuária” para facilitar o entendimento da classe.

Além disso, o próprio MapBiomias (2025a) nos seus códigos de legenda divide essas classes em Natural e Antrópico (Quadro 11). Para tanto, a classe natural compreende as formações vegetacionais e os elementos físicos da área estudada que mantêm as características predominantemente originais ou resultantes de processos ecológicos naturais, ainda que sujeitos a pressões antrópicas indiretas. Já a classe antrópica corresponde às áreas cuja cobertura e uso resultam diretamente da ação humana, com modificações significativas de paisagem original para fins sociais e econômicos. Para exemplificar isso, Spala (2023) quantifica a conversão da cobertura da terra de natural para antrópico utilizando essa premissa.

**Quadro 11:** Classes de uso e cobertura para os níveis Natural e Antrópico

<b>Classes de Uso e Cobertura</b>
<b>Natural</b>
Formação Florestal
Formação Campestre
Formação Savânica
Rios
<b>Antrópico</b>
Pastagem
Agropecuária
Áreas Urbanizadas
Áreas não Vegetadas
Lavouras Perenes
Lavouras Temporárias

**Fonte:** Adaptado de MapBiomias (2021)

Conforme os resultados obtidos no MapBiomias, a área analisada possui como classes os seguintes atributos: Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Mosaico de Usos, Outras Áreas não Vegetadas (todas direcionadas para o bioma Caatinga), Pastagem,

<sup>3</sup> Um artigo sobre esse tópico foi publicado como artigo na Revista Geoconexões, disponível no link: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18116>

Área Urbanizada, Corpos hídricos, Outras Lavouras Temporárias e Outras Lavouras Perenes (Quadro 12). A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2015) afirma que Florestas são áreas que medem mais de 0,5 ha com árvores maiores que 5 m de altura e cobertura de copa superior a 10%, ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ*, porém não inclui a terra que está predominantemente sob uso agrícola ou urbano (Serviço Florestal Brasileiro, 2018).

**Quadro 12:** Descrição dos atributos de uso e cobertura

<b>Código</b>	<b>Classes</b>	<b>Descrição</b>
3	Formação Florestal (Caatinga arbórea e Mata seca)	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.
4	Formação Savânica (Caatinga arbórea, arbórea-arbustiva)	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo - Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.
12	Formação Campestre (Caatinga arbustiva com gramíneas e carnaúbas)	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva).
15	Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas
21	Mosaico de Usos (Agropecuária)	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
24	Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
25	Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
33	Corpos hídricos	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
41	Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir
48	Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste e dendê na região nordeste do Pará, porém sem distinção entre eles.

**Fonte:** Adaptado de MapBiomias (2021)

Com relação à cobertura vegetal, há predominância de vegetação de caatinga, e conforme aponta dados do MapBiomias (2022), é representada por 10,1% do território nacional e equivale a 86 de 851 Mha. A caatinga teve ainda perda de vegetação nativa entre os anos de 1985 a 2022 de 11%, em torno de 6,0 Mha. Em porcentagem isso significa que o bioma possuía, em 1985, 56% de sua vegetação referente à vegetação nativa, e em 2022 esse número caiu para

51%. Para o estado do Rio Grande do Norte, os dados apontam que 55% do território potiguar em 1985 correspondia à vegetação nativa e 14% à pastagem; já para o ano de 2022, 50% do território era equivalente à vegetação nativa (com queda de 5%) e 26% correspondia à pastagem (aumento de 12%).

Com relação à dinâmica de uso e cobertura da área de estudo é possível perceber, por meio das Figuras 31 e 32, que inicialmente era predominante a vegetação nativa. No decorrer dos 35 anos, período analisado, fica mais visível a mudança na paisagem, principalmente com relação ao aumento das áreas de pastagem, áreas urbanas e outros tipos de lavouras.

Nessa área observa-se ainda como o fluxo urbano ainda era incipiente, com destaque para o Rio Piranhas-Açu entre os municípios de São Rafael e Itajá, a grande quantidade de área de Caatinga arbustiva principalmente ao sul do município de Santana do Matos, bem como da Solo exposto/herbácea no município de Angicos.

Já para o ano de 2020, é possível aferir na Figura 26 o aumento de uma classe (Lavouras Perenes para 2021) quanto o aumento das áreas correspondentes a pastagem em todos os municípios e lavoura temporária principalmente ao norte do município de Angicos e ao sul do município de Santana do Matos. A análise das paisagens, para todos os anos especificados, encontra-se na Figura 33.

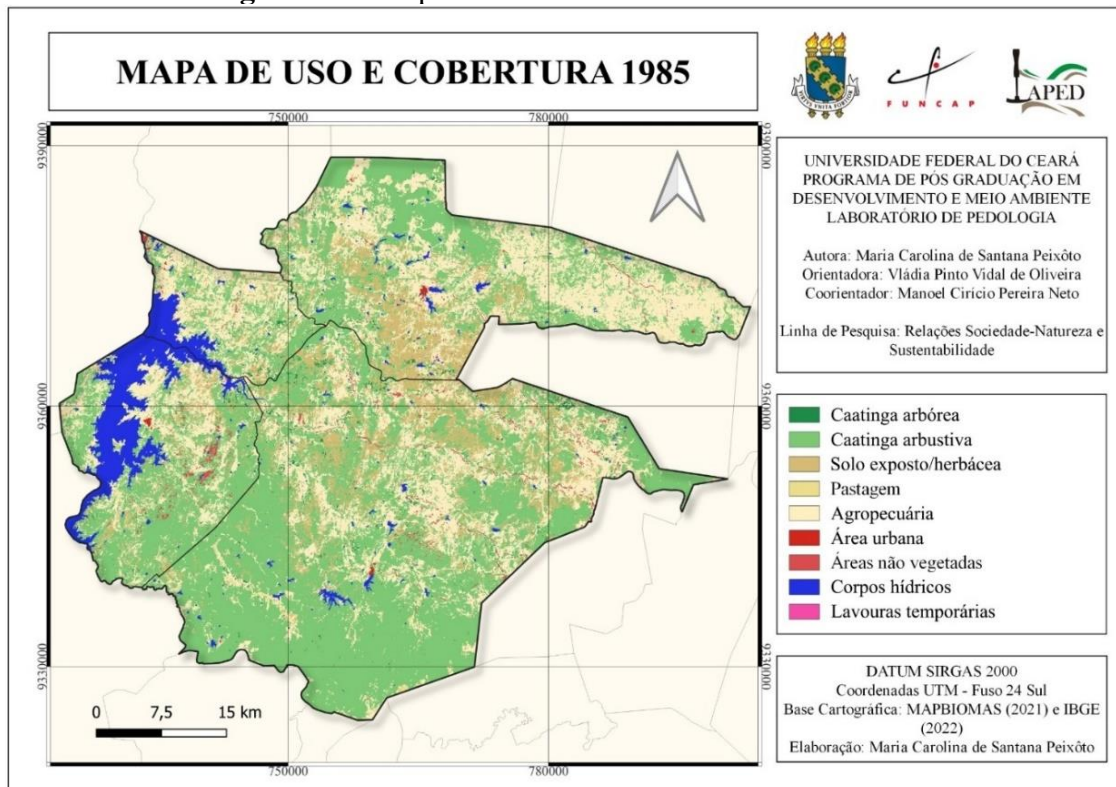
Embora aparente que não houve mudança significativa ao longo dos anos, ao verificar os mapas espacializados da Figura 33 anteriormente e ao passar os dados fornecidos pelo MapBiomas para a planilha e calcular os ganhos e perdas das áreas em quilômetros e porcentagem, tem-se maior noção da diferença, como apontado na Tabela 7.

**Tabela 7** – Quantificação das mudanças de uso e cobertura na área de pesquisa

Classe	Área 1985 (km <sup>2</sup> )	Área 2021 (km <sup>2</sup> )	Mudança (km <sup>2</sup> )	Mudança (%)
Caatinga arbórea	29,6919	0,4212	-29,2707	-99%
Solo exposto/herbácea	328,3704	184,7934	-143,577	-44%
Corpos hídricos	144,918	88,3224	-56,5956	-39%
Áreas não vegetadas	33,1074	25,6572	-7,4502	-23%
Caatinga arbustiva	1436,6853	1176,6078	-260,0775	-18%
Agropecuária	843,8139	1215,549	371,7351	44%
Pastagem	26,4321	95,0787	68,6466	260%
Área Urbana	1,9872	8,6409	6,6537	335%
Lavouras Temporárias	0,0774	49,1256	49,0482	63370%
Lavouras Perenes	0	0,8874	0,8874	0%

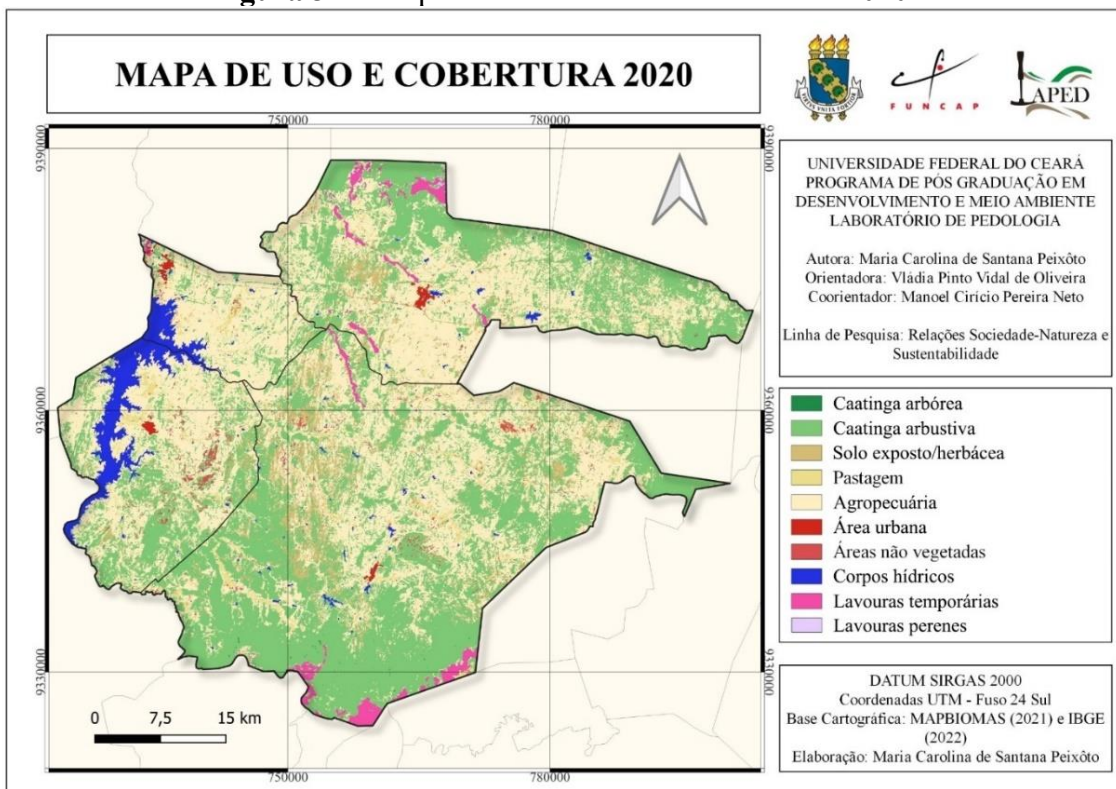
Fonte: dados a partir de MapBiomas (2021)

**Figura 31 – Mapa de Uso e Cobertura do ano de 1985**



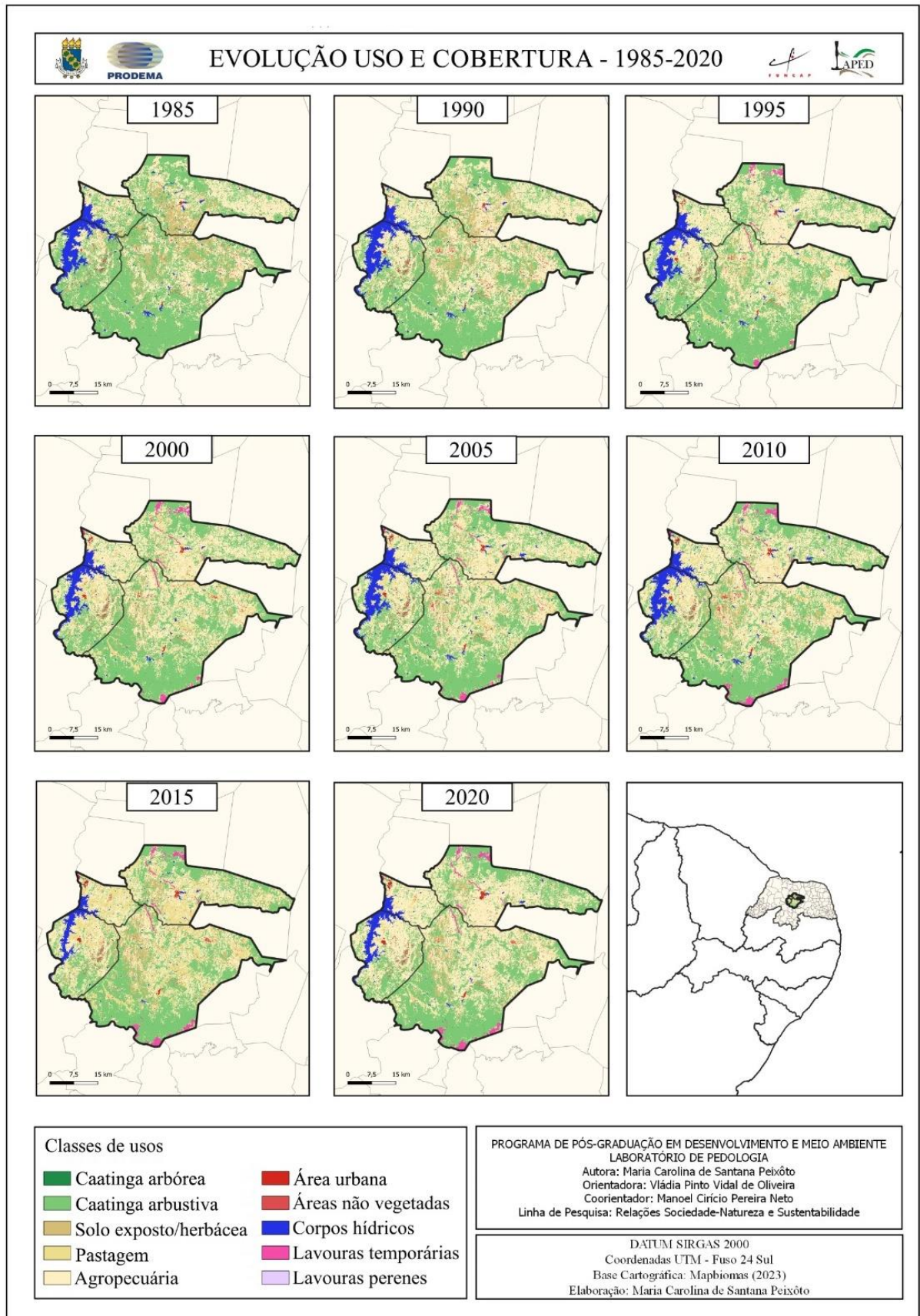
Fonte: elaborado pela autora a partir de MapBiomas (2021)

**Figura 32 – Mapa de Uso e Cobertura do ano de 2020**



Fonte: elaborado pela autora a partir de MapBiomas (2021)

**Figura 33 – Evolução do Uso e Cobertura**



Com os dados levantados em tabela, percebe-se que as classes que tiveram queda foram as Áreas Naturais (Caatinga arbórea, Caatinga arbustiva e Solo exposto/herbácea, além de Áreas não vegetadas e Corpos Hídricos), enquanto que as Áreas Antrópicas (Pastagem, Agropecuária e Lavouras Temporárias) só cresceram ao longo dos anos. A classe referente a Lavouras Perenes não obteve dados de crescimento nem declínio por não existir na classificação do ano de 1985.

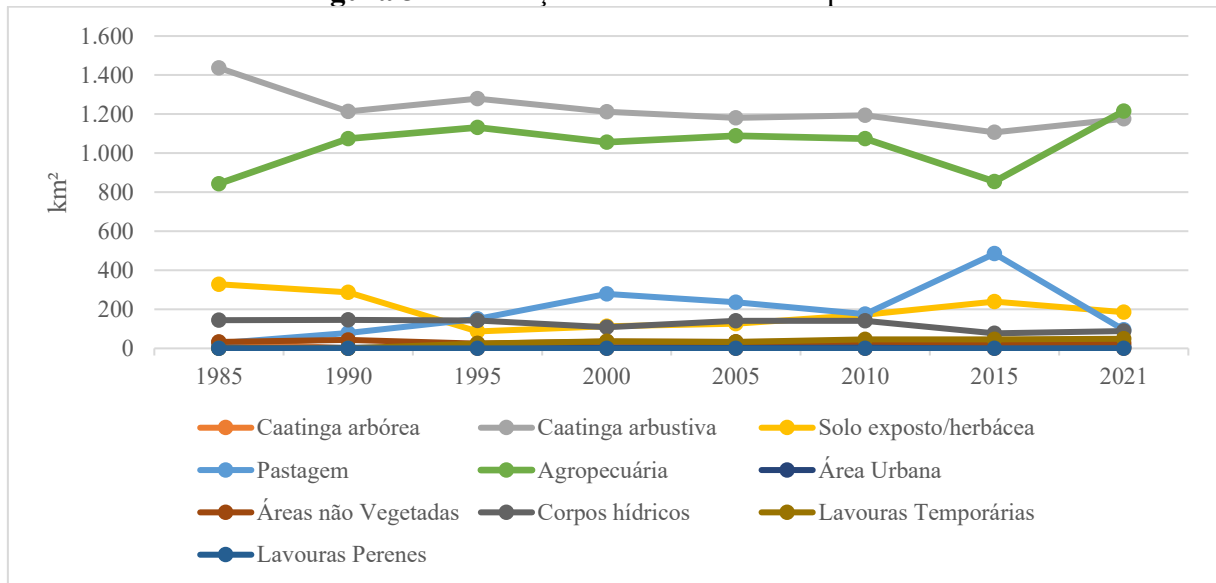
Além disso, tem-se que o maior crescimento foi da classe Lavouras Temporárias, com aumento de 633,70% seguido da classe Área Urbanizada com 335%, enquanto que a maior perda foi da classe de Caatinga arbórea, com -99% seguido da Solo exposto/herbácea com -44%.

