



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ELEN KARINE FORTE PESSOA

INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI,
MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

FORTALEZA

2023

ELEN KARINE FORTE PESSOA

INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI,
MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará como requisitos parciais à obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de pesquisa: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P567i Pessoa, Elen Karine Forte.

Indicadores geobiofísicos de suscetibilidade à desertificação aplicados aos sistemas ambientais na sub-bacia do Riacho Juriti, Município de Canindé-CE / Elen Karine Forte Pessoa. – 2023.
117 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

1. Teoria Ecodinâmica. 2. Desertificação. 3. Ambiente Semiárido. I. Título.

CDD 910

ELEN KARINE FORTE PESSOA

INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI,
MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará como requisitos parciais à obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de pesquisa: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Aprovada em __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a. Érika Gomes Brito da Silva
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A todos e todas as pesquisadoras que tiverem
que desenvolver uma pesquisa durante a
pandemia de COVID-19.

AGRADECIMENTOS

A minha avó, Áurea, pelo amor, carinho e por todas as rezas já realizadas. Sem seu suporte muitos dos meus sonhos até aqui conquistados não teriam se concretizados.

A minha tia, Vânia, pelo incentivo, educação e amor que foram cruciais para essa jornada.

A minha mãe, Cláudia, com seu amor incondicional expressado em poucas palavras, mas em grandes atos.

Ao meu pai, Flávio.

As minhas irmãs, Khaerlen e Ana Clara, que são muito companheiras e amigas.

Ao meu irmão, Arthur, caçula, pelo qual tenho tamanho apreço e amor.

Ao meu tio, Francisco, por ter cuidado de mim com tanto carinho.

Aos meus primos Lucivância, Ícaro e Igor, pela companhia nessa vida terrena.

A todos os professores e professoras que muito me ensinaram e me deram oportunidade de aprender.

Aos servidores e funcionários do Departamento de Geografia pela amizade e gentilezas.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada, que são muitos e cada um me nutriu com um pouco de sua energia por meio de sorrisos, choros, abraços, conversas, discussões.

Ao querido amigo, Diego Teixeira.

À Ana Carla, pela compreensão durante o período de escrita da dissertação.

A minha amiga, Janylle Monteiro, por ter compartilhado sensações e momentos comigo durante parte desse processo.

A minha companheira, Ligia. Seu amor, esperança, força e persistência foram imprescindíveis para que eu concluísse esta pesquisa.

À Professora Vlândia Pinto Vidal de Oliveira, ao Professor Flávio Rodrigues do Nascimento, e a Professora Érika Gomes Brita da Silva.

A Luiz Inácio Lula da Silva, de algum modo, sem as políticas efetivadas durante seu governo, provavelmente, não estaria escrevendo este trabalho.

À FUNCAP pelo financiamento.

RESUMO

A preservação ou degradação da natureza está relacionada à forma como a energia e a matéria é distribuída e concentrada nos ecossistemas. Assim, a vulnerabilidade desses sistemas aos processos de desertificação depende em grande parte da dinâmica natural do ambiente, que é regida pelos fluxos de matéria e energia. A partir do contexto do semiárido cearense, pode-se assumir que certos componentes desempenham papéis cruciais na dinâmica da matéria e da energia. De acordo com os pressupostos da Teoria Ecodinâmica, a cobertura vegetal, por ser capaz de interceptar e amortecer as forças energéticas, juntamente, com o uso e cobertura do solo são componentes fundamentais nesse processo. Eles podem ativar ou minimizar os processos degradacionais. Diante disso, a pesquisa se propôs a avaliar a suscetibilidade dos sistemas ambientais à desertificação na sub-bacia do riacho Juriti – Canindé/CE, à luz dos pressupostos da Teoria Ecodinâmica, a fim de compreender a contribuição desta teoria para a seleção de Indicadores Geobiofísico de Desertificação (IGBD). O procedimento operacional empregado na metodologia foi o mapeamento temático, em que ocorreu a inferência das informações para delimitação dos sistemas ambientais, aplicação dos IGBD e produção do mapa dos níveis de suscetibilidade à desertificação da sub-bacia e do mapa de suscetibilidade emergente e potencial dos sistemas. Os resultados revelaram que a adaptação do IGBD à Teoria Ecodinâmica, ao aplicar indicadores relacionados à vegetação, mostram uma sub-bacia com níveis de suscetibilidade à desertificação de moderado a alto, onde os sistemas serranos com maior densidade vegetacional apresentam uma suscetibilidade potencial, portanto, se retirada a vegetação o nível de suscetibilidade poderá aumentar, enquanto que os sistemas dos sertões apresentaram suscetibilidade emergente, sendo necessária medidas de atenuação que passam pela integração da vegetação nativa aos sistemas agrícolas. Pode-se concluir que integrar indicadores de vegetação aos IGBD contribuem para a análise da desertificação nos diferentes sistemas ambientais, ajudando a definir os níveis de suscetibilidade e a sua classificação em Potencial e Emergente.

Palavra-chave: teoria ecodinâmica; desertificação; ambiente semiárido.

ABSTRACT

The preservation or degradation of nature is related to the way energy and matter is distributed and concentrated in ecosystems. Thus, the vulnerability of these systems to desertification processes depends largely on the natural dynamics of the environment, which is governed by the flows of matter and energy. From the context of the semi-arid Ceará, it can be assumed that certain components play crucial roles in the dynamics of matter and energy. According to the assumptions of the Ecodynamic Theory, the vegetation cover, by being able to intercept and dampen the energy forces, together with the use and coverage of the soil are fundamental components in this process. They can activate or minimize degradational processes. Therefore, the research proposed to evaluate the susceptibility of the environmental systems to desertification in the Juriti Creek sub-basin - Canindé/CE, in the light of the assumptions of the Ecodynamic Theory, in order to understand the contribution of this theory to the selection of Geo-Biophysical Indicators of Desertification (GBDI). The operational procedure employed in the methodology was the thematic mapping, in which occurred the inference of information for delimitation of environmental systems, application of the IGBD and production of the map of the levels of susceptibility to desertification of the sub-basin and the map of emerging and potential susceptibility of the systems. The results revealed that the adaptation of the IGBD to the Ecodynamic Theory, when applying indicators related to vegetation, show a sub-basin with susceptibility levels to desertification from moderate to high, where the highland systems with greater vegetation density present a potential susceptibility, therefore, if the vegetation is removed the susceptibility level may increase, while the highland systems presented an emerging susceptibility, requiring mitigation measures that include the integration of native vegetation to agricultural systems. It can be concluded that integrating vegetation indicators to the IGBD contributes to the analysis of desertification in different environmental systems, helping to define the levels of susceptibility and its classification into Potential and Emergent.

Key-words: ecodynamic theory; desertification; semi-arid environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Esquema de modelo de organização de sistemas em diferentes relações....	20
Tabela 1	– Classificação climática de acordo com o Índice de Aridez.....	31
Figura 2	– Fluxograma elaborado por Tricart para explicar o fluxo de energia no sistema.....	26
Figura 3	– Delimitação das ASDs, do Semiárido e do Polígono das Secas.....	33
Figura 4	– Procedimento de classificação orientada a objetos.....	45
Figura 5	– Fluxograma metodológico.....	49
Figura 6	– Afloramento rochoso na Unidade Canindé.....	52
Figura 7	– Diatexito com <i>schlieren</i> , cujo leucossoma apresenta vários tipos de sítio dilatacionais devido as dobras.....	52
Figura 8	– Ortognaisse com leucossoma bem desenvolvido.....	53
Figura 9	– Paragnaisse migmatizados.....	53
Figura 10	– Unidade Geomorfológica da Planície Fluvial: Planície do riacho Juriti....	56
Figura 11	– Unidade Geomorfológica Superfície Sertaneja Aplainada.....	57
Figura 12	– Unidade Geomorfológica Superfície Sertaneja Dissecada.....	57
Figura 13	– Unidade Geomorfológica Pequeno Maciço Cristalina.....	58
Figura 14	– Unidade Geomorfológica Boqueirão, Inseilbergues e Crista Cristalina.....	59
Figura 15	– Distribuição de chuvas ao longo dos meses em uma série de 20 anos registrada nos postos pluviométricos de Aratuba e Caridade.....	62
Figura 16	– Distribuição interanual da precipitação para os anos de 2002 a 2022.....	62
Figura 17	– Neossolo Litólico Eutrófico.....	65
Figura 18	– Luvisolos Crômicos Órticos.....	66
Figura 19	– Planossolo Háptico Eutrófico.....	67
Figura 20	– Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico.....	68
Figura 21	– Área de Uso Antrópico.....	71
Figura 22	– Sistema ambiental do Sertão do Salão.....	74
Figura 23	– Sistema Sertão do Carnaubal.....	75
Figura 24	– Sistema Serra da Gameleira.....	76
Figura 25	– Sistema Crista da Lagoa Verde.....	77
Figura 26	– Sistema Crista da Lagoa Verde.....	78
Figura 27	– Indicadores de pobreza conforme temas de análise.....	81
Figura 28	– Histograma do valor das células de pixel do mapa de suscetibilidade.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Mapas gerados e as metodologias seguidas.....	46
Quadro 2 – Alguns indicadores de desertificação do sistema DIS4ME.....	83
Quadro 3 – Descrição dos Indicadores de Situação e de Desertificação.....	85
Quadro 4 – Resumo dos Indicadores Geobiofísicos de Desertificação.....	89
Quadro 5 – Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação.....	93