A diminuição da Caatinga arbustiva, embora apresente um percentual baixo de suas perdas (-18%), está proporcionalmente correta em relação a sua área (-260,0775 km<sup>2</sup>). Esse dado corrobora também com a diminuição da camada de vegetação observada pelos satélites do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016) e com os estudos desenvolvido pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite, vinculada a Universidade Federal do Alagoas (LAPIS, 2019), como visto nas Figuras 10 e 11, que sinalizam essa região como Área Susceptível à Desertificação.

Além disso, a diminuição das áreas de caatinga registradas pelo MapBiomas expõe a fragilização dos solos, além do comprometimento da biodiversidade local, maior fragilidade frente às mudanças climáticas, reduz a capacidade de retenção de umidade, expõe os solos à radiação solar intensa e dificulta processos de regeneração natural. Já as reduções de corpos hídricos para a região semiárido é um agravante em relação à diminuição das reservas de água superficial, possivelmente ligada tanto às mudanças climáticas quanto à pressão antrópica (barramentos, irrigação, assoreamento). A expansão de áreas antrópicas, como agropecuária, pastagens, áreas urbanas e lavouras, mostram a transformação da paisagem em função de usos econômicos

Essa temática já foi inicialmente elencada e discutida por Peixôto (2020) e deve ser levada em consideração, tendo em vista os dados desta pesquisa que apontam para uma grande área de mudança de paisagem por ação antrópica.

Para visualizar melhor as variações ano a ano em km<sup>2</sup>, tem-se o Figura 34, com todas as informações obtidas pelo MapBiomas de forma compilada.

**Figura 34 – Variação das classes de uso por ano**

**Fonte:** dados a partir de MapBiomias (2021)

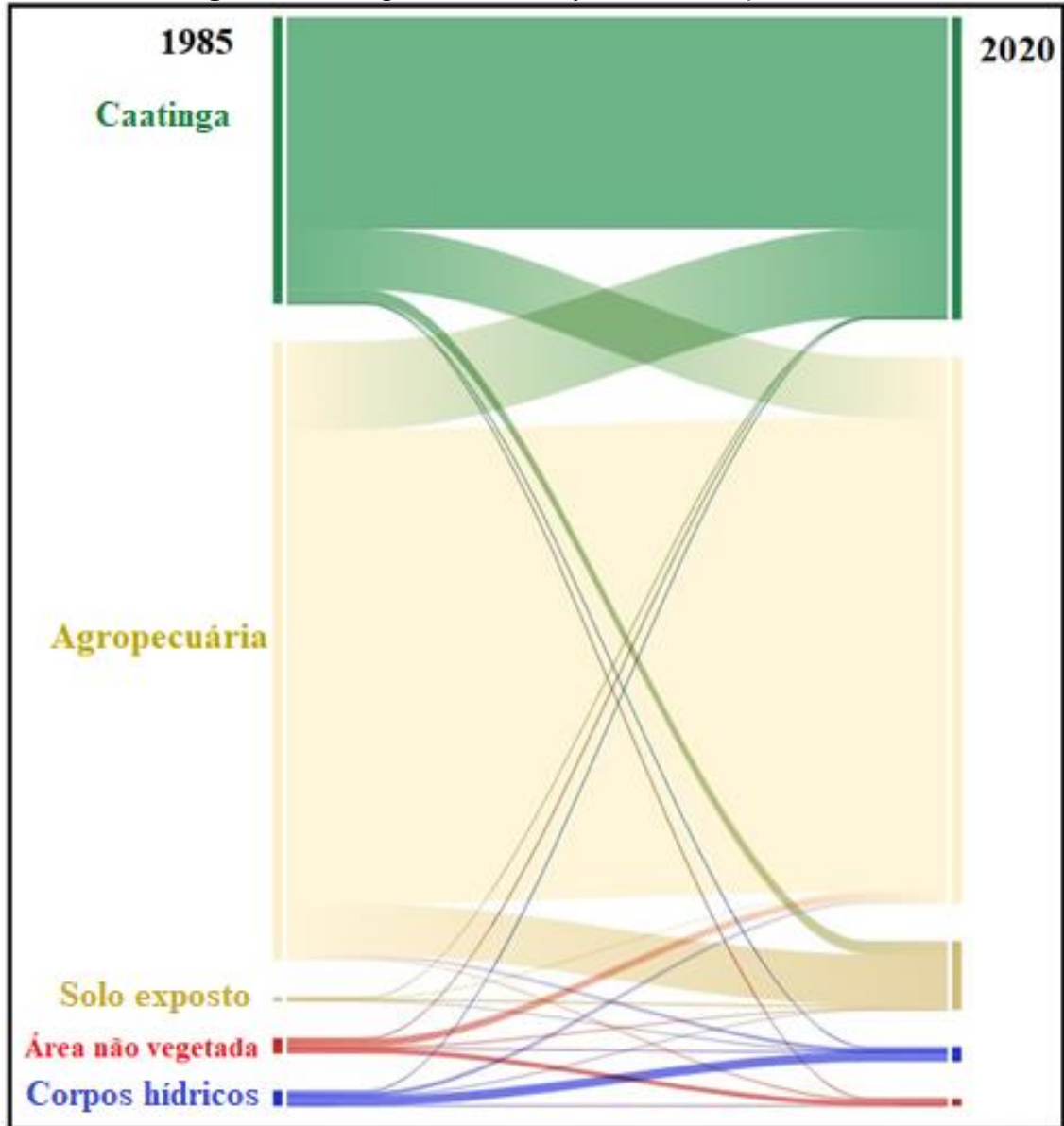
Observa-se que as classes que mais se destacam são Caatinga arbustiva e Agropecuária, sendo o ano de 2015 o de maior queda entre ambas, superando logo após, em 2020. A classe pastagem também se sobrepõe, em contrapartida, no ano de 2015 e tem queda significativa em 2020; junto com ela, tem-se a Solo exposto/herbácea com crescimento igualmente no ano de 2015, embora de maneira mais tímida. As outras classes, de maneira geral as Áreas Naturais, mantiveram seus poucos crescimentos em alguns anos e sua perdas em outros.

Por fim, tem-se a seguir a Figura 35, que representa o Diagrama de Sankey na mesma escala elaborada para o mapeamento, para os municípios em questão. Conforme Cuenca (2021) os diagramas de Sankey são representações gráficas utilizadas para descrever sistemas por meio de nós e fluxos interconectados, nos quais a largura dos fluxos é proporcional à magnitude dos valores representados. Essa característica permite visualizar, de forma intuitiva, a distribuição, a estrutura e as transformações de fluxos dentro de um sistema, como energia, matéria, recursos ou informações. Em geral, os fluxos são organizados de maneira unidirecional, frequentemente da esquerda para a direita, além disso, baseia-se na conexão entre nós de origem, transformação e destino, permitindo identificar perdas, concentrações, transferências e eficiência dos processos analisados. Essa capacidade torna o diagrama de Sankey uma ferramenta especialmente relevante para a análise sistêmica, pois evidencia relações quantitativas que nem sempre são facilmente perceptíveis em tabelas ou gráficos convencionais.

Percebeu-se, inicialmente, o projeto agrupou algumas classes semelhantes e apenas cinco classes: Floresta (que engloba as áreas de Caatinga), Agropecuária (com pastagem),

Formação Natural não Florestal (correspondente à Solo exposto), Corpo D'água (Corpos hídricos) e Área não vegetada, trazendo resultados mais expressivos que outros.

**Figura 35 – Diagrama de Sankey com a transição dos usos**



**Fonte:** dados a partir de MapBiomas (2021)

O diagrama representa, ao lado esquerdo, o ano de 1985. Enquanto que do lado direito, representa o ano de 2020. Para tanto, é possível interpretar que as mudanças ocorreram no sentido esquerda>direita, havendo tanto conservação de áreas (no sentido de não ocorrido mudanças bruscas) como transformação das classes e, conseqüentemente, da paisagem propriamente dita.

Para auxiliar na interpretação desses dados, elaborou-se o Quadro 13 com as classes, suas respectivas mudanças e a área afetada, calculada em hectare (ha). Além disso, utilizou-se de um sistema de cores para melhor identificação de cada classe correspondente.

**Quadro 13** – Mudança dos usos de classes a partir do Diagrama de Sankley - 1985 e 2020

CLASSE PRIMÁRIA	CLASSE SECUNDÁRIA	ÁREA EM HECTARE (HA)
Caatinga	Caatinga	16.707 ha
Caatinga	Agropecuária	4.772 ha
Caatinga	Solo exposto	1.022 ha
Caatinga	Corpos hídricos	108 ha
Caatinga	Área não Vegetada	4 ha
Agropecuária	Caatinga	6.652 ha
Agropecuária	Agropecuária	37.300 ha
Agropecuária	Solo exposto	4.017 ha
Agropecuária	Corpos hídricos	271 ha
Agropecuária	Área não Vegetada	175 ha
Solo exposto	Caatinga	19 ha
Solo exposto	Agropecuária	88 ha
Solo exposto	Corpos hídricos	5 ha
Área não Vegetada	Caatinga	63 ha
Área não Vegetada	Agropecuária	594 ha
Área não Vegetada	Solo exposto	150 ha
Área não Vegetada	Corpo D'água	22 ha
Área não Vegetada	Área não Vegetada	384 ha
Corpos hídricos	Caatinga	115 ha
Corpos hídricos	Agropecuária	303 ha
Corpos hídricos	Corpos hídricos	769 ha

Fonte: adaptado a partir de MapBiomias (2021)

Por fim, para chave de interpretação do quadro acima deve-se observar que a mudança ocorre da esquerda para a direita. Dessa forma, a área de Floresta que continuou Floresta equivale a 16.707 ha. A área de Floresta que mudou para Agropecuária, equivale a 4.772 ha e assim sucessivamente.

Ressalta-se que a área de maior variação equivale a classe de Agropecuária. Sua área que continuou Agropecuária equivale a 37.300 ha, enquanto que a menor área equivale a Formação Natural não Vegetada > Corpo D'água, que mudou apenas 5 hectares.

Com relação à vegetação propriamente dita, foi possível observar no registro de campo extensas áreas com vegetação esparsa e densa, que ia desde o tipo arbustiva à arbórea, com grande diversidade florística (Quadro 14). Corroborando os dados encontrados no mapeamento a partir do MapBiomias, tem-se a seguir as Figuras 36 e 37, com o mosaico de vegetação esparsa e densa, respectivamente.

A Figura 36 representa as paisagens dos municípios marcadas pela baixa densidade da cobertura vegetal, com solos expostos e presença de espécies arbustivas e arbóreas isoladas, demonstrando maior fragilidade ambiental e vulnerabilidade a erosões, resultante de processos naturais agravados por pressão antrópica exercida pelo uso da terra.

**Figura 36** – Mosaico de vegetação esparsa dos municípios

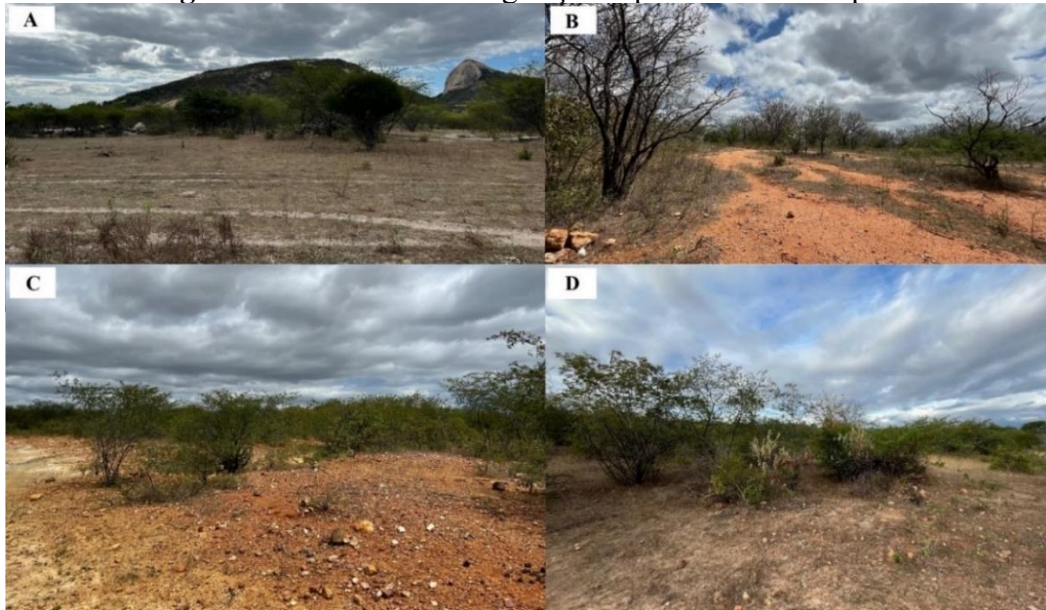


Figura 36A – São Rafael; 36B – Santana do Matos; 36C – Itajá; 36D – Angicos.

**Fonte:** acervo da autora (2024)

**Figura 37** – Mosaico de vegetação densa dos municípios

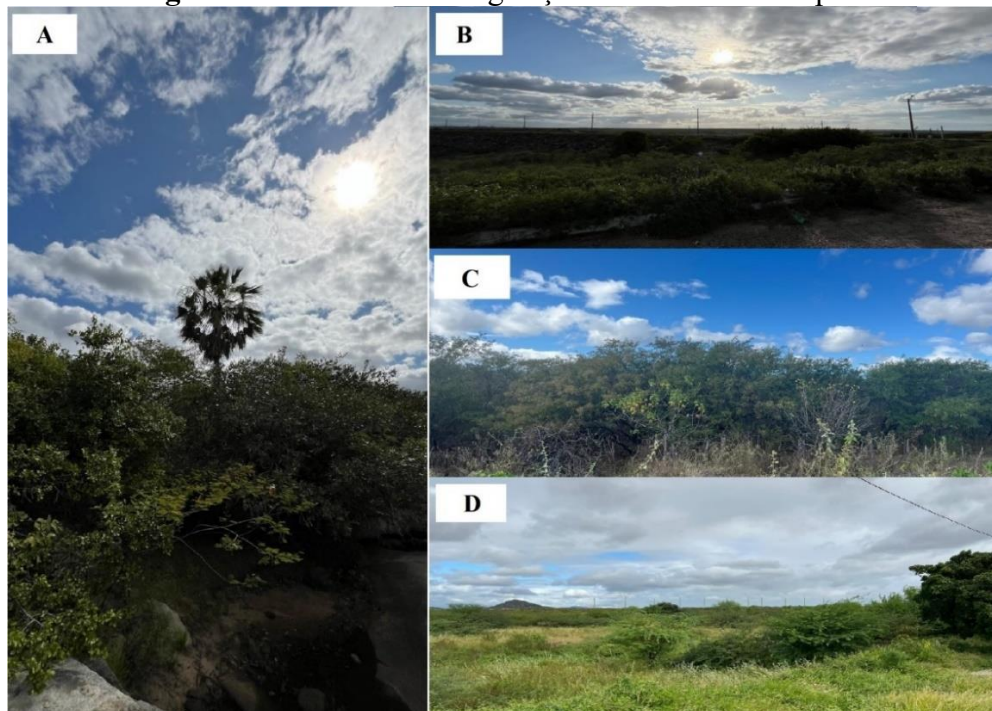


Figura 37A – São Rafael; 37B – Itajá; 37C – Santana do Matos; 37D – Angicos.

**Fonte:** acervo da autora (2024)

Já na figura 37 percebe-se uma maior variedade e densidade de espécies, contribuindo para a proteção do solo, da manutenção da biodiversidade e regulação microclimática, demonstrando assim maior resiliência em áreas semiáridas de caatinga frente à variação climática e pressões antrópicas características da região.

Na Figura 38 foi realizado mosaico de algumas das espécies encontradas durante a visita ao campo nos municípios. A diversidade de espécies naturais encontradas, só demonstra a resiliência do bioma frente às condições ambientais adversas, como estiagem, solos rasos e alta insolação, garantindo funções ecológicas complementares: algumas espécies protegem o solo, outras armazenam água, outras oferecem sombra e micro-habitats, outras contribuem para o equilíbrio microclimático e recarga hídrica local.

Sem contar que muitas dessas espécies são usadas historicamente pelas populações locais como fonte de alimento, como a forragem por exemplo, além de medicamentos naturais e insumos para a matriz energética (carvão e lenha), representando assim certa segurança socioeconômica dentro das peculiaridades do bioma. Dessa forma, a presença de maior diversidade pode ser interpretada como um sinal de menor degradação e de maior capacidade de regeneração natural.

**Figura 38** – Mosaico de espécies vegetais encontradas nos municípios

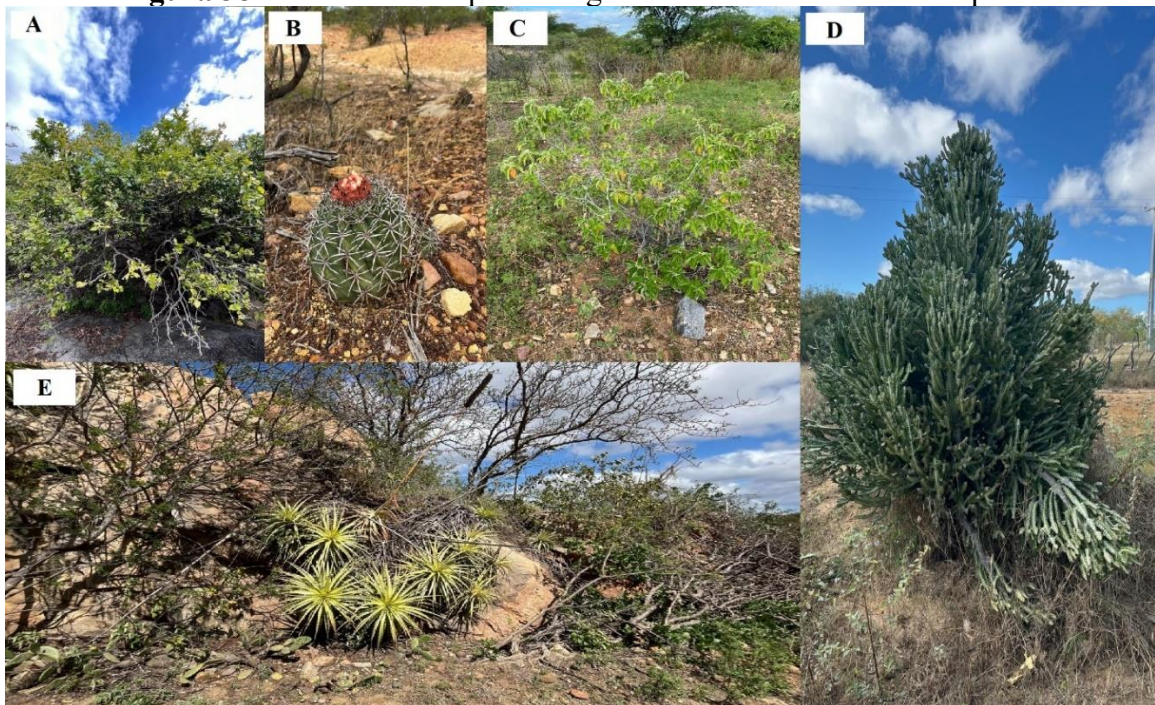


Figura 38A – Juazeiro; 38B – Coroa de frade; 38C – Velame; 38D – Cacto candelabro; 38E – Macambira

**Fonte:** acervo da autora (2024)

Além disso, a partir do Quadro 14 tem-se a compilação das principais espécies vegetais encontradas nos municípios da pesquisa, seus nomes populares e seus respectivos nomes científicos.

**Quadro 14** – Composição florística da área de estudo

Composição Florística da área de estudo	
Nome comum	Nome científico
Craibera	<i>Tabebuia aurea</i>
Jurema preta	<i>Mimosa hostilis</i> Benth.
Jurema branca	<i>Piptadenia stipulaceae</i> (Benth.) Ducke
Pereiro	<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.
Marmeleiro	<i>Cróton sonderianus</i> Muell.
Velame	<i>Croton campestris</i>
Favela	<i>Cnidoscylus phylacanthus</i> Pax. & K. Huf.
Pinhão branco	<i>Jatropha molissima</i> (Pohl.) Baill.
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.
Angico	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.
Mulungu	<i>Erythrina verna</i>
Juazeiro	<i>Ziziphus joazeiro</i>
Urtiga	<i>Urtica dioica</i> L.
Cacto Candelabro	<i>Euphorbia ingens</i>
Carnaúba	<i>Copernicia prunifera</i>
Imburana	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) Gillet
Pau pedra	<i>Luetzelburgia auriculata</i>
Mandacaru	<i>Cereus jamacaru</i> DC.
Sodoro	<i>Pilosocereus gounellei</i>
Cardeiro	<i>Cereus sp.</i>
Faxeiro	<i>Cereus squamosus</i> Guerke
Xique-xique	<i>Pilosocereus gounellei</i> Weber
Mororó	<i>Bauhinia fortificata</i> Lin.
Algaroba	<i>Prosopis juliflora</i>
Quixabeira	<i>Brumelia sartorum</i>
Oiticica	<i>Licania rigida</i>

**Fonte:** acervo da autora a partir de dados do campo (2024), adaptado de Brito (2018)

Já com relação à cobertura vegetal dos municípios, o Inventário Florestal Nacional do Rio Grande do Norte (2018), aponta a Tabela 8:

**Tabela 8:** Área (ha) de florestas naturais por municípios do Rio Grande do Norte

Município	Área total	Áreas de Florestas Naturais	% de Florestas Naturais
Angicos	74.185,43	47.727,66	64,34%
Santana do Matos	141.682,39	86.256,22	60,88%
São Rafael	46.708,09	10.298,07	22,05%
Itajá	20.598,32	353,10	1,71%

**Fonte:** Inventário Florestal Nacional – Rio Grande do Norte (2018)

A partir desses dados, percebe-se que, em porcentagem, os municípios de Angicos e Santana do Matos possuem os maiores índices de vegetação natural, com 64,34% e 60,88%, respectivamente. Isso evidencia a relevância dos municípios para a manutenção da cobertura vegetal na região, possivelmente em função de sua dimensão territorial e da presença de áreas menos intensamente utilizadas por atividades antrópicas. A elevada proporção de vegetação preservada sugere certo equilíbrio entre uso do solo e conservação ambiental, o que pode estar relacionado a fatores como a geomorfologia, limitações ao uso agropecuário em determinadas áreas ou menor pressão antrópica em porções do município.

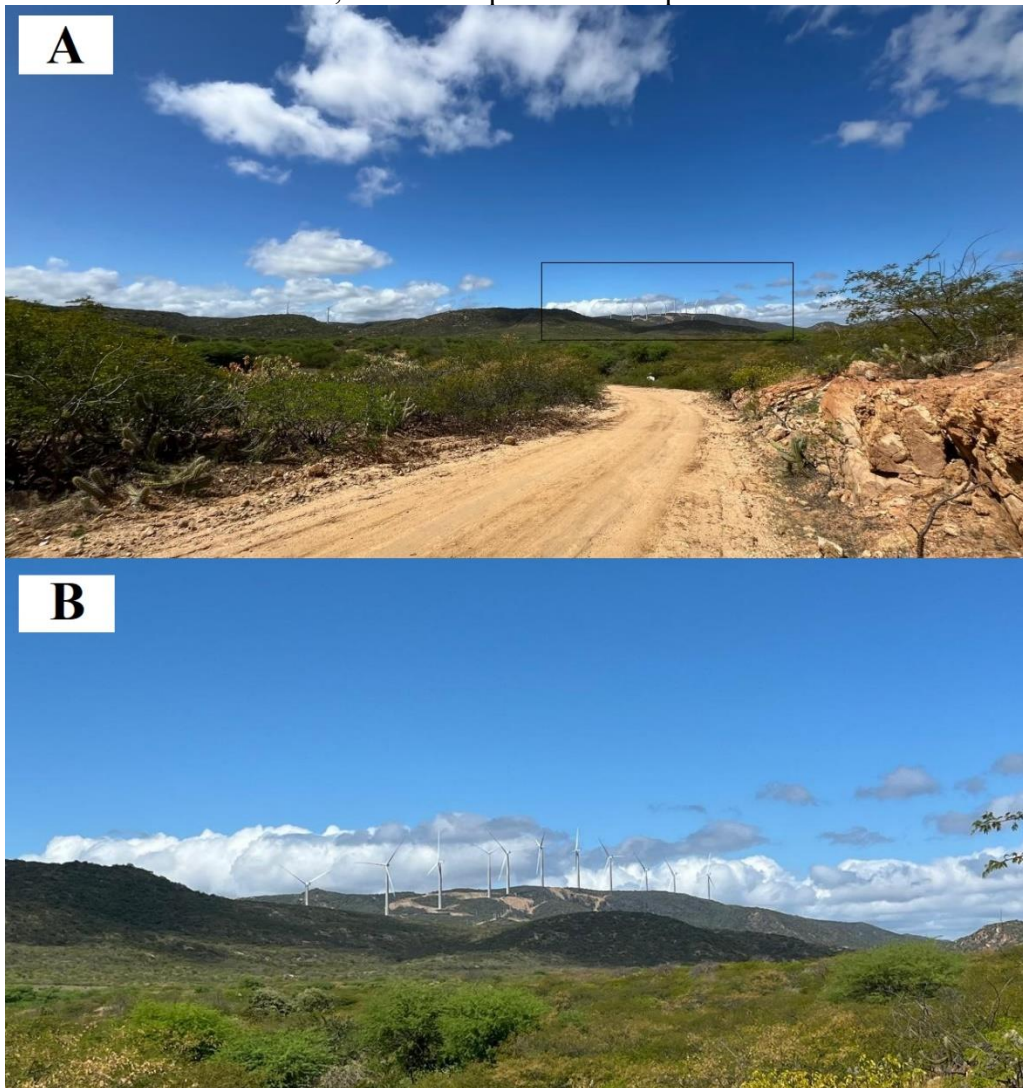
Já São Rafael possui 22,05% de florestas naturais, o que evidencia maior grau de supressão vegetal, possivelmente associado à expansão de atividades agropecuárias ou ao uso mais intensivo dos recursos naturais, como a presença de indústria de extração de mineração e pedra. Por fim, o município de Itajá possui o menor índice e cenário mais crítico, com 1,71%, o que evidencia forte degradação ambiental, no qual a vegetação nativa foi quase totalmente substituída por atividades antrópicas, como extração de argila e lenha, tornando o município vulnerável a processos de degradação e desertificação, perda da biodiversidade e comprometimento dos serviços ecossistêmicos. Assim, os dados demonstram uma forte heterogeneidade na distribuição da cobertura de florestas naturais para essa região do estado.

No que diz respeito a atividades econômicas de grande porte locais, entre os municípios de Angicos e Santana do Matos encontra-se um grande parque eólico que vem sendo instalado nos últimos anos que seguem até as cidades de Fernando Pedroza e Bodó e podem ser avistados das vias rurais e estaduais (Figura 39). Entre as cidades de Santana do Matos e Bodó, estradas foram construídas pela empresa privada de instalação (Figura 55) exclusivamente para o projeto, onde os geradores foram implantados nos altos das serras.

Apesar da instalação desses parques eólicos demonstrarem que a região é estratégica para a economia potiguar, traz consigo algumas rupturas sociais para as populações que vivem nessas áreas, como o corte de terra, que podem modificar o relevo, além da supressão da vegetação nativa, que pode afetar ecossistemas e espécies de fauna e flora. Além disso, algumas áreas são usadas como criação extensiva de animais, coleta e corte de lenha, podendo restringir seu acesso, afetando as práticas históricas do sertanejo.

Embora os proprietários recebam compensações pelo arrendamento de suas terras, os pequeno produtores não se beneficiam diretamente dos lucros alcançados, ampliando as desigualdades sociais. Além disso, apesar da geração de emprego e renda para a população, a mão de obra é muito especializada e os empregos são em sua maioria temporários, ou seja, após a instalação dos aerogeradores os empregados de menor instrução ficam desempregados.

**Figura 39** – Vista dos aerogeradores ao longe (A) e em áreas mais próximas (B) em Santana do Matos, com visão para o município de Bodó



**Fonte:** acervo da autora (2024)

O Complexo Eólico Acauã, conta com 26 aerogeradores com capacidade de 4,2 MW cada um e potência instalada de 109,2 MW, pode abastecer cerca de 580 mil residências no padrão médio de consumo do Nordeste, abrangem-se entre os parques dos municípios de Lagoa Nova, São Vicente e Tenente Laurentino Cruz/RN, com investimento de mais de R\$ 700 milhões, linha de transmissão de 17,7 km de extensão, 53 torres de aço galvanizado conectando-se à subestação (Figura 40) e integrando a energia gerada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (Aliança Energia, 2023).

Além disso, há a integração da energia eólica local com a Subestação Elétrica de Santana do Matos (Figura 41).

**Figura 40** – Vista do aerogerador na região leste do município de Santana do Matos



**Fonte:** acervo da autora (2024)

**Figura 41** – Vista panorâmica da Subestação em Santana do Matos, região leste



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Além disso, no município também conta com áreas de agricultura (Figura 42) e pecuária (Figura 51). A seguir, uma imagem referente ao plantio de capim, que posteriormente servirá de alimentação para a pecuária de maneira geral.

Em algumas áreas privadas e, portanto, de difícil acesso, é possível encontrar faixas de cultivo de agricultura de sequeiro. A expressão “sequeiro” deriva da palavra seco e é uma modalidade agrícola visa atingir eficiência em terras secas por meio da escolha de espécies que não necessitem de irrigação constante, podendo suportar os períodos de estiagem entre uma chuva e outra (CBHSF, 2015). Nessas áreas, destaca-se a produção de milho, feijão, jerimum e batata; em alguns anos, a depender se é ano de seca ou de chuva, desponta mais facilmente a cultura de milho e feijão, uma vez que a agricultura de sequeiro depende do ano chuvoso.

**Figura 42** – Plantação de capim em Santana do Matos, região central



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Para o município de Itajá, destaca-se quatro atividades: a hidrelétrica, a atividade ceramista, extração de argila e pecuária (Figura 43).

A Hidrelétrica é a primeira instalada na história do estado do Rio Grande do Norte, está localizada no município de Itajá na Barragem homônima (Armando Ribeiro Gonçalves), na região de Assú (Tribuna do Norte, 2020).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Itajá (2020), a hidrelétrica possui capacidade de geração total de 4,7 MW e pode gerar energia elétrica para abastecimento de uma cidade com aproximadamente 20 mil pessoas. É considerada de pequeno porte quando comparada às grandes hidrelétricas do país, Belo Monte, por exemplo, é a maior do país e possui capacidade

de 11.233,1 MW (Portal G1, 2020). As obras de implantação iniciadas em novembro de 2019 e sua conclusão foi efetivada no mês de novembro de 2020, com investimento de R\$15 milhões (Prefeitura de Itajá, 2020).

**Figura 43** – Central Geradora Elétrica Armando Ribeiro Gonçalves em Itajá



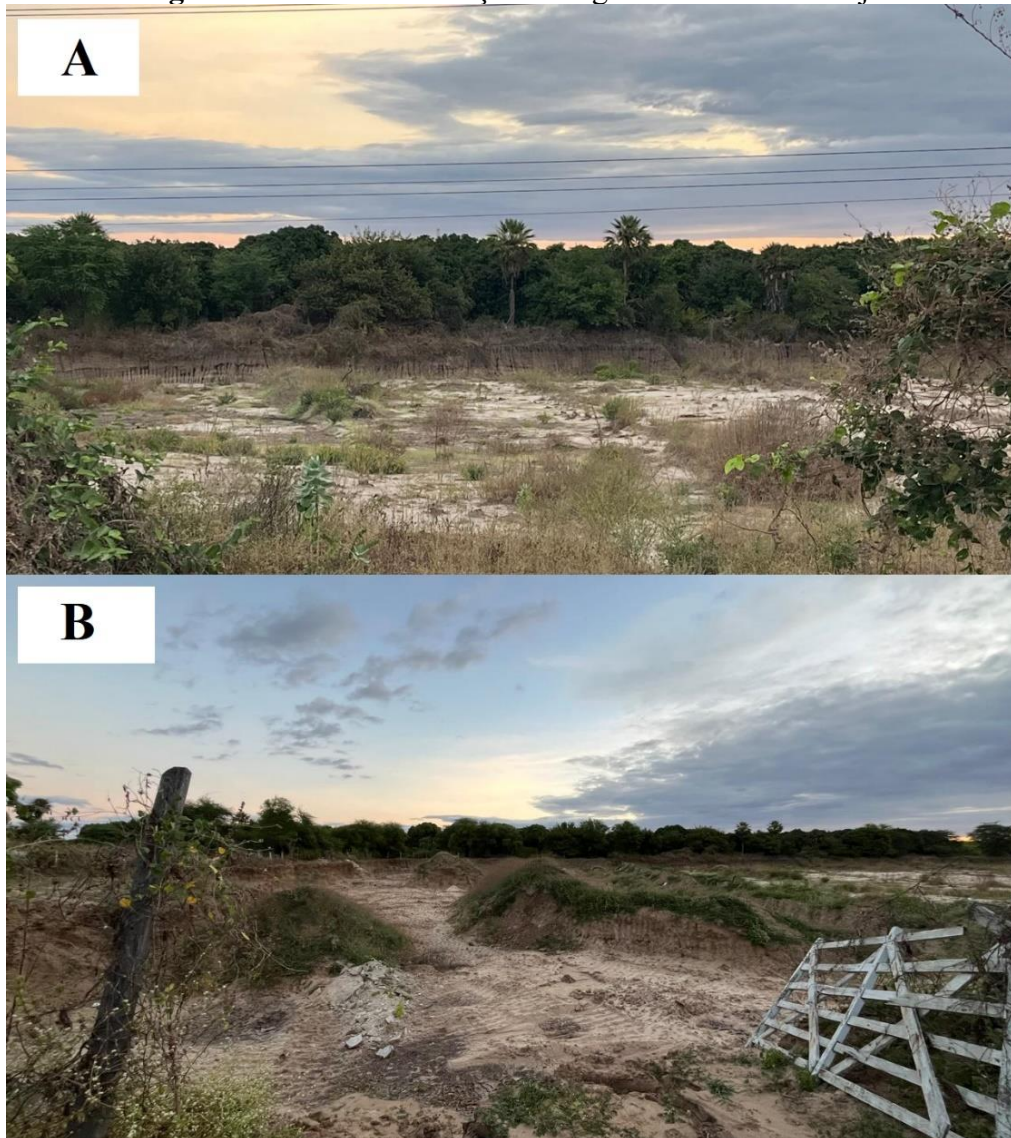
**Fonte:** acervo da autora (2024)

Uma atividade problemática no município encontra-se alicerçada nas cerâmicas, isso porque grande parte das indústrias localizam-se dentro do perímetro urbano (Figura 44), ocasionando distúrbios e doenças nas vias respiratórias de crianças, adultos e idosos, além da poluição atmosférica propriamente dita (Silva; Gurgel, 2022).

**Figura 44** – Localização de algumas cerâmicas em ItajáFigura 44A – margens da BR-304; 44B – entrada do município. **Fonte:** acervo da autora (2024)

Além disso, conforme apontou Meyer (2011), o principal rio que abastece a cerâmica (argila) na região do Vale do Açu (em que se encontra inserido o município de Itajá) é o Rio Piranhas-Açu, além das áreas mais próximas do município (Figura 45). Com isso, essa extração é conduzida por meio de tração mecânica envolvendo caminhões, cacimbas ou retroescavadeiras para fabricar nas mais diversas dimensões telhas, tijolos e lajotas (Brito, 2023).