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área de estudo.....	16
Mapa 2 – Geologia.....	54
Mapa 3 – Geomorfologia.....	60
Mapa 4 – Clima.....	64
Mapa 5 – Solos.....	69
Mapa 6 – Uso e Cobertura do Solo.....	72
Mapa 7 – Sistemas Ambientais.....	79
Mapa 8 – SAVI, Cobertura Vegetal e Declividade.....	99
Mapa 9 – Mapa de comparação de suscetibilidade à desertificação, utilizando média ponderada.....	102
Mapa 10 – Nível de Suscetibilidade à Desertificação na Sub-bacia do Riacho Juriti.....	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	METODOLOGIA.....	17
2.1	Fundamentação Teórica-Metodológica.....	18
2.1.1	<i>Abordagem sistêmica: sistema ambiental e o estudo da paisagem.....</i>	18
2.1.2	<i>Aplicação da Teoria Ecodinâmica no estudo dos Sistemas Ambientais.....</i>	23
2.1.3	<i>Desertificação como expressão espacial da instabilidade do meio.....</i>	30
2.1.4	<i>Bacia Hidrográfica: unidade espacial de estudo.....</i>	36
2.2	Procedimentos Operacionais.....	38
2.2.1	<i>SAVI.....</i>	39
2.2.2	<i>Proporção da Vegetação.....</i>	41
2.2.3	<i>OBIA.....</i>	43
2.2.4	<i>Mapas Temáticos.....</i>	46
3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI.....	50
3.1	Geologia e Geomorfologia.....	51
3.2	Clima.....	61
3.3	Solo e Uso e Cobertura.....	65
4	SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO JURITI.....	73
4.1	Sertão do Salão.....	74
4.2	Sertão do Carnaubal.....	75
4.3	Serra da Gameleira.....	75
4.4	Cristas da Lagoa Verde.....	76
4.5	Sertão do Logradouro.....	77
4.6	Serra da Cacimba Nova.....	78
5	INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI-CE.....	80
5.1	Indicadores Geobiofísicos de Desertificação.....	80
5.2	Níveis de Suscetibilidade à Desertificação.....	95
6	CONCLUSÃO.....	106
	REFERÊNCIAS.....	108
	ANEXOS A – VALORES DE SUSCETIBILIDADE DOS SISTEMAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

A conservação e degradação da natureza é uma questão de dispersão e concentração de energia. Desta forma, a suscetibilidade dos sistemas ambientais aos processos de degradação e desertificação, dependem em parte, da dinâmica natural do ambiente que é ditada pelos fluxos de matéria e energia que ativam a estrutura composta por subsistemas e componentes em constante inter-relação. Embora os sistemas ambientais sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura devem ser levados em consideração em estudos e análises.

Portanto, para compreender a suscetibilidade dos ambientes à desertificação é necessário entender sua estrutura, dinâmica e resposta às interferências externas. Para tanto, à luz da Teoria Ecodinâmica, parte-se do pressuposto que há componentes que exercem papéis cruciais no percurso da matéria e energia. Partindo da realidade do semiárido cearense, a cobertura vegetal, naturalmente interceptadora e amortecedora das forças energéticas, e o uso e cobertura do solo são esses componentes fundamentais pelas suas capacidades de ativação ou minimização dos processos degradacionais como a desertificação.

Há um consenso entre os pesquisadores e agentes políticos que a desertificação é uma manifestação resultante de um processo acentuado de degradação da terra, isto é, ela expressa um nível máximo de degradação ambiental (ONU, 1994; ABRAHAM; BEEKMAN, 2006; CEARÁ, 2010; OLIVEIRA, 2011; NASCIMENTO, 2013; FUNCEME, 2015; CGEE, 2016). Esse fenômeno ocorre em terras secas ao redor do mundo em razão das condições climáticas e interferências humanas num determinado ambiente inserido nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas (ONU, 1994). No relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) lançado em 2022, a definição de desertificação é também expressa como a redução a longo prazo ou perda de pelo menos um dos seguintes elementos: produtividade biológica, integridade ecológica ou valor para humanos (MIRZABAEV *et al.*, 2022).

A partir do que se entende por desertificação, é correto afirmar que existe uma condição para que ela ocorra: a relação sociedade ↔ natureza. Em todas as definições desse conceito, os autores e autoras colocam o imbricamento entre ações humanas e condições climáticas como imprescindíveis a sua manifestação.

Dentre os indicadores socioambientais utilizados para identificar ou estudar a desertificação, o parâmetro climático é fundamental para a classificação das terras afetadas. Em 1977, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) considerou suscetíveis

ao problema, tomando por base a classificação zonal e de classes climáticas definidas pelo índice de aridez (IA), as áreas de climas árido, semiárido e subúmido seco. Em 1994, a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), adotou o índice de aridez (IA) desenvolvido por Thornthwaite como oficial para delimitar as áreas suscetíveis a esse fenômeno. Isso pressupõe que a desertificação é ativada pela degradação dos geossistemas levando-o ao ressecamento ambiental.

No Brasil, não há áreas hiperáridas ou áridas. Em compensação, o Semiárido é uma ampla região com 958.563,3 km², estendendo-se do Piauí à Bahia e parte do norte do Estado de Minas Gerais. Essa é a porção do território nacional mais sujeita à degradação, secas e desertificação (CGEE, 2016). É inerente às áreas semiáridas a suscetibilidade à desertificação devido a um conjunto de fatores que ditam a dinâmica instável de suas paisagens. São eles: ocorrência de chuvas mal distribuídas no espaço e no tempo, cobertura vegetal pouco densa ou degradada, solos pouco desenvolvidos, bem como o uso intensivo da terra por meio de práticas inadequadas.

Embora o Semiárido do Nordeste brasileiro seja mais propício à desertificação, os espaços subúmidos secos e áreas de entorno também estão suscetíveis a este fenômeno. A aglomeração dessas áreas e sua delimitação foram definidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) como Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD). As ASD são agrupadas em quatro classes: núcleos de desertificação, áreas semiáridas e subúmidas secas, áreas de entorno das áreas semiáridas e subúmidas secas e novas áreas sujeitas a processos de desertificação (BRASIL, 2004).

Com relação ao Ceará, o estado tem aproximadamente 82% do seu território submetido à influência da semiaridez e 100% de sua área está susceptível à desertificação em diferentes níveis de intensidade (CEARÁ, 2010; CGEE, 2016; SILVA; OLIVEIRA, 2017). As consequências do avanço e intensificação da desertificação no Ceará podem ser observadas nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que aponta uma redução de 42% das áreas plantadas para lavouras temporárias e 43% das áreas plantadas para lavouras permanentes no Ceará entre 2006 e 2017 (IBGE, 2020).

Em determinados locais, a degradação ambiental já atingiu condições praticamente irreversíveis exibindo marcas nítidas dos efeitos da desertificação. Essas evidências e a possibilidade de expansão do fenômeno são particularmente notáveis nos núcleos de desertificação do Ceará. São eles: Sertões dos Inhamuns, Sertões de Irauçuba e Centro-Norte, e nos Sertões do Médio Jaguaribe (CEARÁ, 2010). Dentre os municípios que fazem parte desses núcleos destaca-se Canindé.

Buscando contribuir com os estudos de desertificação no estado do Ceará, especificamente na aplicação de indicadores, esta pesquisa avaliou os níveis de suscetibilidade à desertificação dos sistemas ambientais na sub-bacia do riacho Juriti, em Canindé, por meio dos Indicadores Geobiofísicos (MATALLO JÚNIOR, 2001; ABRAHAM; BEEKMAN, 2006; OLIVEIRA, 2011). Localizada no setor leste do município, como está representado no Mapa 1, a bacia incorpora a zona rural e o perímetro urbano em seus limites territoriais, tendo por exultório o rio Canindé. Essa área tem aproximadamente 204 km².

A sub-bacia do riacho Juriti está situada no Sertão de Canindé que é uma região de superfície de aplainamento conservada ou moderadamente dissecada com clima semiárido característico por secas cíclicas e estiagem prolongada. Os solos são rasos e moderadamente profundos; presença de caatinga hiperxerófilas e uso agropecuário de baixo rendimento (LIMA et al., 2000). Optou-se pela escolha desta área por estar no Núcleo I de Desertificação Inhamuns/Centro-Norte e pelas características fisiográficas acima mencionadas que ditam uma morfodinâmica acentuada.

A compreensão do comportamento morfodinâmico dos sistemas ambientais não é apenas uma ferramenta de análise geomorfológica, mas também de planejamento do uso e ocupação do solo, proteção e conservação dos ambientes, gestão e ordenamento/reordenamento territorial. Como já mencionado, a desertificação é a degradação das terras secas resultante da ação conjunta ou complementar no espaço-tempo das condições climáticas e interferências antrópicas. Posto isso, se entende nesta pesquisa que a desertificação é a manifestação do desequilíbrio de um sistema por interferências no balanço energético. Portanto, estudá-la à luz da teoria Ecodinâmica é uma perspectiva que contribui no entendimento da intensificação desse fenômeno em escala local, pois a partir da estrutura do sistema é possível analisar os mecanismos que aí se processam e como as interferências repercutem no todo (TRICART, 1977).

Esse ponto de vista pode ajudar a construir os Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD). Nesta pesquisa, cada indicador, conforme os pressupostos da teoria Ecodinâmica, terá um peso de acordo com sua importância na ativação, intensificação ou suavização dos processos morfogênicos. Dessa forma, busca-se uma melhor representação da suscetibilidade dos sistemas ambientais à desertificação que possa orientar ações que reduzam os seus impactos a partir do conhecimento da dinâmica dos ambientes suscetíveis a este fenômeno.

Assim, os IGBD terão pesos diferentes conforme sua importância na dinâmica natural do sistema, pois busca-se com a pesquisa demonstrar que a cobertura vegetal e o uso e

cobertura do solo influem tanto na suscetibilidade dos sistemas ambientais quanto na intensificação da desertificação na sub-bacia do riacho Juriti, por isso ter um peso maior em relação aos outros indicadores. Atribuir um peso maior à cobertura vegetal, ao uso e cobertura e considerar o clima semiárido de maior contribuição à suscetibilidade do que o árido, dialoga com a Ecodinâmica de Tricart (1977) e é mais uma possibilidade de aplicação do IGBD.

Desse modo surgiram os seguintes questionamentos: Qual a contribuição da teoria Ecodinâmica para a construção dos indicadores Geobiofísicos? A cobertura vegetal é determinante para a suscetibilidade à desertificação nos sistemas ambientais avaliados?

No intuito de respondê-las, objetiva-se avaliar a suscetibilidade dos sistemas ambientais à desertificação na sub-bacia do riacho Juriti – Canindé/CE, à luz dos pressupostos da Teoria Ecodinâmica, a fim de compreender a contribuição desta para a seleção de Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD).

Enquanto os objetivos específicos foram:

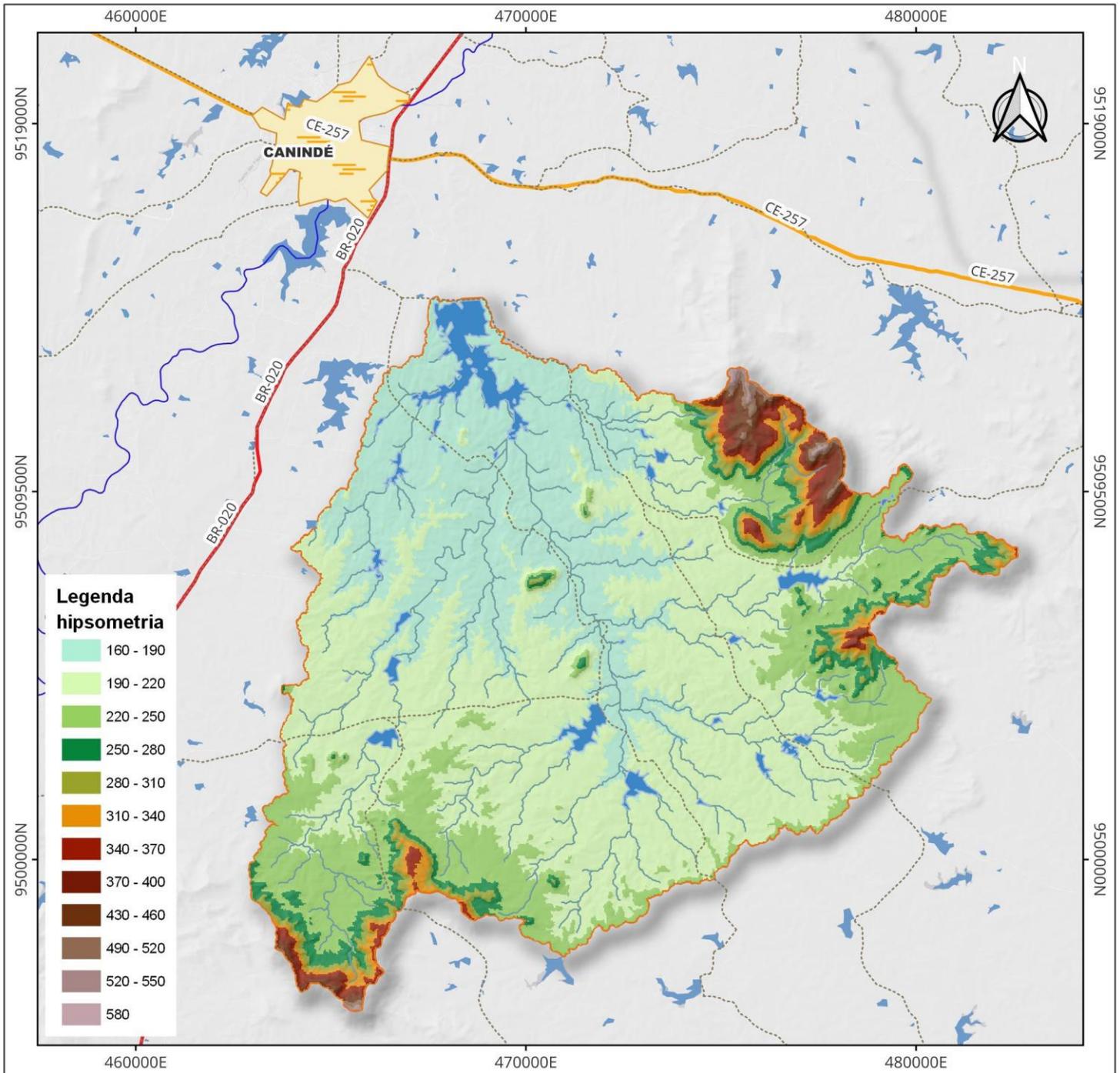
- a) realizar o levantamento dos aspectos físicos para a elaboração de um diagnóstico ambiental;
- b) produzir mapas dos componentes geoambientais e de uso e cobertura do solo para definir os sistemas ambientais da bacia;
- c) selecionar Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação com base nos produtos cartográficos elaborados;
- d) aplicar IGBD e discorrer sobre os níveis de suscetibilidade nos sistemas ambientais definidos.

O estudo traz o aporte introdutório e mais cinco seções para discussão. Na Introdução, capítulo um, foi apresentada a delimitação do objeto, a justificativa, as perguntas orientadoras do trabalho e o seu objetivo. No segundo capítulo, Metodologia, é apresentada a fundamentação teórica que traz uma discussão dos conceitos e categoria que alicerçam os procedimentos operacionais. Nesta seção se discorre sobre a categoria de análise Paisagem, os sistemas ambientais e a Teoria Ecodinâmica, e se discute os desafios conceituais e metodológicos que acompanham os estudos de desertificação e de seus indicadores.

No terceiro capítulo, após o levantamento dos aspectos físicos e ambientais, é feito um diagnóstico da sub-bacia do riacho Juriti com descrição dos componentes observados. Em seção posterior é delimitado, a partir da análise integrada da paisagem, os subsistemas ambientais da sub-bacia que são resultados da síntese do diagnóstico anteriormente realizado.

Com a definição dos sistemas foi possível verificar como atual a morfodinâmica nesses ambientes e o comportamento dos componentes elencados como indicadores geobiofísicos.

No capítulo intitulado Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação na Sub-Bacia do Riacho Juriti-CE, estão a construção dos indicadores, sua aplicação e os níveis de suscetibilidades à desertificação.

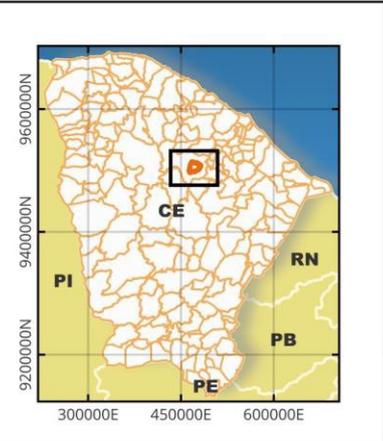
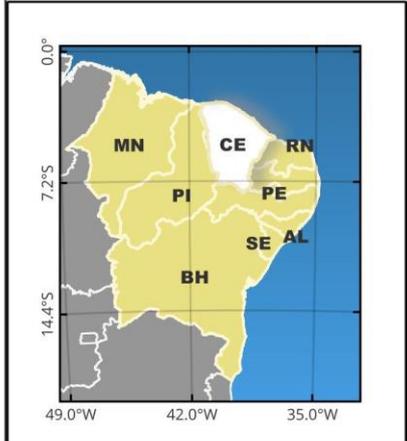


O material cartográfico foi elaborado com os dados Copernicus Digital Surface Model (DSM) do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus (CSCDA), que consiste em uma cobertura global com resolução espacial de 30m. Esses dados são fornecidos pelos satélites Sentinel. Essa instância e outras informações especiais estão disponíveis no Catálogo Online PANDA.

Sistema de Referência de Coordenadas
 Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
 Datum: SIRGAS 2000
 Data: 07/2022
 Fonte: IBGE, IPECE, CSCDA.
 Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

Convenções Cartográficas

	Sede Municipal		BR-020
	Bacia do riacho Juriti		CE-257
	Limites Municipais		Rio e Riachos
	Massa de agua		



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
 CENTRO DE CIÊNCIAS
 DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
 APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE
 CANINDÉ-CE

MAPA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO
 Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Vládia Pinto Vidal de Oliveira

1 : 140.000

2 METODOLOGIA

Parte-se do pressuposto que a realidade não se desvenda na sua superfície, ou seja, nem sempre é o que aparenta à primeira vista. Para isso, desenvolvem-se metodologias que apresentam diferentes caminhos para se chegar a uma explicação científica do real. Demo (1985) define metodologia como algo que se aproxima da preocupação instrumental, pois cuida dos procedimentos, das ferramentas e doutros instrumentos para atingir a finalidade da ciência, que é captar e manipular a realidade como é percebida. Portanto, há sempre o que descobrir e esquemas explicativos a elaborar, o que equivale a dizer que a pesquisa é um processo de aproximação sucessiva, interminável e inesgotável.