**Figura 45** – Área de extração de argila na entrada de Itajá



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Há ainda outros problemas envolvidos, como extração de vegetação para os fornos a lenha. Juntos, a extração de argila e de vegetação causam impactos negativos muito fortes ao meio, isso porque, como pode ser observado na Figura 45 acima, após a remoção da matéria-prima o ambiente não recebe nenhum tipo de cuidado para que possa vir a se recuperar, mesmo que parcialmente. Ainda nessa figura e em outros locais afastados do município, é possível encontrar “crateras de argila” feitas pelas empresas locais e que foram abandonadas.

Não obstante a inércia com relação aos lugares abandonados, algumas cerâmicas utilizam outros espaços para realizar o descarte de seus rejeitos, como observado na Figura 46 a seguir. A área está localizada bem na entrada cidade, sem nenhum cuidado com o meio ambiente ou mesmo com relação à limpeza das vias públicas.

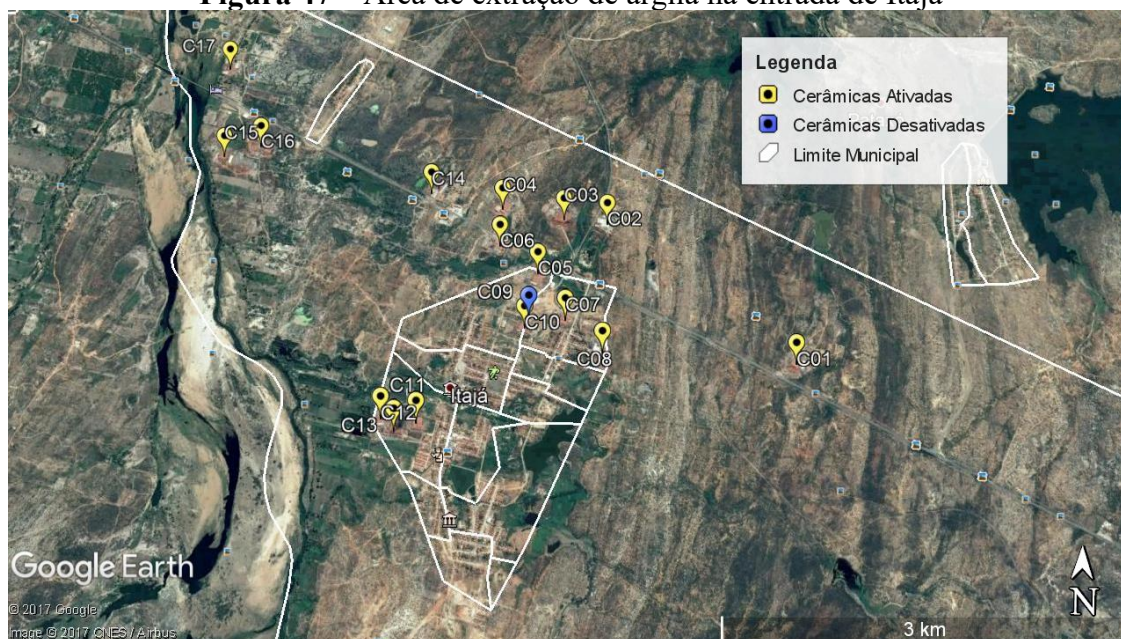
**Figura 46** – Áreas utilizadas para descarte de material na entrada da cidade - Itajá



**Fonte:** acervo da autora (2024)

O estudo realizado por Tavares, Peixôto e Pereira Neto (2019) mapeou as cerâmicas no município, comprovando que maior parte delas se encontram dentro perímetro urbano (Figura 47). Os autores apontaram também para a presença de algaroba (*Prosopis juliflora*) no município, como alternativa encontrada pelas empresas ceramistas, já que boa parte ainda utiliza fornos tradicionais.

**Figura 47 – Área de extração de argila na entrada de Itajá**



**Fonte:** Tavares, Peixôto e Pereira Neto (2019)

Ainda com relação aos impactos negativos, o MZPAS (2018) afirma que

A extração de lenha, para alimentar os fornos cerâmicos, e da argila, matéria-prima da indústria ceramista, são responsáveis pela devastação da cobertura vegetal nativa, principalmente pela intensidade da atividade extrativista, que não permite a recomposição do bioma. Os solos ficam desnudos e compactados, provocando erosões e perda da capacidade de absorção de água para recarregar os aquíferos subterrâneos. A queima da lenha e a manipulação da argila provocam suspensão de material particulado que, somado à emissão de hidrocarbonetos halogenados e GEE, cria um cenário de poluição atmosférica que intensifica o aquecimento da superfície, provoca alteração climática e incide em inúmeros casos de doenças de fundo respiratório na população local. As grandes perdas de material, provocadas pela tecnologia deficiente, geram resíduos e entulhos nos entornos das fábricas, se tornando vetores de pragas e doenças. A extração de argila no vale dos rios nos períodos de seca provoca acúmulo de sedimentos, assoreamento dos rios e conflitos sociais com pecuaristas e produtores hortifrutigranjeiros.

Semelhante caso ocorre no município de São Rafael, porém, muda-se o cenário da cerâmica e para o cenário de uma pedreira. Apesar de se localizar em região afastada do perímetro urbano, a pedreira faz grandes cortes de matéria-prima para comercialização e também deixa para trás o ambiente marcado pelos cortes das grandes máquinas, como visto na Figura 48.

Embora seja apenas uma visão parcial devido ser uma área de domínio privado, é possível conjecturar a área afetada e seus impactos negativos ao meio ambiente, que, por outro

lado, é também uma fonte de renda entre os habitantes locais que passam até meses trabalhando na área sem voltar para casa, devido a grande demanda da empresa responsável.

Além da pedreira, São Rafael também conta com serras em seu limite municipal, que já foi grande atração turística e cultural (principalmente em épocas de carnaval), são elas a Serra Branca e a Serra do Jatobá (Figura 49).

**Figura 48** – Visão panorâmica da paisagem do corte da pedreira em São Rafael



**Fonte:** acervo da autora (2024)

**Figura 49** – Visão da Serra do Jatobá em São Rafael



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Para o município de Angicos, destaca-se principalmente para o Pico do Cabugi (Figura 50), que na língua Tupi, Cabugi significa “peito de moça” devido sua morfologia típica em cone com vértice voltado para o céu (Rocha; Nascimento, 2007). Durante muitos anos serviu de orientação e ponto de referência para os viajantes quando não havia estradas modernas nem orientação via satélite. O Pico atualmente faz parte da Unidade de Conservação (UC) Parque Ecológico Pico do Cabugi, com dimensão de 625,98 ha na superfície da UC e na Zona de Amortecimento (ZA), com 2.302,95 há, regulamentado pela publicação do Decreto Estadual nº 14.813 de 16 de março de 2000 que visa proteger um dos raros remanescentes da atividade vulcânica do território nacional; conservar a Caatinga entorno de uma formação geológica e estimular a atividade turística local sem comprometer o meio ambiente (IDEMA, 2023).

Além disso, o Macrozoneamento da Bacia do Piranhas-Açu (MZPAS, 2018) aponta para o município que uma de suas principais atividades econômicas são a agropecuária e o extrativismo, ou seja, atividades altamente impactantes e que tornam a área susceptível à perda de recursos ambientais

**Figura 50** – Visão panorâmica do *neck* vulcânico exumado Pico do Cabugi



**Fonte:** acervo da autora (2024)

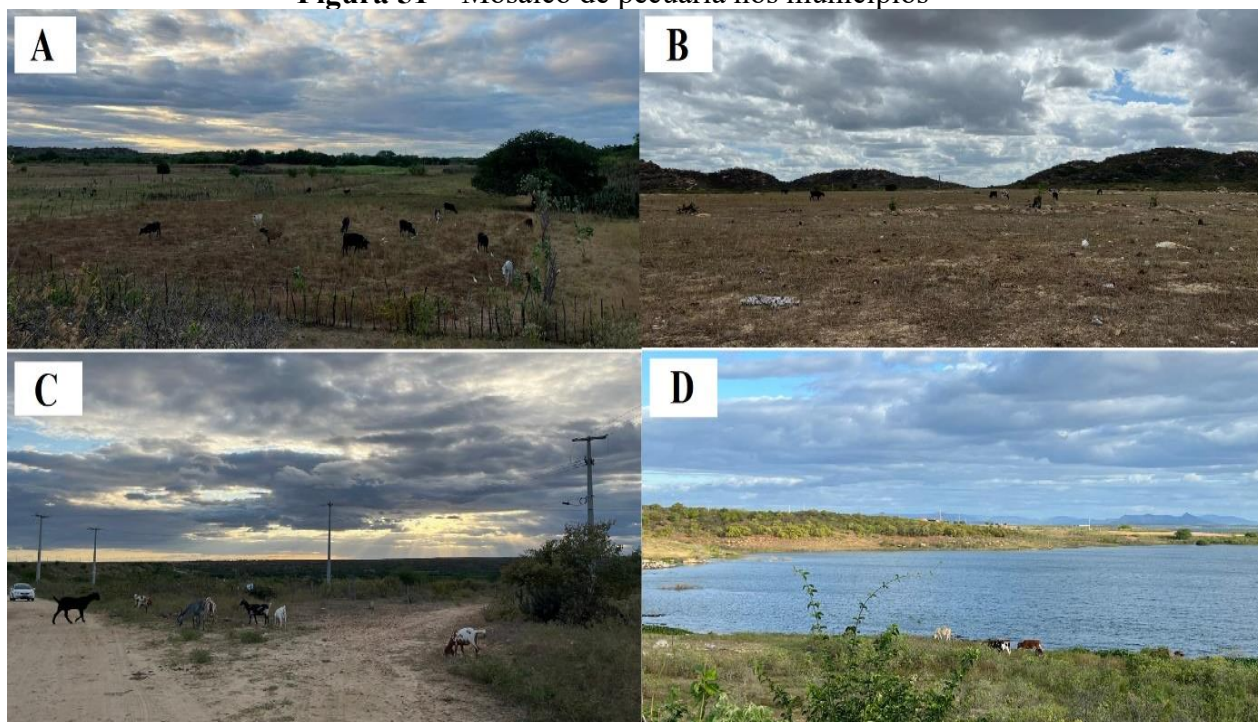
Para todos os municípios foi possível encontrar ainda pecuária de corte e leiteira, com criação bovina e caprina criadas em áreas abertas (Figura 51B, 51C e 51D) mas também áreas cercadas (Figura 51A). A pecuária desempenha papel central na dinâmica socioeconômica dos municípios da Região Imediata de Açu, representando uma das principais formas de uso e ocupação da terra no semiárido potiguar, o que de certa forma contribui para a compactação do solo. Como é possível averiguar nas imagens, há áreas sem cobertura vegetal densa (muito provavelmente devido a própria atividade de pecuária), que dessa forma participa dos impactos causados, como áreas de menor cobertura, evidenciando a fragilidade do solo a partir dessa atividade.

Além disso, dentre os principais usos relacionados à produção animal e vegetal, conforme o IBGE (2023), tem-se a criação de bovinos, caprinos, equinos, suínos, perus, patos, gansos, galináceos, ovos de galinha, leite e mel de abelha. Já entre a produção vegetal destaca-se a abóbora (jerimum), castanha de caju, ceras, coentro, feijão, melancia e milho. Alguns municípios não possuem dados registrados para determinadas classes. Todas as informações disponíveis foram compiladas e podem ser observadas a partir da Tabela 9 a seguir.

**Tabela 9:** Produções animais e vegetais nos municípios

Classe	São Rafael	Santana do Matos	Itajá	Angicos
<b>PRODUÇÃO ANIMAL</b>				
Bovinos (cabeças)	12.212	28.000	3.512	11.000
Caprinos	4.440	22.000	3.100	6.000
Equinos	765	1.500	150	850
Suínos	692	1.671	195	512
Ovinos	8.300	25.000	4.800	9.500
Perus	67	188	18	(sem dados)
Patos e gansos*	678	932	55	1.103
Galináceos	3.338	4.738	1.480	1.632
Ovos de galinhas (mil reais)	224 mil	323 mil	(sem dados)	(sem dados)
Leite	3.258	27.599	1.405	2.519
Mel de abelha	31.000	(sem dados)	(sem dados)	(sem dados)
<b>PRODUÇÃO VEGETAL</b>				
Abóbora	6 mil	8 mil	3 mil	(sem dados)
Castanha-de-caju	(sem dados)	120 mil	(sem dados)	70 mil
Ceras	(sem dados)	(sem dados)	33 mil	(sem dados)
Coentro	(sem dados)	(sem dados)	15 mil	(sem dados)
Feijão	36 mil	3.240 mil	160 mil	240 mil
Melancia	(sem dados)	231 mil	100 mil	98 mil
Milho em grão	(sem dados)	105 mil	132 mil	270 mil

\*inclui marrecos, perdizes e faisões. **Fonte:** adaptado de IBGE (2023)

**Figura 51 –** Mosaico de pecuária nos municípios

Figuras 51A e 51B – Santana do Matos; 51C – Itajá, próximo da hidrelétrica e 51D – Itajá, próximo da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves. **Fonte:** acervo da autora (2024)

Para os municípios de Itajá e Angicos (Figura 52A e 52B, respectivamente), durante a visita de campo, foi possível passar pelos lixões a céu aberto. Estes se encontram em áreas próximas das vias estaduais e relativamente próximos às áreas urbanas, em processo de queimada e com a presença de animais.

Esses lixões podem ser considerados como “passivos ambientais”, uma vez que a ausência de políticas públicas aplicadas (embora já exista legislação federal específica para tal) demonstram que não há interesse por parte das gestões nem da população que são afetadas por suas consequências. Contaminação do solo, infiltração de poluentes como o chorume em lençóis freáticos, além da própria disposição errada dos resíduos acentua processos de degradação, como também a alteração das dinâmicas ecológicas locais.

Dessa forma, os lixões se configuram como um problema ambiental, sanitário, de saúde pública e de planejamento territorial.

**Figura 52** – Mosaico de lixão a céu aberto



**Fonte:** acervo da autora (2024)

No próximo capítulo, será abordado os Sistemas Ambientais especializados para a área, com a descrição de cada potencialidade e limitação e informações adicionais.

# Capítulo 05

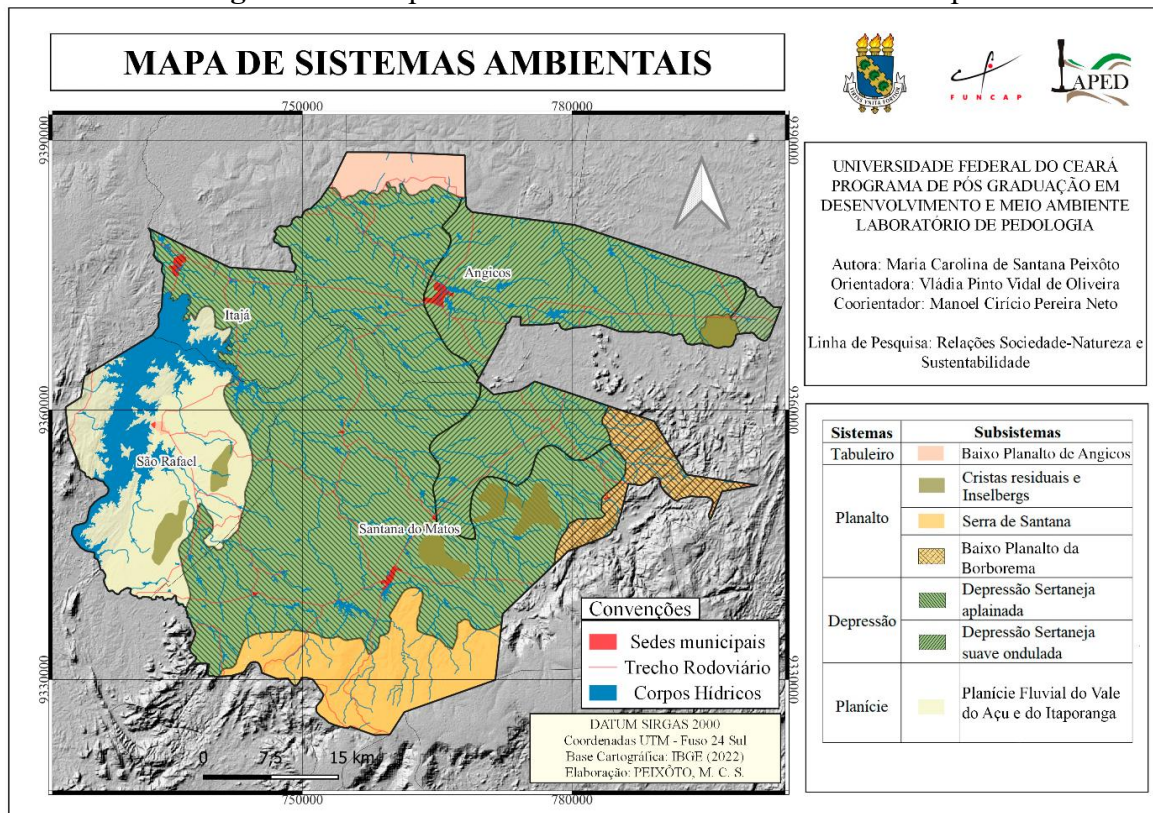
## SISTEMAS AMBIENTAIS

### 5.1 Caracterização dos Sistemas Ambientais

Na tentativa de integrar os ambientes aqui estudados e espacializados, propõe-se uma sugestão de áreas susceptíveis à degradação/desertificação na Região Central Potiguar. Para tanto, com os dados obtidos em gabinete e juntamente com os dados e registros obtidos em visitas de campo, descreve-se a seguir sobre cada sistema e subsistemas delimitados nos municípios, seguido de uma compilação dos seus principais elementos predominantes, potencialidades e limitações (Quadro 15) e da sua espacialização e mapeamento (Figura 53).

Foram delimitados cinco sistemas ambientais: (1) Planalto, (2) Serras, Cristas e Inselbergs, (3) Depressão Sertaneja e (4) Planície Fluvial. Destes, foram divididos em sete subsistemas: (1) Baixo Planalto de Angicos, (2) Baixo Planalto da Borborema, (3) Serra de Santana, (4) Serras, Cristas e Inselbergs, (5) Depressão Sertaneja Aplainada, (6) Depressão Sertaneja suave ondulada e (7) Planícies Fluviais (Vale do Açu e do Itaporanga).

**Figura 53 – Mapa dos Sistemas e Subsistemas dos municípios**



**Fonte:** elaborado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

### **5.1.1 Baixo Planalto de Angicos**

O subsistema de Baixo Planalto Sedimentar de Angicos, com sua nomenclatura deriva de aspectos geomorfológicos regionais, possui uma área de 61,203 km<sup>2</sup> (equivalente a 2,14% da área total de estudo) no extremo norte do município de Angicos. O clima de região é predominantemente semiárido e sua paisagem situa-se em uma zona de transição entre o cristalino e a bacia sedimentar potiguar.

Do ponto de vista geológico, a área é caracterizada por espessas camadas de arenitos, de granulometria média a muito grossa e coloração esbranquiçada, intercaladas por folhelhos. O terreno exhibe pequenas elevações do terreno com declives suaves esculpidas por processos morfogenéticos, onde estão presentes rochas sedimentares e formas cársticas. Os solos são predominantemente Latossolos moderadamente profundos e bastante intemperizados. Devido a sua facilidade de preparo, são bastante utilizados para culturas extensivas.

A cobertura vegetal é caatinga arbórea-arbustiva, embora em alguns setores do subsistema foram convertidos para o cultivo agrícola, conforme visto na Figura 54.

**Figura 54** – Área referente ao Baixo Planalto, porção norte de Angicos

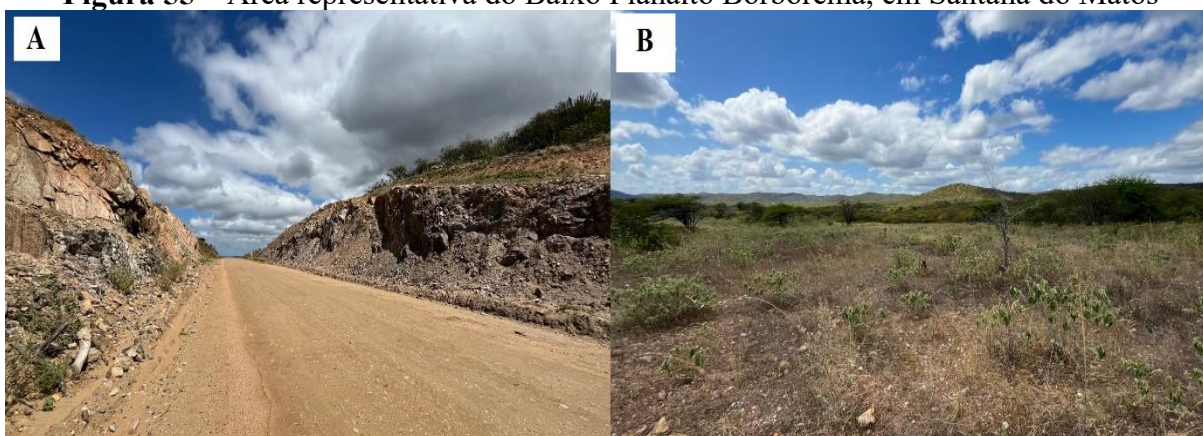


**Fonte:** acervo da autora (2024)

### 5.1.2 Baixo Planalto da Borborema

O subsistema Baixo Planalto da Borborema situa-se no extremo leste do município de Santana do Matos e possui área de 88,797 km<sup>2</sup> (equivalente a 3,10% da área). Geologicamente, caracteriza-se pelas rochas do Complexo Caicó, exibido em relevo suave ondulado, com litologia representada por augen gnaisse, migmatito, biotita e monzogranito; clima semiárido; solos rasos do tipo Neossolos Litólicos, com vegetação de caatinga esparsa e densa em alguns pontos específicos, conforme mostra a Figura 55.

**Figura 55** – Área representativa do Baixo Planalto Borborema, em Santana do Matos



55A – Estrada construída para passagem de aerogeradores; 55B – Relevo suave ondulado ao fundo

**Fonte:** acervo da autora (2024)

### 5.1.3 Serra de Santana

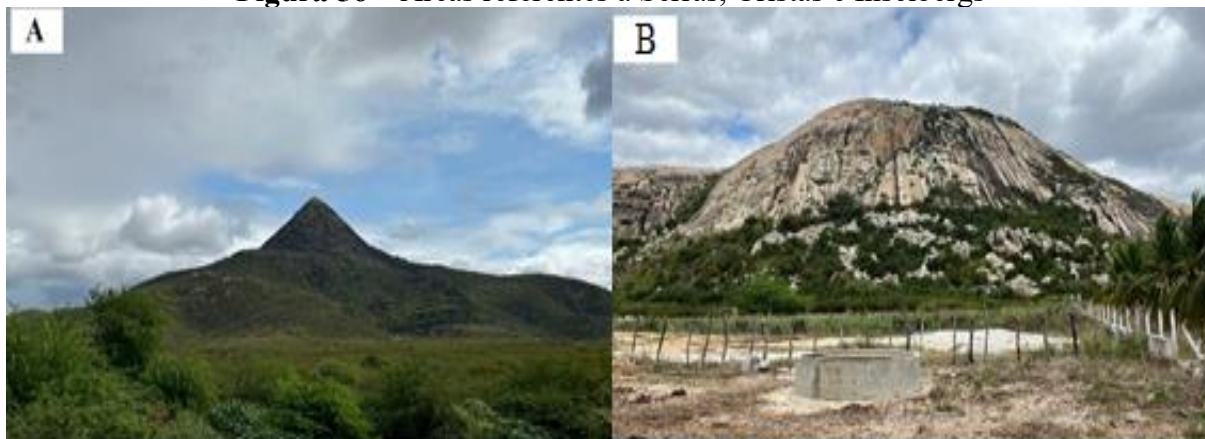
O subsistema da Serra de Santana encontra-se localizado no extremo sul do município de Santana do Matos e possui área de 224,096 km<sup>2</sup>, correspondendo a 7,82% da área estudada.

É uma região que possui variedade geológica, inclui rochas gnáissicas, metamórficas, de mármore, biotita, muscovita e quartzito, a partir da Formação Seridó, Caicó Ortognaisse com intrusões de anfíbolito e a Formação Jucurutu. Predomina, assim como nos outros subsistemas, o clima semiárido. Possui relevo dissecado, com cotas altimétricas que passam de 700m, com vias de difícil acesso, possui vegetação de caatinga arbórea bem conservada e algumas espécies de mata seca (provavelmente devido sua própria altimetria), no sopé da serra seus solos são moderadamente profundos, constituídos por Latossolos associados aos Neossolos Quartzarênicos, onde aflora uma agricultura de sequeiro relativamente simples.

#### 5.1.4 Serras, Cristas Residuais e Inselbergs

Esse sistema encontra-se ao longo de três dos quatro municípios estudados: Angicos, São Rafael e Santana do Matos (Figura 56) e possui área de 59,649 km<sup>2</sup>, correspondendo a 2,08% de área total, a menor porcentagem dentre os subsistemas.

**Figura 56** – Áreas referentes a Serras, Cristas e Inselbergs



54A – Pico do Cabugi em Angicos; 54B – Serra do Jatobá em São Rafael. **Fonte:** acervo da autora (2024)

Este subsistema está disperso por toda a área, constituído de litotipos variados do cristalino exibindo feições aguçadas de relevo e morros residuais oriundos de erosão residual. Tem como diferencial o Pico (*neck* subvulcânico) do Cabugi, no topo do maciço formado por uma proeminência cônica localizado no extremo leste de Angicos. Geologicamente, o Pico é composto por basalto da Formação Macau. De modo geral, esse subsistema apresenta vegetação de caatinga com diferentes padrões fisionômicos em solos relativamente rasos (Neossolos Litólicos) ou ainda exibem afloramentos rochosos sem cobertura vegetal de caatinga, podendo desenvolver musgos. Muitos dos inselbergs têm sido submetidos a forte desmatamento, com exceção do Pico do Cabugi, ser uma área controlada por legislação específica (Unidade de Conservação). Com isso, alguns desses locais foram e ainda são pontos turísticos de aventura e ecoturismo

#### 5.1.5 Depressão Sertaneja Aplainada

A Depressão Sertaneja Aplainada está presente em todos os municípios estudados, sendo a maior parcela presente na área central do município de Santana do Matos e a menor área encontra-se no município de São Rafael. No total, possui uma área abrangente de 1.434,927 km<sup>2</sup>, representando a maior parcela de terra da área de estudo, equivalente a 50,08%.

Grande parte da sua geologia se encontra entre o Complexo Caicó e Formação Seridó, preponderando tipos litológicos como mármore, quartzito, xisto, migmatito e augen gnaisse, possuindo relevo relativamente plano, solos rasos a moderadamente profundos, com Neossolos Litólicos associados aos Planossolos, vegetação de caatinga esparsa e rala, predominando usos como extrativismo vegetal e agropecuária, além de uma pequena faixa de agricultura de sequeiro em área privada (Figura 57) e clima semiárido.

**Figura 57** – Área representativa da Depressão Sertaneja Aplainada, Santana do Matos



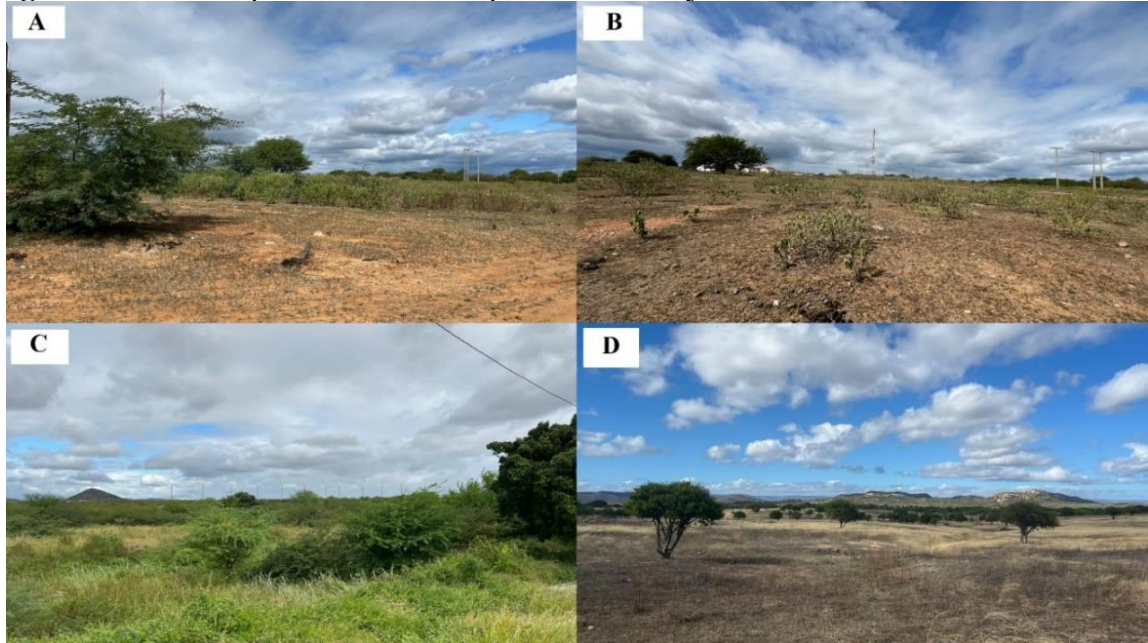
Fonte: acervo da autora (2024)

#### **5.1.6 Depressão Sertaneja suave ondulada**

Esse subsistema encontra-se entre os municípios de Angicos e Santana do Matos e possui área de 538,585 km<sup>2</sup>, simbolizando 18,80% da área total.

Possui litologia do tipo augen gnaisse, migmatito, ortognaisse; geologicamente, predomina o Complexo Caicó e Suíte dona Inês, em relevo suave ondulado em que a maior parte dos seus solos são do tipo Luvisolos associados aos Neossolos Litólicos e Planossolos que podem ser moderadamente profundos a rasos. Predomina o clima semiárido; das formas vegetacionais, destaca-se a caatinga arbustiva rala e esparsa, entretanto, ocorrem áreas pontuais de parcelas de vegetação densa (Figura 58C), além do cultivo de agricultura de sequeiro em algumas áreas privadas.

**Figura 58** – Área representativa da Depressão Sertaneja suave ondulada, Santana do Matos



Fonte: acervo da autora (2024)

### 5.1.7 Planícies Fluviais (Vale do Açú e do Itaporanga)

O subsistema das Planícies Fluviais localiza-se entre os municípios de Itajá e São Rafael e possui área 457,983 km<sup>2</sup>, refletindo 15,99% da área de estudo.

Geologicamente, compreende os depósitos aluvionares decorrentes da ação fluvial, constituídos de areia, silte, argila e cascalhos. O material de origem é sempre associado à faixa de deposição, a largura dessa faixa é dependente da suavização dos gradientes fluviais. Estão sob influência do clima semiárido, em relevo plano, em Neossolos Flúvicos associados aos Planossolos. A vegetação ordinária foi retirada em função do desmatamento e cultivo, podendo ser encontrado alguns setores de mata ciliar. Os Planossolos estão normalmente associados a áreas de inundações sazonais, cobertos pelas carnaúbas (*Copernicia prunifera*) como visto na Figura 59.

**Figura 59** – Área representativa da Planície Fluvial do Vale do Açu, em Itajá



**Fonte:** acervo da autora (2024)

Para melhor entendimento dos sistemas e subsistemas ambientais, segue uma sinopse com características naturais predominantes, potencialidades, limitações, ecodinâmica, impactos e riscos de ocupação no Quadro 15 a seguir.

**Quadro 15 – Sinopse dos Sistemas e Subsistemas ambientais dos municípios da Região Central Potiguar**

<b>Subsistema</b>	<b>Características Naturais Dominantes</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Limitações</b>	<b>Ecodinâmica</b>	<b>Impactos e Riscos de Ocupação</b>
1- Baixo Planalto (da Bacia Potiguar)	-Relevo suavemente plano em rochas sedimentares; -Latossolo Vermelho amarelo; -Vegetação densa; -Clima semiárido	-Agricultura -Extrativismo vegetal controlado; -Biodiversidade não explorada -Pesquisas científicas	-Terrenos privados, de difícil acesso; -Terrenos pedregosos e arenosos; -Deficiência hídrica na estação seca	Ambiente relativamente estável	-Poluição devido ao lixo aberto; -Possível contaminação do solo por churume
2- Serras, Cristas e Inselbergs	-Relevo em cristas alongadas e arredondadas de 200 a 550m de material ígneo; -Neossolo Litólico e afloramento rochoso; -Vegetação conservada (em decorrência do declive) -Clima semiárido	-Unidade de Conservação; -Vegetação mais conservada devido ao declive e legislação; -Ecoturismo e Turismo de aventura; -Pesquisas científicas e educação ambiental. -Biodiversidade pouco explorada	-Área de altitude moderadamente alta com baixa produtividade; -Solos pouco desenvolvidos	Ambiente instável	-Erosão acelerada devido as práticas turísticas; -Baixa disponibilidade de recursos hídricos; -Possíveis deslocamentos de blocos de pedra
3- Depressão Sertaneja Aplainada Setentrional	-Relevo plano a suave ondulado constituído por rochas do embasamento cristalino; -Clima semiárido; -Presença de vegetação de caatinga arbustiva e arbórea-arbustiva; -Neossolo Litólico e Planossolo;	-Pecuária e pasto; -Agricultura de sequeiro; -Águas superficiais; -Indústria ceramista; -Pesquisas científicas;	-Extração de argila; -Desmatamento; -Poluição por emissão de materiais particulados. -Degradação próximo à planície do Piranhas	Ambiente de transição com tendência a instabilidade	-Compactação do solo através do manejo agrícola e agropecuária; -Erosão acelerada devido as práticas agrícolas rudimentares
4- Depressão Sertaneja Suave Ondulada	-Relevo em colinas rasas em variados litotipos do embasamento cristalino; -Clima semiárido -Neossolos Litólicos e Luvisolos;	-Pecuária e pasto; -Agricultura de sequeiro; -Águas superficiais	- Deficiência hídrica na estação seca; -Degradação da vegetação; -Área de pastagem	Ambiente de transição com tendência a instabilidade	-Compactação do solo através do manejo agrícola e agropecuária; -Erosão acelerada devido as práticas agrícolas rudimentares

	-Vegetação de caatinga arbustiva e arbórea-arbustiva.				
5- Planícies Fluviais (Vale do Rio Açu e Itaporanga)	-Sedimentos aluviais em relevo plano; -Clima semiárido -Neossolo Flúvico; -Vegetação fortemente degradada de mata ciliar, ocupada por caatinga e cultivos.	-Agricultura temporária; -Reservatório artificial; -Ecoturismo	-Deficiência hídrica na estação seca; - Ausência de uso e manejo adequado pela população	Ambiente instável	-Aumento do desmatamento e extração de argila; -Poluição através da emissão de materiais particulados
6- Serra de Santana	-Relevo de topo plano a suave ondulado com bordas escarpadas constituídas por material sedimentar sobreposto ao cristalino; -Clima semiárido -Neossolo Litólico e Argissolos; -Vegetação conservada (em decorrência do declive);	-Atrativo ecoturístico e paisagístico; -Biodiversidade não explorada; -Agricultura de sequeiro; -Pesquisa científica	-Solos profundos; -Declives acentuados; -Locais de difícil acesso; -Baixa exploração turística	Ambiente instável	-Áreas com solos pouco desenvolvidos nos setores com Neossolos Quartzarênicos; -Baixa disponibilidade de recursos hídricos
7- Planalto Oriental da Borborema	-Relevo relativamente acidentado; -Neossolo Litólico e Argissolos; -Vegetação conservada (em decorrência do declive); -Clima semiárido	-Produção de energia eólica e de subestação elétrica; -Pesquisa científica; -Biodiversidade não explorada	-Impactos da energia eólica; -Degradação dos solos e da vegetação; -Áreas desmatadas para construção de empresas de energia	Ambiente instável	-Áreas com solos pouco desenvolvidos; -Baixa disponibilidade de recursos hídricos

**Fonte:** organizado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

## 5.2 Análise dos Indicadores de Desertificação

Por fim, neste tópico será abordado quanto aos indicadores geofísicos utilizados para homogeneizar os subsistemas ambientais dos municípios pesquisados conforme valores estipulados juntamente com os parâmetros apresentados na, Tabelas 1 e 2 do Capítulo 02.