Esta pesquisa não pode ser classificada como meramente teórica, mesmo que parta de um clássico – *Ecodinâmica* - que a fundamenta. Mas também é metodológica, pois se estabelece uma construção metodológica:

A falta de reflexão metodológica traduz também, imediatamente, um tipo de mediocridade científica que é a crença em evidências dadas. A ciência começa precisamente aí, quando não se reconhecem evidências dadas. Problematizar as vias do conhecimento é ir em busca de outras, com vistas a um conhecimento mais realista e profundo. (DEMO, 1985, p.25).

Os conceitos teóricos que incorporam o método sistêmico, o método que orienta este trabalho, ganham definição e importância no campo de uma teoria, no caso a Teoria Sistêmica de Bertalanffy. Essa no espectro da ciência dos sistemas é a vertente organicista, isto é, voltada para um mundo dinâmico e fundada no conceito de interação. Para o estudo dos sistemas naturais, a teoria mostra a estrutura que condiciona os fenômenos e onde se pode atuar sobre eles. Porque na natureza as coisas não funcionam puramente como na física clássica, de acordo com a Teoria Geral dos Sistemas, as coisas estão de fato conectadas em uma organização do sistema.

Posto isto, pensar o processo de desertificação sob a ótica da *Ecodinâmica*, que tem raízes na Teoria Geral dos Sistemas, é um caminho possível de leitura desse fenômeno que dialoga com o quadro teórico-metodológico já instituído e utilizado por outros pesquisadores e pesquisadoras. Pesquisas metodológicas de desertificação são comuns por elaborarem indicadores de estudos e de identificação. Neste trabalho, a proposta metodológica passa pela adaptação de indicadores de estudo que aqui são considerados como uma prática de aplicação possível da teoria *Ecodinâmica*.

Dialogando com a citação acima de Demo (1985), a adaptação e aplicação dos Indicadores Geobiofísicos é a tentativa de lançar outras leituras de um mesmo fenômeno com vistas a um conhecimento mais profundo.

2.1 Fundamentação Teórico-Methodológica

2.1.1 Abordagem sistêmica: sistema ambiental e o estudo da paisagem

A sociedade adotou a ciência como base de sua organização, e a tradução tecnológica dos conhecimentos científicos ampliou as possibilidades de a sociedade viver nos mais variados ambientes, dominar o meio ecológico e modificar sua relação com a natureza. Essa tradução tecnológica deslocou a questão da sobrevivência humana como dependente das condições do meio físico para o plano único das relações sociais. Tal percepção está impactando as organizações espaciais, e exigindo mudanças na forma de ler o mundo. Vasconcellos (2018) traz para refletir a urgência de um novo paradigma para dar conta de responder às novas necessidades instaladas em um mundo excessivamente complexo resultante da ciência clássica mecanicista que não é mais capaz de acompanhá-lo.

Compartilhando de uma preocupação parecida, Bertalanffy, intrigado com as lacunas existentes na biologia por ser desenvolvida dentro de um enfoque mecanicista, elabora a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).

Identificando a interação como o problema central em todos os campos da ciência, o conceito fundamental da investigação científica seria o de “sistema” e essa teoria interdisciplinar seria uma “teoria geral para os sistemas”. O objeto proposto para essa teoria foi a formulação de princípios válidos para os sistemas em geral, independentemente das entidades que os constituam. Portanto, aqui não sealaria mais de entidades físicas, químicas, ou outras, passando-se a falar das totalidades que essas entidades constituem, da organização desses sistemas. Assim, a Teoria Geral dos Sistemas se propõe como uma ciência da totalidade. (VASCONCELLOS, 2018, p. 196)

Essa teoria representa uma nova ciência interdisciplinar voltada para um mundo dinâmico e fundada no conceito de interação, podendo ser aplicada em várias áreas, inclusive na Geografia. Seus pressupostos teóricos foram introduzidos na Geomorfologia, em 1962, por Chorley, e desde então essa abordagem é desenvolvida em estudos da Geografia Física. Penteadó (1985) afirma que cada setor do espaço deve ser analisado como uma unidade sistêmica, dependente de outros organismos, articulados uns com os outros em relação de cascata.

Para essa autora, a melhor metodologia de abordagem das questões ambientais é a análise sistêmica, pois o meio ambiente é resultado da inter-relação e funcionamento entre elementos sociais e naturais. Percebe-se que a definição de meio ambiente formulada por Penteadó traz: elementos componentes, relações existentes, e unidades resultantes.

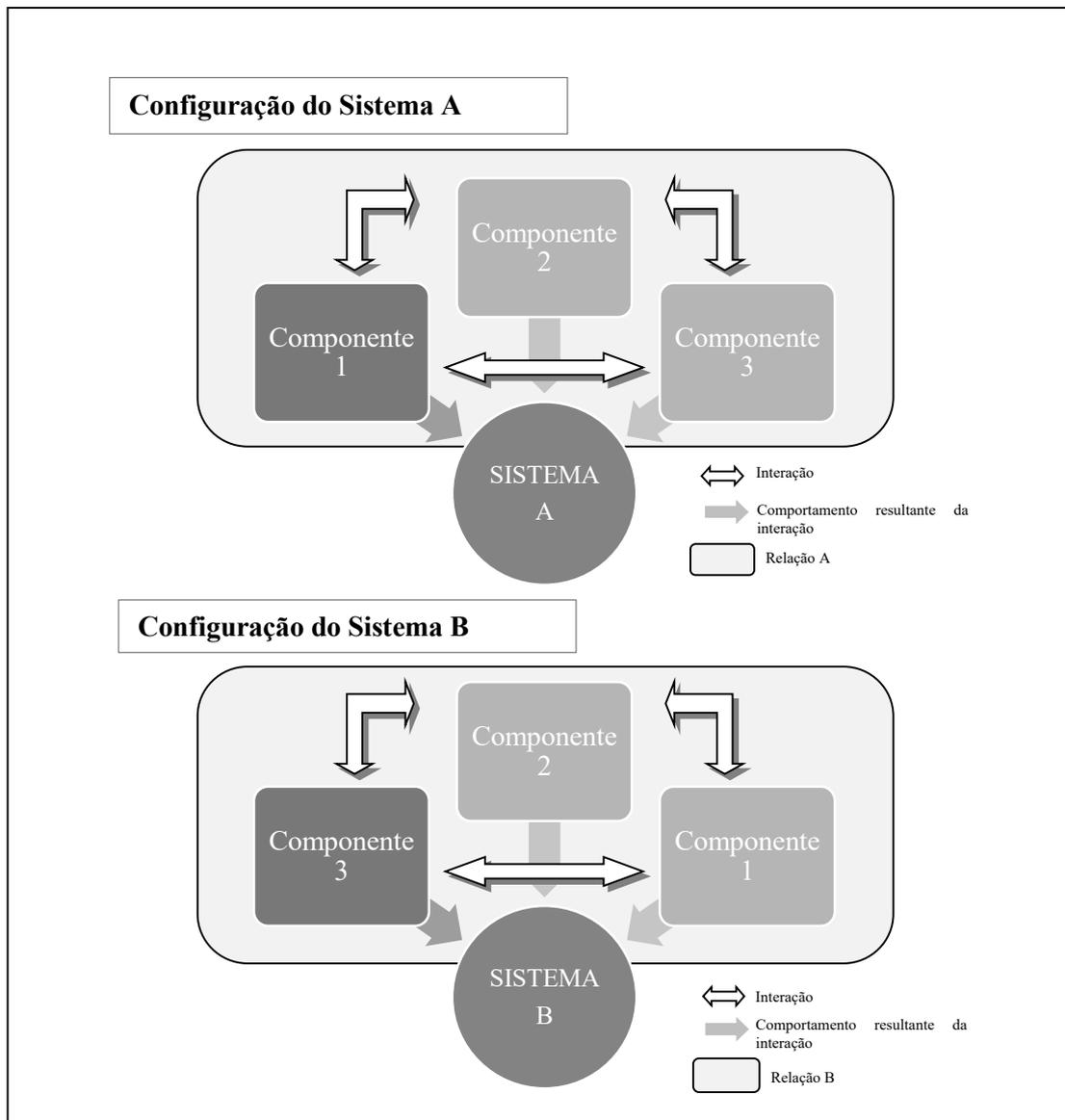
Tais aspectos são os que caracterizam um sistema. Como exposto acima, Bertalanffy identificou a interação como um problema central entre as ciências, logo, o conceito de sistema seria fundamental para a investigação científica. A interação ou relação entre os componentes de um sistema é o que o constitui como entidade, “distinguindo-o de um simples aglomerado de partes independente.” (VASCONCELLOS, p. 199, 2018). Vale citar que relação difere de conexão, pois dentro de uma relação, os elementos assumem comportamentos que conferem uma identidade ao sistema, isto é, cada elemento desempenha um comportamento típico da relação, não mantendo as características dentro ou fora do conjunto.

Portanto, as características mantidas dentro do conjunto é o que constitui a característica do sistema, que não é um somatório das características dos elementos, mas a totalidade de partes com suas inter-relações. Dessa forma, cada parte estará mutuamente relacionada as demais que uma alteração em uma delas desencadeará mudanças nas outras. Por isso, a interação é o que dá coesão ao sistema, conferindo-lhe um caráter de totalidade dado por partes interdependentes.

A Figura 1 é um modelo que representa como as relações configuram a unidade e a totalidade do sistema através da não-somatividade das características dos componentes, mas da criação de propriedades próprias do sistema em cada relação.

Christofoletti (1999) menciona a organização e a funcionalidade do sistema como normas básicas para caracterizá-lo, e afirma que a relação é o elo de significância do sistema. Pode-se falar então que em cada relação a interação que interliga os componentes estruturados, tendo em vista a passagem e transformação dos inputs recebidos, é o que conforma a natureza da unidade no seu nível hierárquico e na estrutura hierárquica submetida.

Figura 1 – Esquema de modelo de organização e funcionalidade de sistemas em diferentes relações.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Com relação aos sistemas naturais, esses possuem propriedades irreduzíveis (LASZLO, 1972). Uma delas é a concepção de totalidade: as propriedades dos sistemas naturais não podem ser reduzidas às propriedades das suas partes, pois ele é um todo integrado. Essa ideia de sistema como totalidade vem da abordagem holística. Para Christofletti (1999), o holismo é a concepção de totalidade do sistema abrangente, de complexidade que o caracteriza, e de estruturação hierárquica. Dessa forma, é possível compreender como as entidades ambientais físicas, que se expressam em organizações espaciais, se estruturam e funcionam como unidades complexas em seu nível hierárquico e, simultaneamente, focar os subconjuntos ou as partes componentes dessas unidades, a fim de conhecer os aspectos e as interações entre

elas. Além disso, na totalidade de cada sistema, as partes componentes podem ser individualizadas e compreendidas em sua totalidade.

O todo é maior que a somatória das propriedades e relações de suas partes, pois há o surgimento de propriedades que não emergem do conhecimento de suas partes constituintes. Dessa maneira, leva a considerar as condições de emergência das novas qualidades, que geralmente devem estar relacionadas com o arranjo dos elementos, com a estrutura do sistema. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.4)

Dentro dessa perspectiva, a análise do fenômeno deve ser realizada em seu próprio nível hierárquico, buscando compreender o conjunto. Neste trabalho o conjunto a ser compreendido é o sistema ambiental. Os sistemas ambientais, cujas características relevantes são a interação entre os componentes e a constituição de unidades espaciais visualizáveis passíveis de delimitação, representam entidades físicas e biológicas organizadas na superfície terrestre. A organização das entidades físicas se dá pela estruturação e funcionamento das partes, bem como pela sua dinâmica evolutiva. A partir do ponto de vista geográfico, o Geossistema é a unidade representativa do sistema ambiental, uma vez que o Geossistema focaliza os elementos no contexto espacial na tentativa de se compreender a complexidade do sistema.

A discussão aqui passa a tomar outro caminho, pois até agora foi exposto o porquê da abordagem sistêmica para o estudo dos sistemas ambientais. Discute-se agora a utilização desse sistema como unidade de delimitação da paisagem. Como já mencionado, as entidades físicas ou Geossistemas detêm espacialidade. Essa característica aliada à visão sistêmica permite desenvolver esta pesquisa. Afirmação essa comprovada por Silva (2018) que afirmou haver compatibilidade metodológica na aplicação de Indicadores Geobiofísicos em sistemas ambientais, estes como unidades espaciais na superfície. A disposição para delimitação dos sistemas ambientais é algo inerente devido às suas composições fisionômicas discerníveis, por isso serão utilizados como unidades de delimitação paisagística.

Com relação a paisagem, este é um termo utilizado entre várias áreas do conhecimento. Seu valor científico nasce na ciência geográfica e é nesta que se desenvolve um arcabouço teórico e metodológico para sua explicação através da classificação e delimitação. De acordo com Cavalcanti (2010), a Humboldt é atribuído o pioneirismo nos estudos de paisagem como conceito científico. Por meio de pesquisas que comprovaram que condições físicas variadas alteravam a distribuição da vida, Humboldt afirmou que paisagens semelhantes poderiam estar distribuídas em locais diferentes, desde que os fatores de formação fossem iguais.

Para Gonçalves Barbosa e Gonçalves (2015), mesmo que a construção inicial do conceito de paisagem fosse fortemente marcada pelo naturalismo, relacionado, portanto à perspectiva fisionômica dos quadros da natureza, foi a partir da abordagem naturalista de Humboldt que a paisagem começou a ser entendida pela Geografia como uma forma de analisar as relações presentes entre homem e natureza no espaço geográfico.

Foi na escola russa, na segunda metade do século XIX que a noção de paisagem ganha caráter dinâmico e a preocupação dos pesquisadores volta à fisiologia, o que possibilitou enxergar novos elementos componentes da paisagem que não eram levados em conta na análise do visível. Dessa forma, os soviéticos lançam as bases para o enfoque sistêmico dentro da Geografia ao compreenderem a paisagem como um complexo territorial homogêneo e descontínuo, representando a síntese das relações entre os processos naturais e humanos (NAKASHIMA *et al.*, 2017). É importante citar que a escola russa assimilou características naturalistas, tanto que paisagem era sinônimo de espaço natural. Desse modo, tinham por propósito identificar, classificar e cartografar as unidades naturais. Conforme estudos de Gonçalves Barbosa e Barbosa (2015), o desenvolvimento de modelos sistemáticos de mapeamento levou os soviéticos a encontrar um modelo teórico que os possibilitassem realizar a classificação sistemática das unidades taxonômicas da paisagem, a Teoria dos Geossistemas.

Sotchava foi precursor do termo e o utilizou para estabelecer uma tipologia aplicável a fenômenos naturais. Ao estudar paisagens geográficas complexas com enfoque físico-geográfico, considerou as inter-relações entre todos os componentes do sistema e as transformações consequentes. O Geossistema assim foi concebido como um sistema natural, aberto, dinâmico e com organização própria em um espaço que permite repartição de todos os seus componentes de modo a manter seu funcionamento (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2004). De modo geral, Sothava o classificou em uma ordem escalar decrescente em três níveis: planetário, regional e topológico. As contribuições dos pensadores russos para o pensar a paisagem, principalmente para a Geografia física, perpassa às bases epistemológicas, contudo ainda não integra de modo indissociável a sociedade como componente da paisagem.

Isso acontece com as contribuições de Georges Bertrand, em 1968, que propôs um esboço metodológico de estudo global da paisagem. Sua proposta consistia em classificar as unidades de paisagem em função da escala. Dessa forma, estabeleceu uma tipologia espaço-temporal compatível com a escala socioeconômica (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2004), partindo de uma ordem de grandeza escalar global para uma ordem de grandeza escalar local, distribuídos em dois grupos de unidades: as unidades superiores (Zona, Domínio e Região

Natural) e as unidades inferiores (Geossistema, Geofácies e Geótopo). Na escala inferior, se encontram as combinações dialéticas da paisagem mais interessantes ao geógrafo.

Em sua proposta, o geossistema corresponde, numa escala local, ao resultado da combinação de dados abióticos (potencial ecológico)-fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos-, com os dados bióticos (exploração biológica)- flora, fauna e solo- e a ação antrópica. Essa proposta geossistêmica de Bertrand se diferencia, portanto da proposta geossistêmica de Sothava pela inserção do caráter antrópico. Sua proposta não pretende o estudo puro e simplesmente do sistema natural do ponto de vista funcional e estrutural, como o faz a escola soviética, mas estudá-lo sob o ponto de vista das alterações antrópicas. (GONÇALVES BARBOSA; GONÇALVES, 2015, p. 101)

Diante do exposto, Christofolletti segue a vertente soviética do conceito de geossistema. Para ele, os seus componentes têm que surgir ocupando territórios e que sejam passíveis de visualização (CHRISTOFOLETTI, 1999). O mesmo autor alerta que ao se estudar um Geossistema é necessário fazer a distinção das fontes de energia e matéria responsáveis pela sua dinâmica, bem como as redes de circulação envolvidas nos processos de interação, que servem como canais de fluxos. Os elementos materializáveis que constituem um Geossistema são a vegetação, os solos, o relevo, as águas, entre outros. Embora o clima não ocupe concretamente um espaço, suas influências são cruciais para definição do tipo e funcionamento da paisagem, uma vez que é um dos elementos de controle do processo e da dinâmica do geossistema.

Nesta pesquisa a representação da expressão espacial resultante da interação dos elementos físicos da natureza são os Geossistemas, considerados, portanto, fenômenos naturais, que possuindo espacialidade e representando uma organização composta, funcionam através de fluxos de energia e material. Configuram-se unidades de delimitação da paisagem devido as combinações de massa e fluxo de energia que criam heterogeneidade interna, expressando-se em mosaicos paisagísticos.