Entretanto, antes de discutir os indicadores propriamente ditos, é necessário considerar os condicionantes estruturais que moldam a dinâmica ambiental da região estudada. O uso e a ocupação da terra, marcados historicamente pela pecuária extensiva e pela agricultura de caráter predatório, somam-se à exploração desordenada de muitos dos recursos naturais, em especial a utilização da vegetação da Caatinga como componente da matriz energética regional. Esses fatores, quando associados à agressividade climática do semiárido — caracterizada principalmente por longos períodos de estiagem, alta variabilidade pluviométrica e elevada evapotranspiração — configuram elementos cruciais para os processos morfodinâmicos que modificam acentuadamente as características geológicas originais da região.

Nesse contexto, os indicadores geofísicos desempenham papel fundamental na compreensão da susceptibilidade à desertificação. Os parâmetros de geologia, geomorfologia, solos, clima e uso e cobertura da terra permitem evidenciar tanto a fragilidade natural dos ecossistemas quanto as transformações decorrentes da pressão antrópica. A análise integrada desses componentes oferece uma visão clara da capacidade de suporte ambiental e das limitações impostas pelas condições físico-naturais à manutenção dos recursos.

Paralelo a isso, os indicadores socioeconômicos contribuem para elucidar as dimensões humanas e estruturais do fenômeno. A densidade demográfica, o nível de escolaridade, a estrutura fundiária, a prática agrícola e pecuária, o extrativismo vegetal, a renda familiar, o abastecimento de água, o tratamento hídrico, a matriz energética e o destino dos resíduos sólidos representam variáveis centrais para a interpretação das pressões sociais sobre o meio natural. Tais fatores, ao refletirem desigualdades históricas e a ausência de práticas sustentáveis de gestão, intensificam a vulnerabilidade das populações locais diante da degradação ambiental.

É, pois, a partir desses indicadores que se consegue uma análise singular e representativa dos ambientes do semiárido, bem como a partir da sua integração é possível visualizar como o ambiente se comporta a partir dos parâmetros físicos e como os parâmetros socioambientais podem interferir no meio.

Para os respectivos indicadores, os valores utilizados variam de 1 a 5 e quanto mais próximos de 5, melhores são as condições ambientais e socioeconômicas encontrados nos subsistemas.

### **5.2.1 Indicadores Geofísicos**

O Indicador Geofísico de Desertificação 1 (IGD1), refere-se à Geologia (litotipos/permeabilidade). Utilizando-se das justificativas elencadas por Sousa (2016), em se tratando da função da composição litológica do substrato, destaca-se a permoporosidade da rocha, em que a permeabilidade é a propriedade das rochas e solos se deixarem atravessar pela água infiltrada e a porosidade é a quantidade de espaços vazios (Guerra; Guerra, 2015).

Com a maior parte dos subsistemas inseridos em área de embasamento cristalino, a pontuação variou de 1 a 3 e com a conseqüente baixa permeabilidade das áreas correspondentes, estes se encontram sujeitos aos processos erosivos naturais e agravados pela ação antrópica, tendo como principal conseqüência a degradação ambiental. Assim, a composição litológica exprime a importância do substrato como material originário para os solos a partir de suas características morfológicas, como textura e composição química e mineralógica (Brito, 2018).

Esse indicador é adequado para identificar áreas com maior capacidade de recarga hídrica, orientar o uso da terra com base nas informações de capacidade de infiltração e retenção de água, na possibilidade de escolha entre culturas adequadas às condições ambientais locais e ainda para proteção de áreas com vegetação indicadoras de áreas frágeis ou com níveis de biodiversidade locais.

Sousa (2016) justifica a escolha do indicador de Geomorfologia (IGD 2) a partir da declividade, que limita certas atividades humanas. Considera também os aspectos relacionados à formação dos solos e processos de erosão, no escoamento superficial e nos processos erosivos, além da influência gravitacional com força direcional.

De maneira geral, a área estudada é classificada com um relevo suave ondulado em sua maior parte, principalmente devido à Depressão Sertaneja; com exceção das Serras, Cristas e Inselbergs, caracterizadas pelo Planalto da Borborema.

Assim, a declividade tem sua importância a partir dos possíveis usos que a população local pode usufruir, como agricultura, pecuária e extrativismo vegetal, por exemplo. Além disso, a declividade em conjunto com outros fatores, como solo e vegetação, pode desencadear ou intensificar processos erosivos, bem como identificar áreas em processo de degradação e assim, planejar ações de recuperação, conservação ou proteção ambiental.

No que diz respeito ao estrato fisionômico da vegetação (IGD 3), Sousa (2016) afirma que pode indicar sobre a maturidade das espécies e que influencia a intensidade das ações erosivas. Além disso, a cobertura vegetal atua como agente de proteção do solo, uma vez que, dependendo do estrato arbóreo, diminui o impacto da água da chuva do solo e

consequentemente diminui a erosão superficial; em áreas de declive acentuado pode atuar como na prevenção de deslizamentos ou ravinamento.

Em áreas de alta cobertura vegetal é possível regular a infiltração da água pluvial, bem como ajudar na permoporosidade. Na área estudada, há locais com alta cobertura, que podem influenciar em microclimas locais e promove a formação de matéria orgânica, possibilitando a ciclagem dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das espécies.

Por outro lado, na área, há locais apenas com vegetação de baixa cobertura, o que pode influenciar na lixiviação dos nutrientes de solos rasos e arenosos sem proteção vegetal, além da não estocagem de umidade e pequenas erosões que podem evoluir para ravinamento ou voçorocas. Dessa forma, a vegetação intervém na formação, conservação e regeneração do solo (Sousa, 2016).

A espessura do solo (IGD 4) se refere à profundidade de cada camada, resultado de processos dinâmicos e pedogenéticos ao longo dos anos. Além disso, nas áreas secas o intemperismo físico é geralmente predominante, sendo comum a presença de solos muito pedregosos, pouco profundos e pouco alterados fisicamente (Oliveira, 2011). Conforme Sousa (2016) parâmetros como espessura implicam no maior desenvolvimento e maturidade dos solos e na maior capacidade de resistência à erosão.

Nos subsistemas aqui elencados, evidenciou-se pontuação que varia de 1 a 3 para a espessura dos solos, preponderando o nível 3, moderadamente rasos, (Latosolos, Argissolos, Luvisolos) seguidos de solos rasos e com afloramentos rochosos (Planossolos, Neossolos).

Além disso, vale ressaltar que a profundidade dos solos influencia na retenção de água, resiliência à seca e capacidade de suporte agrícola. Solos mais rasos exigem estratégias específicas de uso e manejo para que se possa usufruir de todas as suas matrizes energéticas.

A erosão (IGD 5) relaciona-se diretamente como processo morfodinâmico sobre solos com suscetibilidade à erosão e profundidade dos solos, considerando ainda as formas de uso e cobertura nos subsistemas (Brito, 2018). Assim, solos rasos juntamente com o regime pluviométrico fortalecem os processos morfodinâmicos e potencializam a degradação ambiental/desertificação (Sousa, 2016).

Nesse caso, sendo a erosão do solo a destruição nas partes altas e acúmulo nas partes deprimidas da camada superficial edificada pela intervenção humana e seres vivos, ocasionando desequilíbrio ambiental (Guerra; Guerra, 2015), nos subsistemas analisados, predominam erosão do tipo laminar (mais superficial) e erosão com sulcos. A presença de feições erosivas visíveis, como sulcos e ravinas, constitui um indicativo relevante de desequilíbrio ambiental,

especialmente em áreas submetidas a práticas inadequadas de uso da terra, funcionando como um alerta para a necessidade de monitoramento e intervenção na paisagem.

Em regiões semiáridas, como as desta pesquisa, a erosão (em conjunto com outros fatores naturais e antrópicos, como os próprios indicadores aqui estudados) podem agravar e intensificar o empobrecimento do solo, levando a áreas improdutivas, comprometimento de usos como a agricultura e em conjunto com as atividades advindas de animais (como a caprinocultura, agricultura e outros) podem resultar em pisoteio excessivo, levando ainda à compactação do solo.

Por fim, o indicador de zonação climática (IGD 6) para a área caracteriza-se de maneira geral como clima semiárido. Assim, não há mudanças significativas a nível de microclima, apesar das suas serras e inselbergs.

Além disso, os municípios estudados encontram-se inseridos no contexto da Bacia do Piranhas-Açu e da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves. Entretanto, em épocas de estiagem, como o período correspondente entre 2014 a 2017 (Figura 23), é possível que algumas comunidades e até mesmo determinadas áreas da zona urbana sejam abastecidas por carros-pipa, que atuam em parceria com o Exército Brasileiro, atendendo principalmente comunidades do município de São Rafael, demonstrando assim a situação hídrica de forma crítica para a região sertaneja no semiárido potiguar.

Ainda assim, é interessante apontar para as formas como a população sobrevive em épocas de escassez hídrica: pequenos barramentos e açudagem em áreas de rochas cristalinas e terrenos aplainados (Sousa, 2016) é onde ocorre a resistência pelas comunidades que necessitam de água para uso próprio e dessedentação animal. Entretanto, também acende um alerta para a possibilidade de salinização do solo (Saraiva Filho; Bonilla, 2022).

Assim, conhecer as condições geofísicas em conjunto, de uma área, pode ajudar no reconhecimento de impactos e assim elaborar planos de recuperação do ambiente de modo que não afete negativamente a população que dela dependem. Com isso, foi a partir da conexão dos elementos do mapa de sistemas, juntamente com o uso e cobertura e vulnerabilidade que se estabeleceu os níveis de susceptibilidade à degradação/desertificação com os indicadores geofísicos, conforme se observa no Quadro 16.

Dentre os resultados obtidos, foi dividido em três grupos os valores obtidos quanto ao grau de desertificação, nos quais foram organizados no Quadro 17 e espacializados na Figura 61. O primeiro grupo corresponde ao melhor valor obtido dentro de todos os subsistemas, assim, o maior índice correspondeu ao Baixo Planalto, com valor de 3,5 e vulnerabilidade/susceptibilidade estável e baixa. O segundo grupo corresponde aos valores de

3,3 e 3, com vulnerabilidade/susceptibilidade em transição e moderada. Por fim, o último grupo corresponde aos valores entre 2,6 e 2, com vulnerabilidade/susceptibilidade instável e alta.

**Quadro 16:** Indicadores Geofísicos aplicados nos municípios da Região Central Potiguar

SUBSISTEMAS AMBIENTAIS	INDICADORES GEOFÍSICOS DE DESERTIFICAÇÃO (IGD) DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO IMEDIATA (RN)						
	IGD1	IGD2	IGD3	IGD4	IGD5	IGD6	Índice
1- Baixo Planalto	3	4	4	3	5	2	3,5
2- Serras, Cristas e Inselbergs	2	2	1	1	5	2	2,1
3- Depressão Sertaneja Aplainada Setentrional	1	4	3	3	5	2	3
4- Depressão Sertaneja Suave Ondulada	4	4	3	3	4	2	3,3
5- Planícies Fluviais	1	4	4	3	4	2	3
6- Serras de Santana e Cuité	1	2	4	1	5	2	2,5
7- Planalto Oriental da Borborema	1	2	2	2	3	2	2
<b>Média</b>	1,8	3,1	3	2,2	4,4	2	2,7
<b>Desvio Padrão</b>	1,1	0,9	1	0,8	0,7	0	0,8

**Fonte:** organizado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

**Quadro 17 –** Relação dos subsistemas, Indicadores e Vulnerabilidade/Susceptibilidade

SUBSISTEMA AMBIENTAL	ÍNDICE	VULNERABILIDADE/SUSCEPTIBILIDADE
1- Baixo Planalto	3,5	Estável/Baixa
2- Depressão Sertaneja Suave Ondulada	3,3	Transição/Moderado
3- Depressão Sertaneja Aplainada Setentrional	3	Transição/Moderado
4- Planícies Fluviais	2,6	Instável/Alta
5- Serras de Santana e Cuité	2,5	Instável/Alta
6- Serras, Cristas e Inselbergs	2,1	Instável/Alta
7- Planalto Oriental da Borborema	2	Instável/Alta

**Fonte:** organizado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

### 5.2.2 Indicadores Socioeconômicos

Seguindo a proposta de Sousa (2016), elencou-se 11 Indicadores Socioeconômicos de Desertificação aplicados à área estudada, sendo eles População (densidade demográfica), Escolaridade, Estrutura fundiária, Agricultura, Pecuária, Extrativismo vegetal, Renda familiar, Fonte de abastecimento de água, Tratamento de água, Matriz energética, Destino dos resíduos sólidos. Esses indicadores, associados aos Indicadores Geofísicos, podem assim, ajudar na identificação e intensidade de processos de degradação ambiental e desertificação dos municípios.

A densidade demográfica (ISED 1) para as áreas é relativamente baixa, com a maioria apresentando o valor 4. O município de Santana do Matos, que abriga a maior parte dos subsistemas, apesar de possuir maior área e população absoluta, é o município que apresenta menor densidade demográfica de acordo com o IBGE (2022), com 8,76. Já o município de Itajá, que abriga dois subsistemas e possui a menor área, tem a maior densidade entre os municípios estudados, com 35,81 hab/km<sup>2</sup>. Esse indicador pode auxiliar na compreensão das atividades humanas capazes de gerar pressão sobre os recursos naturais (Sousa, 2016).

A escolaridade (ISED 2) varia entre 2 a 4, com índices gerais que vão de alfabetizados à ensino médio completo e alguns casos pontuais de ensino superior completo. Esse nível de escolaridade relativamente baixo pode ser um agravante para atividades rurais mais rudimentares e, de acordo com Sousa (2016) também pode refletir as condições de vida da população por meio do desenvolvimento de atividades econômicas e obtenção de renda.

Com relação à estrutura fundiária (ISED 3), verifica-se que a maioria das propriedades são de pequeno porte. Esse indicador, de acordo com Sousa (2016), pode indicar e justificar as formas de uso e cobertura da terra e suas consequências, e que, essas pequenas propriedades podem vir a inviabilizar o desenvolvimento de atividades, como a agropecuária, o sobrepastoreio, a ausência do período de pousio da terra, que colaboram para a degradação ambiental. O histórico de uso e cobertura da região, em conjunto com a estrutura fundiária, envolve principalmente a extração de madeira para alimentar fornos cerâmicos, além de extração de argila e atividades de agricultura e pecuária, com atividades como desmatamento, queimadas, aumento de erosão e diminuição de espécies locais.

As práticas econômicas de agricultura (ISED 4) nos subsistemas analisados variam de nível 1 a 3, indo de muito forte a moderado. Em todos os municípios há presença da atividade tanto em áreas rurais como urbanas, embora esta última em menor proporção. Esse indicador pode sugerir a intensidade de uso da terra e apontar para as principais causas da degradação ambiental, podendo indicar desmatamento, erosão e contaminação do solo, surgimento de pragas e desequilíbrio ambiental (Sousa, 2016). Já a pecuária (ISED 5) é ainda uma atividade muito presente, presente em todos os municípios e em quase todos os subsistemas e também pode trazer informações pertinentes ao desmatamento da área, compactação do solo, ações erosivas, conforme aponta Sousa (2016).

O extrativismo vegetal (ISED 6), capaz de indicar o grau de degradação ambiental (Sousa, 2016) varia de 1 a 3, indo de muito forte a moderado, também presente em todos os subsistemas, principalmente no que diz respeito aos fornos cerâmicos da cidade de Itajá. É consideravelmente grande a extração e desmatamento nos municípios circunvizinhos, deixando

o solo desprotegido e susceptível à erosão e desequilíbrio ambiental, podendo levar ao afugentamento da fauna local.

A renda familiar (ISED 7) fornece informações sobre as condições de vida da população, seu estado de pobreza ou de riqueza. Para a área, a maior parte dos valores variam de 1 e 2, com alguns locais mais pontuais acima de um salário mínimo, normalmente concentrados nas áreas urbanas dos municípios.

No que diz respeito ao abastecimento de água (ISED 8), a área é abastecida pela rede pública. Entretanto, principalmente na área rural, em épocas de secas mais severas é comum a região do Vale do Açu ser abastecida por meio de carros-pipa pelo programa Operação Carro-Pipa, principalmente para o município de São Rafael. Peixôto e Pereira Neto (2024) elencaram, para os municípios, as tecnologias de convivência com o semiárido utilizadas, a partir de dados do Programa uma terra e duas águas (P1+2). Os municípios de Santana do Matos e Itajá não possuem nenhuma tecnologia, já os municípios de São Rafael e Angicos possuem, respectivamente Cisterna calçadão 52 mil litros, Cisterna Enxurrada e Barreiro trincheira; Cisterna calçadão 52 mil litros, Cisterna Enxurrada, Barraginha, Bomba d'água popular, barragem subterrânea, barreiro trincheira. Essas tecnologias amenizam a crise hídrica vivenciada de tempos em tempos.

Além do abastecimento de água, o tratamento hídrico (ISED 9) também um indicador muito importante. Apesar dos municípios possuírem acesso à água por meio da rede pública, que é tratada, é possível que a água conseguida por outros meios seja contaminada por veiculação hídrica, armazenamento inadequado e sem os devidos tratamentos sanitários.

A matriz energética (ISED 10) pode indicar as condições ambientais e condições de pobreza da população (Sousa, 2016). Os subsistemas utilizam, em sua maioria, como matriz energética o gás e a lenha, este último mais comum em áreas rurais, contribuindo para o desmatamento local.