2.1.2 Aplicação da Teoria Ecodinâmica no estudo dos sistemas ambientais (Geossistemas)

Em seu texto de 1968, Bertrand cita que as tipologias estritamente fisionômicas não atendem a complexidade da leitura da paisagem, afirmando que elas não deram os resultados esperados. Daí a escolha de uma tipologia dinâmica, que classifica o Geossistema em função de sua evolução. Para isso, leva-se em conta três elementos: o sistema de evolução, o estágio atingido em relação ao “clímax”, e o sentido geral da dinâmica (progressiva, regressiva, estabilidade) (BERTRAND, 1968). Esta tipologia se baseia na teoria da bio-resistasia de Erhart, que surge por meio dos estudos em florestas, onde Erhart buscava entender qual o papel de

“filtro” da vegetação no processo de formação de solos (pedogênese). Ao comparar duas áreas, uma desmatada e a outra florestada, delimitando os materiais residuais entendeu que há duas fases: a mitigadora e residual. A partir da análise dos materiais apresentou a teoria da Biostasia e da Resistasia (GONÇALVES BARBOSA; GONÇALVES, 2015).

A Biostasia representaria um ambiente de estabilidade muito elevada na superfície terrestre em decorrência de um período de equilíbrio longo do qual os seres pudessem atingir seu clímax e o seu desenvolvimento máximo (ERHART, 1966). Já a Resistasia era característica de ambientes que apresentavam argilas e minerais ferruginosos que se constituíam como elementos residuais da pedogênese. Para Erhart, esses minerais migravam em razão da ruptura do equilíbrio climático e biológico da floresta, o que acentuava os processos erosivos no solo. Apesar de ser uma base de apoio aos estudos de unidades de paisagens por se apresentar satisfatória, por exemplo, a análise das unidades fitogeográficas, despertou em Tricart a ideia de que esta teoria não tinha uma categoria transicional. Para ele entre Resistasia e Biostasia existiriam áreas que não se qualificavam enquanto tais, o que ele chamou de regiões intermediárias.

Na teoria da Ecodinâmica, Tricart (1977) associou os estudos da paisagem ao conceito de ecossistema, entendendo o sistema como uma unidade dinâmica composta por um conjunto de fenômenos que se inter-relacionam por fluxos. Baseada na dinâmica dos ecótopos, sem descartar as interações entre o meio biológico (biocenose) e a base física (ecótopos) do ecossistema, a sua aplicação é direcionada aos estudos de gestão dos recursos ecológicos e avaliação do impacto do trabalho humano no ecossistema para se determinar a taxa aceitável de alteração sem degradar. Essa afirmação dialoga com as ações que visam a Neutralidade da Degradação da Terra – LDN, que é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, estabelecido pela Organização das Nações Unidas - ONU, por exemplo.

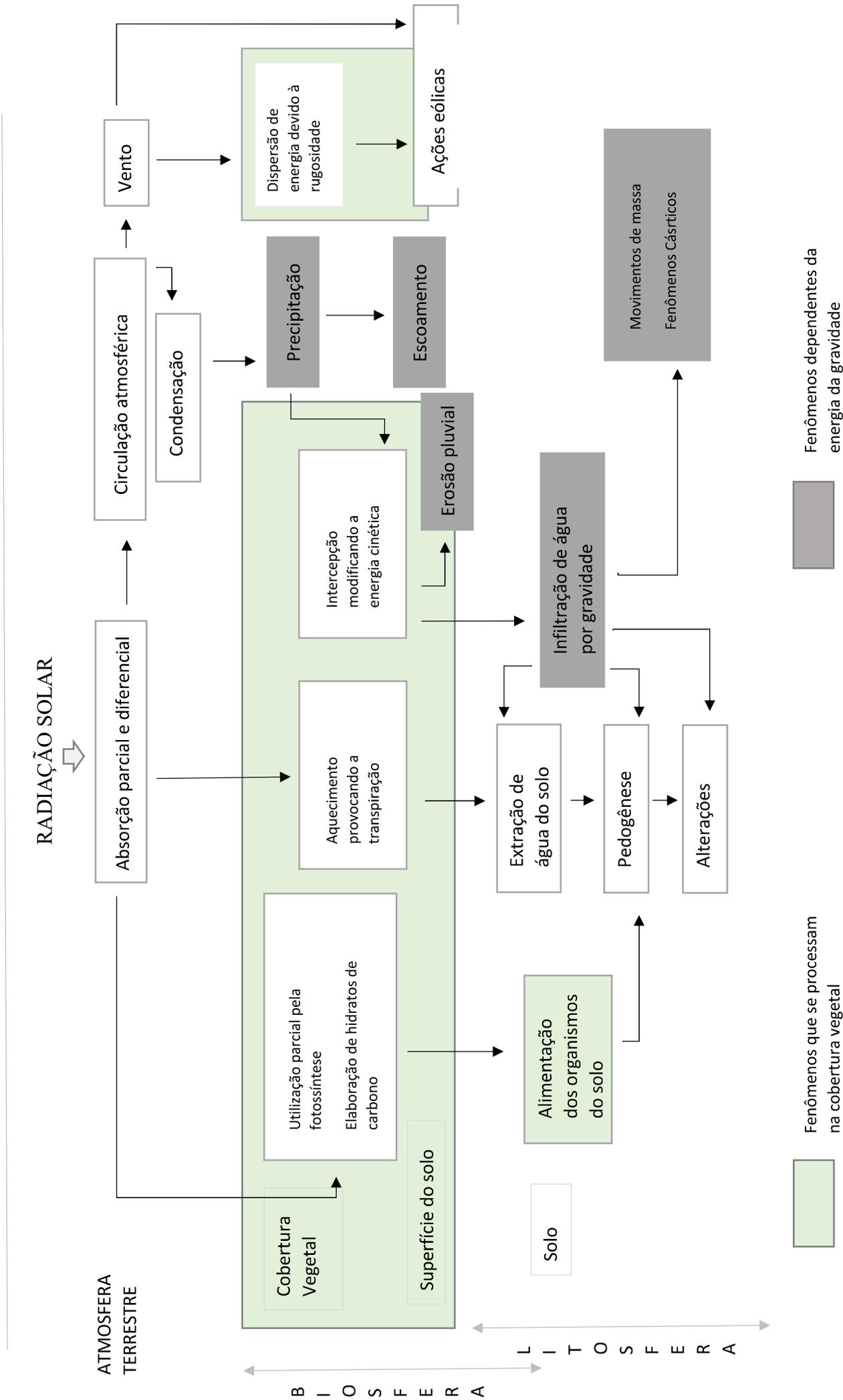
O autor direciona, entretanto, uma atenção especial ao componente morfogênico da dinâmica da superfície terrestre, estabelecendo uma taxonomia dos tipos de meios ambientes fundada no seu grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica. Daí surge a proposta da Ecodinâmica. De acordo com Tricart, uma Unidade Ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente, dependendo do clima, da topografia, do material rochoso. Defendendo que a ação humana é exercida em uma Natureza mutante, que evolui segundo leis próprias, o autor distingue três grandes tipos de Meios Morfodinâmicos, a saber: meios estáveis, meios intergrades e meios instáveis. (GONÇALVES BARBOSA; GONÇALVES, 2015, p.81).

É sabido que as mudanças ocorrentes no fornecimento dos fluxos podem ultrapassar o espectro da resiliência do sistema, desestabilizando-o e promovendo readaptações até que seja alcançado outro estado de equilíbrio. A desertificação, por exemplo, é a manifestação do

desequilíbrio de um sistema por interferências no balanço energético. Por isso, optou-se por estudá-la à luz da teoria Ecodinâmica a partir de uma perspectiva que contribui no entendimento da intensificação e expansão desse fenômeno em escala local. Partindo dessa teoria, que utiliza o sistema como unidade de análise, cada sistema tem uma dinâmica que lhe é inerente dada pelo conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Tais fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Observa-se que o fluxo é a matéria-prima que sustenta a estrutura do sistema e sua dinâmica. E a dinâmica assume o principal papel na classificação do sistema.

Além de utilizar a visão sistêmica como base, Tricart também traz a concepção de totalidade para compor os pressupostos da Ecodinâmica ao estabelecer que o caráter dinâmico dos sistemas cria a necessidade da análise e da visão de conjunto, simultaneamente, pois a totalidade do sistema difere da sobreposição das partes, onde é preciso entender a identidade do todo, o conjunto. Ratificando a ideia central da subseção anterior e trazendo os pressupostos comentados, considerar os sistemas como unidade de análise, permite verificar como cada variável que entra e passa a fazer parte da estrutura gera mudanças no sistema, que muda de comportamento para se reordenar. Assim como Penteado (1985), Tricart (1977) afirma que o melhor instrumento lógico para estudar os problemas do meio ambiente é o sistema.

Figura 2 – Fluxograma elaborado por Tricart para explicar o fluxo de energia no sistema



Fonte: Tricart (1977).

A Figura 2 representa um diagrama de fluxo de energia para exemplificar a aplicação do conceito de sistema aos problemas do meio ambiente. Esse diagrama permite verificar a estrutura do sistema, seus componentes, sua dinâmica e a atuação dos processos geomorfogênicos.

Dentre os componentes da dinâmica dos ecótopos, ou Ecodinâmica, o mais importante da superfície é o morfodinâmico. Através dos processos morfogênicos intensificados pelas ações humanas, os efeitos degradantes no uso do meio ambiente são ativados, por exemplo. Esses processos provocam instabilidade na superfície, sendo assim um fator limitante para o desenvolvimento da biocenose. Pode-se dizer que a dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas é tão importante quanto a dinâmica da biocenose e fundamental para o desenvolvimento desta. Então, do ponto de vista ecológico a morfogênese é uma limitante ecodinâmica.

Cada ambiente tem uma dinâmica específica, independente da intervenção humana, que pode se apresentar como limitação ecodinâmica. A ação da chuva e da gravidade associados a retirada ou modificação da cobertura vegetal nos sertões secos do Ceará ativa os processos morfodinâmicos na superfície ao movimentar e depositar material. Essa instabilidade altera a superfície topográfica, repercutindo na biocenose. Pode-se tomar por exemplo os eventos extremos de chuvas concentradas no semiárido que dependendo da declividade do relevo, da natureza do solo e do alto ou baixo índice de cobertura vegetal leva a uma baixa capacidade de retenção de água e intensificação da erosão, o que é um obstáculo ao desenvolvimento de espécies vegetais. Essas unidades ecodinâmicas quando submetidas à intervenção do trabalho humano sem considerar o ordenamento do meio ambiente para tentar diminuir a instabilidade inerente são suscetíveis a intensificação dos processos erosivos devido a sua dinâmica morfogênica. Portanto, a intensificação da morfodinâmica e desenvolvimento da biota são antônimos.

O que se constata é que cada unidade ecodinâmica tem uma dinâmica natural e que a ótica dinâmica é o ponto de partida da avaliação e é o guia da classificação dos meios. Partindo dessa premissa, Tricart (1977) estabelece três tipos de meio fundado no seu grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica e em função da intensidade dos processos atuais: estáveis, intergrades e fortemente instáveis.

A noção de estabilidade é aplicada ao modelado onde ocorre lentos processos mecânicos da morfogênese que não são suficientes para causar desequilíbrios no sistema, ou seja, alterar a permanência das condições de estabilidade. Essa permanência de condições estáveis significa uma lenta evolução no sistema resultante da permanência no

tempo e no espaço de uma determinada combinação de fatores, bem como uma ínfima ação dos agentes erosivos. Nos meios estáveis uma atenção maior é dada à importância da cobertura vegetal pela sua função estabilizadora tanto que Tricart (1977) propõe o termo fitoestasia em detrimento do termo biostasia de Erhart. Ele coloca que toda região em estado de fitoestasia é um meio estável, por ter ali uma permanência da cobertura vegetal, mas nem toda região estável pode-se falar em fitoestasia, pois a cobertura vegetal pode ser reduzida (TRICART, 1977).

A fraqueza das ações erosivas mais a permanência das condições do ambiente é o que constitui um meio estável. A partir de estabelecidas, a pedogênese começa a se exercer. Áreas que permaneceram sob uma mesma geodinâmica deram origem a solos que demandam de tempo para desenvolver-se. Em contrapartida, áreas que sofreram oscilações no clima ou supressão da vegetação ativam processos morfodinâmicos o que gera efeitos instabilizantes no sistema morfogenético, quebrando a permanência das condições de estabilidade ecossistêmica. Nesses sistemas a pedogênese não acontece. A não ser que a cobertura vegetal seja reestabelecida e com ela os efeitos fitoestabilizantes. Tricart tenta aproximar o conceito de bioestasia ao de meio estável para justificar a não alteração de áreas fitoestabilizadas, pois sua alteração pela atividade humana tornaria o ambiente instável.

No meio classificado intergrade há a presença permanente de morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço. Se o balanço for positivo é porque a pedogênese, mesmo sendo condicionada pela morfodinâmica acelera-se ao ponto de superar a morfogênese. Aqui a morfodinâmica se processa de maneira lenta e gradual. Se for negativo, a morfodinâmica acelera-se ao ponto de superar a pedogênese. A cobertura vegetal, nesse meio, assume papel fundamental na oposição pedogênese x morfogênese, pois à medida que ela é retirada a morfogênese se intensifica.

A morfogênese são processos morfogênicos que impossibilitam a permanência das condições estabilizantes do sistema morfogenético. Nos meios fortemente instáveis, a morfogênese atua predominantemente de maneira que a pedogênese é impedida de se realizar. A degradação antrópica é um fator que ativa brusca ou gradativamente a morfodinâmica que destrói rapidamente solos preexistentes, um caso típico de resistasia. Tal degradação intensifica a erosão e o transporte dos materiais móveis que afloram: as formações superficiais e as rochas. Essa constante movimentação altera a superfície topográfica, rompendo a estabilidade necessária à permanência das condições propícias à formação de solo e, por consequência, à colonização vegetal.

A cobertura vegetal age na interceptação da energia que alimenta a morfodinâmica, influenciando diretamente o estado dos meios. Quanto mais diversificada a estrutura da vegetação, maior a dispersão de energia cinética, que desencadeia os processos morfogenéticos. Sem a interceptação há transmissão de energia para a superfície que aciona os processos de degradação do solo (TRICART, 1977). Em contraposição a estabilidade gerada pela vegetação, as manifestações meteorológicas extremas oferecem um potencial energético considerável. A forte instabilidade climática faz com que a vegetação se adaptasse às irregularidades climáticas e as influências bioestáticas reduzidas. O trabalho morfodinâmico efetuado nas regiões semiáridas, por exemplo, é superior ao que se efetua nas regiões hiperáridas onde esses eventos de chuva acima da média são incomuns. Portanto, as condições permanecem por mais tempo nestas regiões do que naquelas. A combinação de clima semiárido com a degradação provocada pelo ser humano se constituem como condições ecológicas difíceis que tornam a degradação mais fácil, impedindo a reconstituição da vegetação.

O meio estável seria o equivalente a um ambiente com cobertura vegetal fechada que servisse como protetora do solo contra os processos degradacionais, atuando contra os processos mecânicos da morfogênese. As condições gerais se aproximam daquela apontada por Erhart como clímax. Nos meios intergrades, a interferência da pedogênese e morfogênese agem de maneira concorrente. Tricart, aponta que esses meios são sensíveis às interferências e que diante de perturbações humanas podem se tornar meios instáveis (TRICART, 1977). Por meios instáveis, se entende aqueles onde a morfogênese se sobressai diante da pedogênese, sendo determinante no sistema natural. As áreas com maior intervenção humana e processos erosivos são classificadas como meios instáveis ambientalmente.

A compreensão da paisagem pode se dar a partir de várias propostas metodológicas. Para delimitar a paisagem, entender sua dinâmica e modificação na sub-bacia do riacho Juriti, utiliza-se neste trabalho as contribuições de Tricart, que são consideradas para caracterização e delimitação dos sistemas ambientais. A Ecodinâmica oferece os meios conceituais para estudar os fenômenos, criando-se possibilidade de intervenção prévia na defesa de padrões cuja manutenção deva ser preservada.

2.1.3 Desertificação como expressão espacial da instabilidade do meio

Há um consenso entre os cientistas e agentes políticos que a desertificação é um fenômeno resultante de um processo acentuado de degradação da terra, portanto, ela expressa um nível máximo de degradação ambiental. Esse fenômeno, como chama Nascimento (2013), ocorre em terras secas ao redor do mundo em razão das condições climáticas e interferências humanas nos ambientes inseridos nas zonas áridas, semiáridas e subúmida seca. A partir do que se entende por desertificação é correto afirmar que existe uma condição para que ela ocorra: a relação sociedade ↔ natureza. Em todas as definições desse conceito, os autores e autoras colocam o imbricamento entre ações humanas e condições climáticas como imprescindíveis a sua manifestação. (MATALLO JÚNIOR, 2001; SAMPAIO *et al.*, 2005; PACHÊCO *et al.*, 2006; CEARÁ, 2010; BRANDT; GEESON, 2010; OLIVEIRA, 2011; NASCIMENTO, 2013; ALMEIDA; SOUZA, 2013; CGEE, 2016).

A partir dessa situação, entendemos que uma maior aproximação da realidade das áreas marcadas pelo processo de desertificação deva passar pela compreensão mais apurada da relação sociedade ↔ natureza. No entanto, esta pesquisa limita-se a estudar a desertificação a partir da dinâmica natural das paisagens, pois considera-se a morfodinâmica da superfície componente decisivo na intensificação ou atenuação do processo. Como já mencionado, a morfodinâmica são ações que ditam o estado do meio, tais ações ocorrem conforme as interações dos fatores abióticos e bióticos no sistema. Portanto, cada ambiente tem uma suscetibilidade própria a ela, que atua de maneira incisiva sobre áreas de clima seco.

A definição oficial de desertificação estabelecida pela Convenção de Combate à Desertificação das Nações Unidas (UNCCD) a traz como a degradação das terras secas áridas, semiáridas e subúmida seca, consequente das ações humanas e variações climáticas. As demais definições de pesquisadores corroboram com a oficial, pois trazem a ideia de degradação ambiental ocorrida em regiões climaticamente delimitadas, tendo por consequência a redução da capacidade de regeneração e manutenção da biota dos ecossistemas ao nível que os recursos ambientais ficam escassos e pouco utilizáveis pelo ser humano. Alguns pontos em comuns entre as definições levantadas trazem como central a noção de dano dos recursos ambientais e perda da disponibilidade desses recursos para uso da sociedade.

O clima, porém, é requisito indispensável para a delimitação das áreas desertificadas. Em 1977, na Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCOD), houve uma primeira tentativa de formulação de um sistema de indicadores, e apesar de ter sido reconhecida como um problema ambiental, a desertificação foi tratada como a diminuição do potencial biológico da terra até condições semelhantes a desertos (CAVALCANTI *et al.* 2006). Tomando por base apenas as classes climáticas definidas pelo índice de aridez, a UNCOD apresentou o primeiro Mapa Mundial de Desertificação classificando as áreas suscetíveis a ela. O mapa foi elaborado pela FAO, PNUMA e UNESCO e foi um instrumento estratégico do plano de ação de combate à desertificação (CHERLET *et al.*, 2018).