Por fim, o destino dos resíduos sólidos (ISED 11), que conforme Sousa (2016) pode implicar diretamente na degradação (quando disposto em locais inadequados, geram problemas variados ao ambiente e à sociedade) ou preservação ambiental dos subsistemas aqui elencados, possuem também em sua maioria a destinação jogado à céu aberto, com a presença de animais (que também podem ser vetores para diversas doenças), além de fogo constante com fumaça tóxica, causando poluição dos solos, dos recursos hídricos próximos e pode diminuir a qualidade de vida da população que residir próximo.

Sintetizados no Quadro 18, os indicadores socioeconômicos estão compilados a seguir.

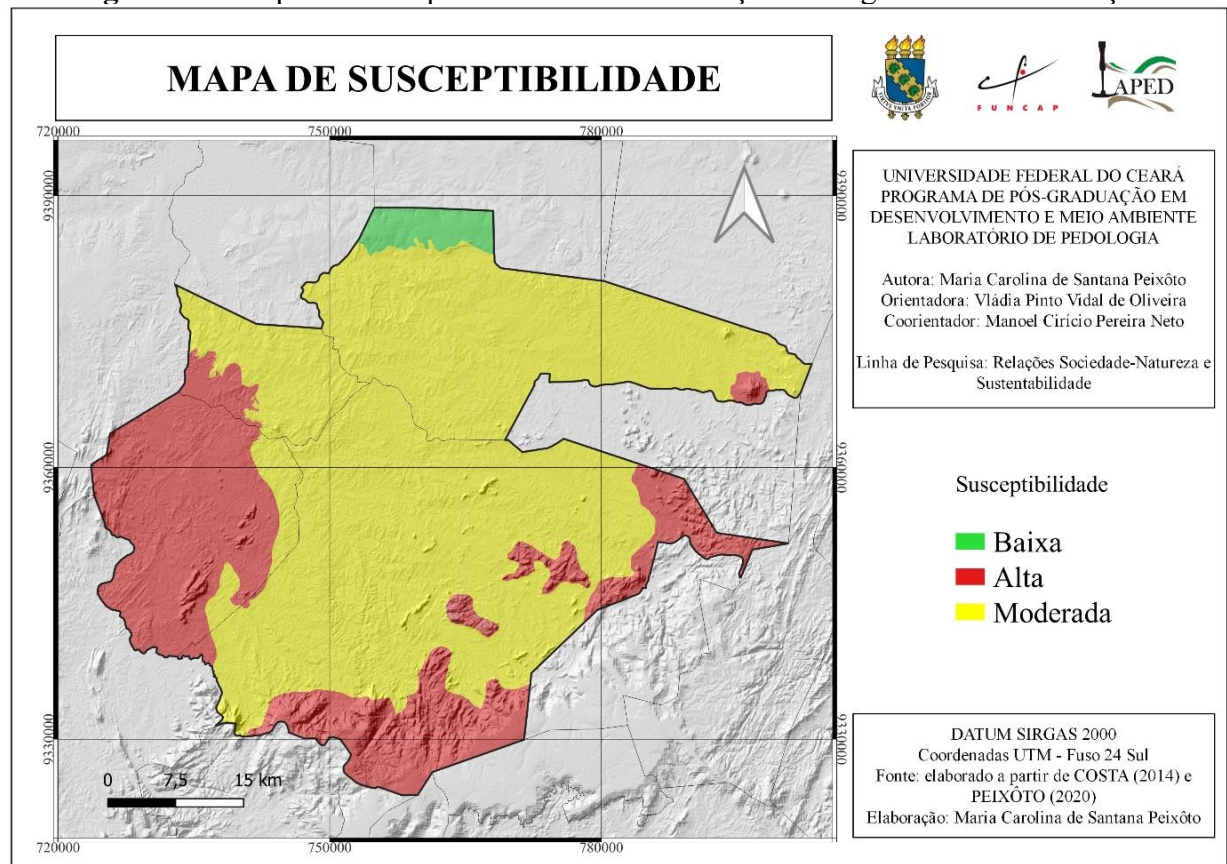
**Quadro 18:** Indicadores Socioeconômicos aplicados nos municípios da Região Imediata

SUBSISTEMAS AMBIENTAIS	INDICADORES SOCIOECONÔMICOS (ISED) DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO IMEDIATA (RN)										
	ISED 1	ISED 2	ISED 3	ISED 4	ISED 5	ISED 6	ISED 7	ISED 8	ISED 9	ISED 10	ISED 11
1- Baixo Planalto	4	2	5	3	3	3	3	5	5	3	1
2- Serras, Cristas e Inselbergs	5	-	-	2	2	2	-	-	-	-	-
3- Depressão Sertaneja Aplainada Setentrional	4	4	3	3	2	3	2	5	5	3	1
4- Depressão Sertaneja Suave Ondulada	4	4	3	3	2	3	2	5	5	3	1
5- Planície Fluvial (do Vale do Açu e do Itaporanga)	4	3	1	1	1	1	1	5	5	3	1
6- Serras de Santana e Cuité	4	2	-	1	2	2	1	-	5	3	1
7- Planalto Oriental da Borborema	4	2	-	1	2	2	-	-	5	3	1

**Fonte:** organizado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

Por fim, com o cruzamento dos mapas temáticos apresentados anteriormente, em conjunto com os indicadores geofísicos e socioeconômicos, especializou-se o mapa da Figura 60 de susceptibilidade da área a partir desses resultados analisados de maneira sistêmica.

**Figura 60 - Mapa de Susceptibilidade à Desertificação da Região Imediata de Açú**



**Fonte:** organizado pela autora a partir de dados da pesquisa (2024)

O valor que representa o Baixo Planalto foi caracterizado como ambiente estável possui uma área equivalente a 61,203 km<sup>2</sup> e situa-se no extremo norte do município de Angicos. Os ambientes identificados como de transição correspondem aos subsistemas da Depressão Sertaneja e juntos representam uma área de 1.973,512 km<sup>2</sup>, sendo representados por solos moderadamente rasos, vegetação esparsa e densa em alguns pontos, áreas de pastagem e relevo majoritariamente aplainado.

Já os ambientes caracterizados como instável, equivalem às planícies, serras e Inselbergs, isso porque, embora nas áreas de Inselbergs e serras tenha vegetação densa devido a baixa exploração antrópica, estes são ambientes de solos relativamente rasos e propícios à erosão, principalmente em períodos de seca e devido ao seu relevo mais acidentado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos e discutidos, a pesquisa possibilitou a delimitação e a caracterização dos sistemas geoambientais de municípios localizados na Região Imediata de Açu, assim como a espacialização e a classificação dos níveis de susceptibilidade à degradação ambiental e à desertificação. Os mapeamentos realizados mostram padrões espaciais significativos, que permitem compreender amplamente os fatores que condicionam a instabilidade ambiental e a intensificação de processos degradacionais.

Os indicadores geofísicos e socioeconômicos utilizados – como declividade, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, densidade populacional, renda, escolaridade – demonstraram ser instrumentos eficazes para a análise da dinâmica da degradação, para a identificação de práticas de manejo inadequado do solo e para a expansão agropecuária desordenada que tendem a intensificar a fragilidade ambiental, oferecendo uma leitura ambiental diferenciada sobre os graus de susceptibilidade existentes na área, com aprofundamento que parte do contexto histórico, social, econômico e ambiental. A abordagem integrada por sua vez, de caráter holístico, mostrou-se fundamental ao reunir esses aspectos, proporcionando uma visão sistêmica das interações que moldam o ambiente semiárido, considerando ainda as pressões antrópicas.

Assim, conclui-se que os objetivos propostos inicialmente pela pesquisa foram alcançados, com as condições socioambientais contribuindo para aumento e intensificação de processos de degradação ambiental na região central do estado do Rio Grande do Norte. Além disso, as hipóteses também se confirmaram quando se evidenciou que a degradação ambiental é o resultado dessa interação entre condicionantes naturais e ações antrópicas inadequadas ao longo dos anos.

Nesse contexto, a pesquisa contribui para o fortalecimento do conhecimento científico direcionado à região, evidenciando sua criticidade ambiental e apontando para a necessidade de medidas preventivas e corretivas. O estudo reforça a importância de políticas públicas fundamentadas em diagnósticos técnicos e socioambientais consistentes, que subsidiem ações de planejamento territorial, mitigação da degradação e recuperação de áreas impactadas.

Destaca-se, ainda, a relevância de iniciativas voltadas ao uso sustentável dos recursos locais. Entre as possibilidades observadas, ressaltam-se:

- (i) a exploração ambientalmente orientada de áreas de inselbergs, com potencial para o turismo de natureza e de aventura;
- (ii) a adoção de práticas adequadas de manejo agrícola e pecuário, que contribuam para a conservação dos solos e da água;
- (iii) a implementação de programas de educação e conscientização ambiental junto às comunidades; e
- (iv) o incentivo a projetos socioeducativos voltados à restauração e ao enriquecimento da biodiversidade nativa.

O estudo amplia, assim, a compreensão sobre os processos de degradação ambiental e susceptibilidade à desertificação na região central do Rio Grande do Norte, área marcada pela insuficiência de investigações específicas. Além de preencher parte dessa lacuna, sinaliza a necessidade de continuidade de pesquisas, incorporação de novas metodologias, variáveis climáticas e socioeconômicas, bem como análises em diferentes escalas.

Assim, a pesquisa pretende estimular o aprofundamento da temática por outros pesquisadores, consolidando pauta importante para os desafios do Semiárido potiguar. O conhecimento aqui produzido constitui um suporte essencial para a construção de estratégias de mitigação e adaptação, integrando ciência, gestão pública e participação social, que fortalece a busca por maior integração e sustentabilidade em territórios suscetíveis à desertificação.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de Natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. 7 ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.
- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia** (São Paulo), Instituto de Geografia da USP, n.18, 1969.
- AB'SABER, A. N. **Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1977 (Geomorfologia, 53). Acesso em: 19 jun. 2022.
- ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**. Mendoza: Editorial Martín Fierro, 2006.
- ABREU, T. C. de. **Aplicação do Índice de Aridez e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para análise da susceptibilidade à desertificação no município de Irauçuba-CE**. 2018. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- AKBARI, M., SHALAMZARI, M. J., MEMARIAN, H., & GHOLAMI, A. 2020. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. **Ecological Indicators**, 111, 106011.
- ALBUQUERQUE, D. S.; SOUSA, M. L. M. de. Análise geoambiental como subsídio ao planejamento no município de Pereiro/Ceará/Brasil. **Revista Equador**, Teresina, v. 8, n. 2, p. 348-364, 31 ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.26694/equador.v8i2.9245>.
- ALENCAR, D. L.; VIDAL, M. R. Uso do NDVI na Análise da Vegetação no Parque Estadual Serra das Andorinhas/Martínrios. **II Simpósio de Produção Científica**. Manaus: 2018.
- ALENCAR, L. **Por onde anda a Convenção para Combate à Desertificação?** 2021. Disponível em: <https://oeco.org.br/analises/por-onde-anda-a-convencao-para-combate-a-desertificacao/>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- ALIANÇA ENERGIA. **Aliança Energia inaugura Complexo Eólico Acauã no Rio Grande do Norte**. 2023. Disponível em: <https://aliancaenergia.com.br/noticias/alianca-energia-inaugura-complexo-eolico-acaua-no-rio-grande-do-norte/>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Monitor de Secas. **Histórico dos dados tabulares de seca**. 2023. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/dados-tabulares?tipo=1&area=24>. Acesso em: 09 ago. 2024.
- ANGELIM, L. A. A. *et al.* **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte** - Escala 1:500.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

ARAÚJO, J. A.; SOUZA, R. F. Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no Rio Grande do Norte. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 32, n. 65, p.122-143, dez. 2017.

ARAÚJO, J. P. R. **Vulnerabilidade Natural, Ambiental e Uso e Ocupação no município de Assú/RN**. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2019.

ARAÚJO, J. P. R.; GRIGIO, A. M.; PEREIRA NETO, M. C. Vulnerabilidade natural e ambiental no município de Assú/RN. **Caderno de Geografia**, v. 34, n. 78, p. 714-730, 8 jul. 2024. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2024v34n78p714>.

AUGUSTO, R. C. A cartografia de paisagens e a perspectiva geossistêmica como subsídios ao planejamento ambiental. **Revista Tamoios**, São Gonçalo (RJ), v. 1, n. 12, p. 144-153, jun. 2016.

BERTALANFFY, L.V. Teoria Geral dos Sistemas. Rio de Janeiro: Vozes, [2008 (1901)].  
BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. **RA'EGA**, Curitiba, n. 8, p.141-152, 2004.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciência da Terra**, São Paulo: Ed. Cairu, 1972.

BEZERRA, F. G. S. *et al.* Análise de áreas em processo de desertificação, utilizando dados multitemporais EVI2 baseados em imagens MODIS como indicador. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106579, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579>.

BEZERRA, F. G. S., AGUIAR, A. P. D., ALVALÁ, R. C. S., GIAROLLA, A., BEZERRA, K. R. A., LIMA, P. V. P. S., & ARAI, E. 2020. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, 117, 106579.

BRAIDO, L. M. H. **Geocomplexo: Interação de Elementos Naturais e Sociais**: produção e expansão da cana-de-açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema - PR/SP. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

BRASIL. Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. **Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e Seus Instrumentos; Prevê a Criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, BRASÍLIA, DF.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Massas d'Água**. 2020. Disponível em: [https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4c606c38ee534b84bffe70ca6c8552c6\\_0/about](https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4c606c38ee534b84bffe70ca6c8552c6_0/about). Acesso em: 13 jul. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Combate à desertificação**. [201-a]. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao/convencao-da-onu/historico.html>. Acesso em: 25 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Perguntas frequentes**. [201-b]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/perguntasfrequent.html?catid=19>. Acesso em: 25 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Histórico**. [201-c]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao/convencao-da-onu/historico.html>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN BRASIL**. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução nº 150, de 13 de dezembro de 2021. Aprova a proposição n. 151/2021, que trata do Relatório Técnico que apresenta os resultados da revisão da delimitação do Semiárido 2021. **Resolução Condol/Sudene nº 150, de 13 de dezembro de 2021**. 246. ed. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2021. v. 2, Seção 1, p. 52.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. 1975. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Livre Docência 198p.

BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. G. Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research**, 53: 34-40, 1991.

BRITO, V. V. da S. **Percepção socioambiental e utilização de geotecnologias na análise de impactos ambientais da extração mineral de argila no Rio Piranhas-Açu**. 2023. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPGUS-RN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

CARVALHO, A. E. de; GARIGLIO, M. A.; BARCELLOS, N. D. E. **Caracterização das áreas de ocorrência de desertificação no Rio Grande do Norte**. Natal: [s.n.], 2000.  
CAVALCANTI, L. C. de S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 95 p.

CBHSF – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. **A agricultura de sequeiro**. 2015. Disponível em: [https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/cultura\\_blog/a-agricultura-de-sequeiro-3/](https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/cultura_blog/a-agricultura-de-sequeiro-3/). Acesso em: 20 set. 2025.

CEGALLA, D. P. **Dicionário escolar da língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília - DF: Gráfica Ltda., 2016. 256 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999.

CLAUDINO-SALES, V; MAIA, R. P.; ANDRADES FILHO, C. O. Tectônica e Geomorfologia Estrutural na formação do relevo brasileiro. *In*: GUERRA, A. J. T.; ALVES,

H. (Org.). **Paisagens da Geomorfologia**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2022, v. 1, p. 7-28.

LOUREIRO, H. A. S. (org.). **Paisagens d Geomorfologia**: temas e conceitos do século XXI. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2022. p. 115-152.

CNUMAD – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Informação para a tomada de decisões. *In: Agenda 21*, 1992.

COSTA, L. M.; PINTO, J. E. S. de S. Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia rio Gararu no semiárido sergipano. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 7, p. 1-18, 24 jul. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n7-254>.

COSTA, L. R. F. da. **Fragilidade ambiental nos sistemas ambientais e sítios urbanos no Vale do Rio Banabuiú - CE**. 2017. 232 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

COSTA, L. R. F. **Estruturação Geoambiental e Susceptibilidade à Desertificação na Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho Santa Rosa - Ceará**. 2014. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Rio Grande d Norte**. 2020. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CRUZ NETO, J. F. da. *et al.* Desertificação: uma visão geral dos processos e conceitos, fundamentada em aplicação de índices orbitais através do sensoriamento remoto. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Vargem Grande Paulista, v. 11, pág. 16/01/2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19950.

CUENA, J. M. García. **Análisis de flujos de energía mediante diagramas Sankey para escenarios de transición energética mundial**. 2021. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica Industrial e Automática, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2021.

DIAS, E. M. S. *et al.* Mudanças climáticas e agropecuárias: vulnerabilidades da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara/RS, v. 3, 2021

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento Geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 689-701, 2017.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. CLIMATOLOGIA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 488-506, set. 2015.

DNOCS – DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Construído pelo DNOCS, o Açude Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves é o maior reservatório de água do Rio Grande do Norte**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt->

br/assuntos/noticias/construido-pelo-dnocs-o-acude-engenheiro-armando-ribeiro-goncalves-e-o-maior-reservatorio-de-agua-do-rio-grande-do-norte. Acesso em: 16 ago. 2024.

DOURADO, C. da S. **Áreas de risco de desertificação: Cenários atuais e futuros frente às mudanças climáticas**. 2017. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2017.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª. ed. Revista e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 531 p.

EMPARN – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Monitoramento pluviométrico**. 2022. Disponível em: <http://189.124.130.5:8181/monitoramento/monitoramento.php>. Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em:

FAN, Z.; LI, S.; FANG, H. Identificando explicitamente a mudança de desertificação na área do CMREC com base em dados remotos de múltiplas fontes. **Sensoriamento Remoto**, v. 12, n. 19, p. 1–19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12193170>.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global forest resources assessment FAR 2015: terms and definitions**. Rome, 2015. 36p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/ap862e/ap862e00.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2022.

FERREIRA, A. B. de H. **Miniaurélio Século XXI Escolar: o minidicionário da língua portuguesa**. 4ª ed. Ver. Ampliada – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001.

FETTER, A. H.; SCHMUS, W.R.V.; SANTOS, T.J.S.; NETO, J. N. N.; ARTHAUD, M. UPb and SM-ND Geochronological Constraints on the Crustal Evolution and Basement Architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the Paleoproterozoic Supercontinent “Atlantica”. São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 102-1406,2000.

FREITAS, É. G. **Os componentes naturais e a fragilidade ambiental dos sertões do semiárido sergipano**. 2024. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2024.

GAMA, E. S.da *et al.* Dinâmica de antropização nas Unidade de Paisagem em uma microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Pantaneira**, Aquidauana, v. 24, n. 1, p. 327-250, jun. 2024.

GÓIS, D. V.; MELO, F. P.; SOUZA, R. M. Risco à desertificação nos municípios de Canindé de São Francisco e Poço Verde (SE). **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 1, pág. 103-126.

GRIGS, R. H.; JONES, C. A.; SRINIVANSAN, R. Sistemas de Información Geográfica conexión com los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas com la erosión. Santiago, 27 jul.-1 ago., 1992. **Trabajos apresentados...** Santiago, FAO, 1994.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 190 p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 648 p.

HOUAISS. **Paisagem**. Disponível em:

[https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol\\_www/v6-0/html/index.php#1](https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol_www/v6-0/html/index.php#1). Acesso em: 07 jun. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/caico.html>. Acesso em: 16 ago. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Limites municipais**. 2021. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas\\_e\\_mapas/mapas\\_municipais/colecao\\_de\\_mapas\\_municipais/2020/RN/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/RN/). Acesso em: 14 mar. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Unidades Pedológicas**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15829-solos.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 14 jun. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária do RN**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/rn>. Acesso em: 31 ago. 2025.

IDEMA – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. **Parque Ecológico Pico do Cabugy**. 2023. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=946&ACT=&#:~:text=Possui%20uma%20dimens%C3%A3o%20de%20625,07%20de%20dezembro%20de%201988>. Acesso em: 19 ago. 2024.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA**: Banco de Dados Morfométricos do Brasil. 2022. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 05 ago. 2022.

KARAVITIS, C. A. *et al.* 2020. A desertification risk assessment decision support tool (DRAST). *Catena*, 187, 104413.

KULIK, K. N. *et al.* Análise geoinformacional da desertificação do noroeste do Cáspio. **Arid Ecosystems**, v. 10, p. 98–105, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>.

LAPIS – LABORATÓRIO DE ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITES. **LAPIS utiliza metodologia inédita para monitorar processo de desertificação no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://ufal.br/ufal/noticias/2019/7/lapis-utiliza-metodologia-inedita-para-monitorar-processo-de-desertificacao-no-brasil>. Acesso em: 15 ago. 2022.

LEAL, F. B. *et al.* Modelagem geoambiental da vulnerabilidade à desertificação em municípios do Agreste Pernambucano. **Revista Geama**, Recife, v. 3, n. 6, p. 40-53, dez. 2020.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LIMA, K. C. *et al.* Erosão em áreas suscetíveis à desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, pág. 1-14, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2319>.

LIU, Q. *et al.* A restauração ecológica é o principal impulsionador da recente reversão da desertificação no deserto de Mu Us (China). **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 122241, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122241>.

LOPES, L. S.de O.; SOARES, R. C. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), Nordeste do Brasil. **Geographical Journal Of Central America**, Costa Rica, v. 2, n. 56, p. 307-323, 2016.

MADEIRO, C. **Governo altera mapa do semiárido, inclui cidades do ES e exclui do Nordeste**. 2022. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/colunas/carlos-madeiro/2022/02/19/delimitacao-do-semiarido-entra-espirito-santo.htm>. Acesso em: 15 ago. 2022.

MAPBIOMAS. **Água**. 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.MapBiomas.org/agua>. Acesso em: 2 ago. 2024.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022**. 2022. Coleção 8, Disponível em: [https://brasil.MapBiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/FACT\\_port-versao-final.pdf](https://brasil.MapBiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/FACT_port-versao-final.pdf). Acesso em: 16 ago. 2024.

MAPBIOMAS. **Uso e Cobertura da Terra**. 2020. Disponível em: <https://MapBiomas.org/>.

MATALLO JÚNIOR, H. (Org.). **Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD**. Brasília: MMA, 2009. 154 p.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. 2001. Brasília: UNESCO.

MEDEIROS, V. C. de; NASCIMENTO, M. A. L. do; SOUSA, D. do C. Geologia. *In*: PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M. (org.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**: Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade. Recife: CPRM, 2010. p. 227.

MELO, L. L.; PEREIRA NETO, M. C. Aspectos e impactos ambientais relacionados à indústria da cerâmica vermelha em Itajá/RN. **Sociedade e Território** – Natal, v. 1, pág. 234–252, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21680/2177->

MENDES, M. C. D.; COSTA, F. A. da; SILVA, C. M. S. e. **Mapeamento das áreas propícias à desertificação no Rio Grande do Norte com base em fatores climáticos**. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro Campina Grande – PB, p. 1-6, 2017.

MEYER, M.F. PONTES, J.C. FIGUEIREDO, V.A.C. JUNIOR, E.O.V. 2011. **Indústria ceramista**: impactos ambientais no Rio Grande do Norte, Recife: 2011, Disponível em: [https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area\\_associado/55/PDF/13-010.pdf](https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/55/PDF/13-010.pdf). Acesso em: 19 de ago. 2024.

MORAES, R. A. Análise das mudanças do uso e da cobertura da terra em municípios com áreas de mineração na microrregião de Itabira, a partir de dados do MAPBIOMAS entre 1987 e 2017. **Revista Engenharia de Interesse Social**, João Monlevade, v. 5, n. 6, p. 77–96, 2020. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/reis/article/view/4852>. Acesso em: 3 dez. 2024.

MORAIS, J. B.; WANDERLEY, H. S.; DELGADO, R. C. Áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil e projeção para cenários de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, pág. 4003-4014, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4003-4014>.

MUTTI, P. R. *et al.* Modelos estocásticos de séries temporais NDVI para a previsão da dinâmica da vegetação em pontos críticos de desertificação. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 7, p. 2759–2788, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1697008>.

MZPAS – MACROZONEAMENTO BACIA PIRANHAS-AÇU SUSTENTÁVEL. Secretaria de Estado do Planejamento e das Finanças, Rio Grande do Norte. **Projeto Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu/RN**. 2018.

NASCIMENTO, A. K. S.; NOGUEIRA, N. A. S. **Identificação dos impactos socioambientais gerados pela indústria cerâmica em pequeno município do Rio Grande do Norte**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural do Semiárido, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/665a0c89-82bf-4510-811a-dbb4dc95f02b/content>.

OLIVEIRA JÚNIOR, I.; PEREIRA, A. J. Evolução do uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental em núcleos de desertificação do bioma Caatinga. **Caderno de**

**Geografia**, v. 74, pág. 910, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2023v33n74p910>.

OLIVEIRA, G. P. de. **Evolução morfoestrutural e morfotectônica pós-rifte de divisores de drenagem em ambientes de margem passiva: o caso do Nordeste Oriental Brasileiro**. 2019. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada**. 4. ed. Piracicaba: FEALQ, 2011. 592 p.

OLIVEIRA, R. R.; NASCIMENTO, M. A. L. Mapa Geológico Simplificado do Estado do Rio Grande do Norte: representação cartográfica de elementos geológicos para divulgação das Geociências. **Terræ Didática**, 15, 1-13, 2019.

OLIVEIRA, V. P. V. A problemática da degradação dos recursos naturais no domínio dos Sertões Secos do Estado do Ceará - Brasil. In: SILVA, J. B; DANTAS, E. W. C. e Meireles, A. J. A. (org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde/África. **Revista Mercator (UFC)**, v. 10, p. 147-168, mai./ago. 2011.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 - Objetivo 15**. [201-]. n.p. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods15/>. Acesso em: 15 ago. 2022.

PEIXÔTO, M. C. de S. **Estrutura da paisagem e susceptibilidade à desertificação a partir de indicadores biofísicos no município de Assú/RN**. 2020. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2020.

PEIXÔTO, M. C. de S.; PEREIRA NETO, M. C.; GUEDES, J. de A. Sistemas ambientais e susceptibilidade à desertificação a partir de indicadores biofísicos no município de Assú/RN. *Ateliê Geográfico*, Goiânia, v. 15, n. 3, p. 108–129, 2021. **Caderno de Geografia** (2022) v.34, n.68 ISSN 2318-2962 DOI 10.5752/p.2318-2962.2024v34n78p714 730.

PEIXÔTO, M. C. S.; ARAÚJO, J. P. R.; PEREIRA NETO, M. C. Sistemas ambientais, vulnerabilidade e uso e ocupação no município de Assú/RN. **Geografia** (Londrina), v. 32, n. 1, p. 31-48, 2023.

PEREIRA NETO, M. C. Fitogeografia da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (Brasil). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 44, p. 2-15, 2024.

PEREIRA NETO, M. C. **Predisposição à Desertificação no Núcleo Seridó (RN - Brasil): Geocologia de Paisagens Semiáridas**. 2016. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PEREIRA NETO, M. C. Solos e paisagens no núcleo de desertificação do Seridó potiguar – Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 96, p. 305–317, 2023.

PEREIRA NETO, M. C.; FERNANDES, E. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 399-411, 2015.

PEREIRA NETO, M. C.; FERNANDES, E. Instabilidade emergente e aspectos de degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – BRASIL). **Revista de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 84-94, 2016.

PEREIRA, R.C.M.; SILVA, E.V. Solos e Vegetação do Ceará: características gerais. *In*: SILVA, J.B; DANTAS, E.W.C. e MEIRELES, A.J.A. (org.). **Litoral e Sertão: Natureza e Sociedade no Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2007.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **O que é o IDHM**. 2024. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/pnud-no-brasil>. Acesso em: 18 ago. 2024.

PORTAL G1. **Primeira hidrelétrica do RN é ativada na barragem Armando Ribeiro Gonçalves**. 2020. Disponível em: Primeira hidrelétrica do RN é ativada na barragem Armando Ribeiro Gonçalves. Acesso em: 19 ago. 2024.

PREFEITURA DE ITAJÁ. **Prefeito de Itajá participa de inauguração da Central Geradora Hidrelétrica na barragem Armando Ribeiro Gonçalves/RN**. 2020. Disponível em: <https://itaja.rn.gov.br/prefeito-de-itaja-participa-de-inauguracao-da-central-geradora-hidreletrica-na-barragem-armando-ribeiro-goncalves-rn>. Acesso em: 19 ago. 2024.

REINING, P. **Handbook of Desertification Indicators**. AAAS: Nairobi, Kenya, 1978.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa: Neput, 2002. 338 p.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Recursos Hídricos – SERHID. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca do Rio Grande do Norte – PAE/RN**. Natal/RN, 2010.

ROCHA, J. C. A. D. da; NASCIMENTO, M. A. L. do. O Pico do Cabugi como produto ecoturístico e geoturístico no Rio Grande do Norte. **Global Tourism**, Goiana, v. 3, n. 2, p. 1-22, maio 2007.

ROCHA, R. **Minidicionário**. São Paulo: Scipione, 1996.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. Fortaleza: **Mercator** - Revista de Geografia da UFC. p. 95-112, 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e Gestão Ambiental: Subsídios da Geoecologia das Paisagens e da teoria Geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013. 370 p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 9ª. ed. São Paulo: Contexto, 2014.

ROSS, J. L. S. Os fundamentos da Geografia na natureza. *In:* ROSS, J.L. S. **Geografia do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2003. Cap. 1. p. 13-66.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-71, 1994. FFLCH/USP.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt: **National Aerospace Spatial Administration**, 1973. 371p. MD: NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19730017588>. Acesso em 02 ago. 2022.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de Desertificação no Nordeste Brasileiro. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 14, p.9-19, 2003.

SAMPAIO E. V. S. B.; ARAÚJO M. S. B.; SAMPAIO Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 2, 59-76, 2005.

SANTANA, M.O. (Org.). (2007). **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA.

SANTIAGO, C. M. C.; SILVA, E. V. da; SOARES, L. S. Capacidade de suporte dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau (BHSN)- Piauí. **Geografia**, Rio Claro, v. 48, n. 1, p. 1-24, 24 maio 2023. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geografia.v48i1.16807>.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. 6 ed. São Paulo: Edusp, 2008. 136 p.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo**: globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: Hucitec, 1994.

SANTOS, R. S. **Domínio semiárido da caatinga**: uma proposta tipológica e regional através da cartografia de paisagem. 2024. 259 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

SANTOS, R. S.; CAVALCANTI, L. C. de S.; CORRÊA, A. C. de B. Estado da arte da cartografia de paisagens para o Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1, p. 3-31, jun. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Riclaudio-Santos-2/publication/363896352\\_estado\\_da\\_arte\\_da\\_cartografia\\_de\\_paisagens\\_para\\_o\\_semiarido\\_brasileiro/links/6334433eff870c55cee3580b/Estado-da-arte-da-cartografia-de-paisagens-para-o-semiarido-brasileiro.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Riclaudio-Santos-2/publication/363896352_estado_da_arte_da_cartografia_de_paisagens_para_o_semiarido_brasileiro/links/6334433eff870c55cee3580b/Estado-da-arte-da-cartografia-de-paisagens-para-o-semiarido-brasileiro.pdf). Acesso em: 07 mar. 2025.

SANTOS, SA; SANTOS, AM Panorama da suscetibilidade à erosão dos solos em municípios do semiárido de Pernambuco. **Revista Equador**, v. 10, pág. 1–25, 2021. Disponível em: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>.

SARAIVA FILHO, D. E.; BONILLA, O. H. Salinização secundária no semiárido e seus impactos no solo, na agricultura e cultivo das plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista - SP, v. 11, n. 8, p. 1-50, 27 jun. 2022. Secretaria de Estado do Planejamento e das Finanças, Jardim Paulistano, SP. 2018.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Norte**. Brasília: MMA, 2018. 64 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/publicacoes>.

SILVA NETO, J. O.; SOUSA, L. F.; SIQUEIRA, L. E. L.; OLIVEIRA, V. P. V. de. Análise da evolução do uso e cobertura do solo do município de Tauá-CE nos anos de 1991 a 2021, a partir de dados do MAPBIOMAS. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 2, n. 46, p. 132–151, 2024. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/10487>. Acesso em: 26 jul. 2024.

SILVA, A. T. L.; NASCIMENTO, P. S. R. Caracterização da vulnerabilidade à desertificação por geotecnologias no sul do estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, pág. 1-12, 2024. DOI: 10.14808/sci.plena.2024.089910.

SILVA, É. G. B. da. **Degradação das terras secas nos sertões de Santa Quitéria e Independência – Ceará**: contribuições ao monitoramento ambiental. 2018. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, H. S.; GURGEL, M. T. **Impactos ambientais causados pela indústria cerâmica na cidade de Ipanguaçu-RN**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural do Semiárido, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bc54cd72-e6a8-4ff9-abf5-1b9bb2bb0b86/content>

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**. Instituto de Geografia. USP, São Paulo: Ed. Lunar, 1977. 51 p.

SOUSA, M. L. M. **Susceptibilidade à degradação/desertificação na sub-bacia hidrográfica do riacho Feiticeiro (Ceará/Brasil) e na microbacia da Ribeira Grande (Santiago/Cabo Verde)**. 2016. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SOUZA, B. I. Desertificação e dinâmica da cobertura vegetal: conhecimentos acumulados e desafios vigentes. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 42, p. 1-23, 2023.

SOUZA, J. B. *et al.* Indústria da cerâmica vermelha do Vale do Açu: características e tecnologias de produção. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB, v. 2, pág. 1-8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.30969/ff6jfx67>.

SOUZA, M. J. N. Bases Geoambientais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. *In*: LIMA, L. C. (Org.) **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 408 p.

TABACOW J.W.; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à análise da fragmentação da paisagem na Ilha de Santa Catarina. *In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R.T. (Orgs.). Geoprocessamento e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p.35-70.

TAVARES, D. K. C.; PEIXÔTO, M. C. S.; PEREIRA NETO, M. C. Degradação e impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha da cidade de Itajá/RN. *In: Giovanni Seabra. (Org.). Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade*. Ituiutaba: Barlavento, 2019, v. 01, p. 877-887.

TEIXEIRA, C. M. B. **Comportamento e integração de indicadores espectrais da desertificação**. 2018. 152f. Dissertação. Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

THORNTHWAITE, C. W. **Atlas of climatic types in the United States, 1900-1939**. 1941. Disponível em: [https://archive.org/details/atlasofclimaticct421thor\\_0/page/n6](https://archive.org/details/atlasofclimaticct421thor_0/page/n6). Acesso em: 13 mar. 2022.

TRIBUNA DO NORTE. **Usina hidrelétrica inicia fase de testes no interior do RN**. 2020. Disponível em: <https://tribunadonorte.com.br/natal/usina-hidreletrica-inicia-fase-de-testes-no-interior-do-rn/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. SUPREN/IBGE, Rio de Janeiro, 1977.

TROLEI, A. L.; SILVA, B. L. da. Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água. **Confins**, v. 34, n. 5, p. 1-20, ago. 2018.

UNCCD – UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. **What is Desertification?** 2022. Disponível em: <https://www.unccd.int/>. Acesso em: 27 mai. 2022.

UNESCO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Rio 92 - ECO 92**. [201-]. Disponível em: [http://www.peaunesco-com.br/ano\\_inter/ano\\_deserto/rio92.htm](http://www.peaunesco-com.br/ano_inter/ano_deserto/rio92.htm). Acesso em: 08 jun. 2022.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Desertificação no Nordeste Brasileiro**. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1971.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção**. Recife: Sudene, 1982. p. 25-26.

VERDUM, R. *et al.* Desertificação: questionando as bases conceituais, escalas de análise e consequências. **Revista Geographia**. v. 3, n. 6, p. 1-9, 2001.

[www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/330998/1/Dourado\\_CamilaDaSilva\\_D.pdf](http://www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/330998/1/Dourado_CamilaDaSilva_D.pdf).  
Acesso em: 16 ago. 2022.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. São Paulo: Ed. UNESP, 2010.