No que diz respeito ao Índice de Aridez, a Convenção de Combate à Desertificação convencionou que os valores compreendidos entre 0,05 e 0,65 caracterizam as regiões enquadradas no escopo de sua aplicação. O grau de aridez de uma região é a razão entre a precipitação (P) e a perda máxima de água possível pela evapotranspiração (ETP), cuja fórmula foi elaborada por Thornthwaite em 1941. De acordo com a Tabela 1, verifica-se que a atuação da Convenção se dá, portanto, às áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas do mundo, somando cerca de 1/3 de toda a superfície do planeta, ou mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km²), afetando direta e indiretamente mais de 100 países, excluindo desse total os desertos, que somam 9.780.000 km², ou 16% da superfície do globo (MIRZABAEV *et al.*, 2022). De fato, a UNCCD, dentre as conferências surgidas na Rio-92, é fundamental para se pensar a elaboração de políticas que envolvam o desenvolvimento de populações e territórios submetidos a desertificação, uma vez que as terras secas coincidem com as regiões mais pobres do mundo.

Tabela 1 – Classificação climática de acordo com o Índice de Aridez

Classificação Climática	Índice de Aridez
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 > 0,20
Semiárido	0,21 > 0,50
Subúmido seco	0,51 > 0,65
Subúmido úmido	> 0,65

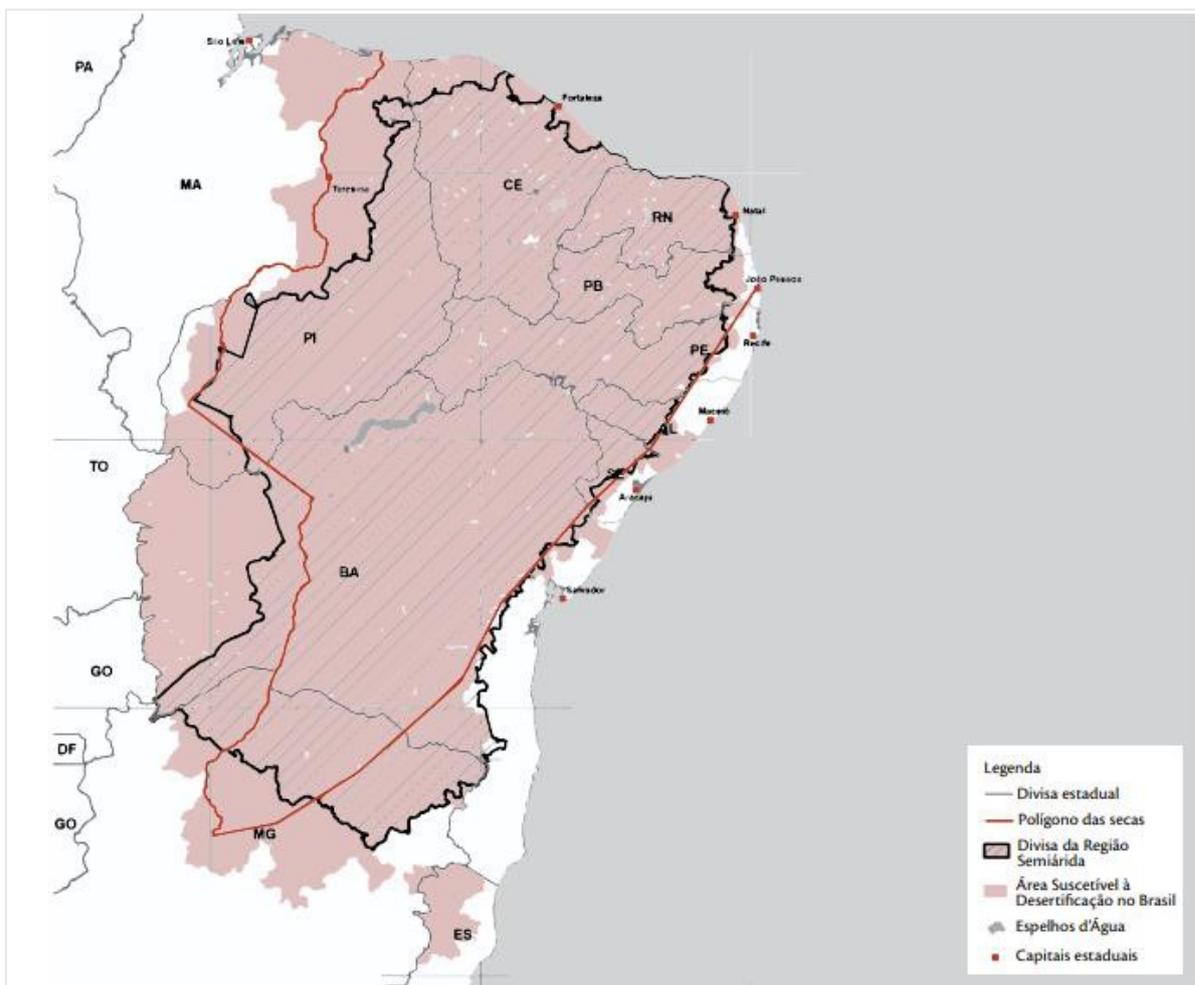
Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Thornthwaite.

No Brasil, critérios eminentemente meteorológicos definiram a delimitação do Polígono das Secas, do Semiárido do Nordeste, e das Áreas suscetíveis à Desertificação. Para os dois primeiros, ao invés do IA, foi utilizada a precipitação pluviométrica anual igual ou inferior a 800 mm. Observa-se que as delimitações ocorridas nas terras secas do Brasil são de caráter climatológico, tendo por elemento central a precipitação. O IA passa a ser um critério a partir da nova delimitação do Semiárido, em 2005, e da definição das ASDs (CGEE, 2016). Devido esse fator em comum, os três tipos de delimitação apresentados se sobrepõem espacialmente, conforme a Figura 3.

No entanto, a delimitação da desertificação também é política. Entende-se que em uma escala global, a classe climática definida pelo IA foi uma tentativa de especializar as terras secas a fim de tomar iniciativas para combater os problemas de degradação. Nessas áreas, de fato, as populações são mais carentes, portanto, são áreas de extrema urgência para a aplicação de políticas públicas. Porém, concordando com Barreto (2018), o IA não é suficiente.

Pensar os métodos de estudo da desertificação passa por pensar a escala de acontecimento desse fenômeno. De fato, o IA serve à análise em escala pequena, pois o nível de detalhe é menor, sendo assim suas causas são genéricas restringindo-se à classe climática. Visto que as causas da desertificação são diversas e cada área é constituída por particularidades que a gera, aumentar o rol de indicadores para a delimitação no globo não abarcaria a singularidade de cada parte do planeta desertificada. Por conseguinte, há várias propostas de estudo e identificação da desertificação em escala regional que já consideram como complemento aos indicadores climáticos outros critérios como a questão socioeconômica e ambiental. Dentre os principais estudos publicados, cita-se o de Matallo Júnior (2001) que analisa os principais sistemas de indicadores elaborados para a América Latina e propõe um método de abordagem com base na diferença entre os sistemas de indicadores, para estudo de desertificação e para identificação de processos de desertificação. Além da escala, o que se observa é que as pesquisas desenvolvidas se agrupam em duas linhas: a climática e a socioambiental.

Figura 3 – Delimitação das ASDs, do Semiárido e do Polígono das Secas



Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

A vertente de visão puramente climática e a de visão ambiental se complementam na construção de metodologias de estudo e identificação da desertificação. Ao discutir o processo de desertificação no Nordeste do Brasil, Conti (2005) utilizou o método de séries temporais pluviométricas, sinalizando que a tendência decrescente das médias se agrupou em quatro manchas que sobrepunham áreas com indícios de desertificação. Trabalhos que propõem criar indicadores de desertificação assumem uma posição puramente climática ao escolherem variáveis meteorológicas para seus estudos (SILVA *et al.*, 2011; DOURADO *et al.*, 2015; LOPES; LEAL, 2015; SOARES *et al.*, 2018).

Já os ambientais, e aqui inclui-se aqueles que absorvem as técnicas de geoprocessamento e os de revisão bibliográfica, iniciaram-se no Brasil através dos trabalhos pioneiros de Vasconcelos Sobrinho. Em publicação de 1978, esse autor formulou as primeiras tentativas científicas no Brasil de determinar indicadores para os

processos de desertificação. Para ele a desertificação é um fenômeno de sistemas no qual intervêm o clima, os solos, a flora, a fauna e a sociedade, sendo causada pela fragilidade dos ecossistemas frente à pressão excessiva exercida pelas populações humanas ou às vezes pela fauna autóctone, perdendo a capacidade de recuperação autônoma (PACHÊCO *et al.*, 2006). Nessa definição, Vasconcelos Sobrinho traz a fragilidade do ecossistema como principal indutor do processo, em que os agentes acima mencionados atuam, levando um meio intergrade a sofrer regressão do seu estado. A concepção de que a degradação dos recursos naturais nas áreas de clima seco culmina na incidência dos processos de desertificação é comum nos estudos transdisciplinares da desertificação.

A desertificação é considerada como uma sequência de modificações regressivas dos solos, da vegetação e do regime hídrico, conduzindo à deterioração biológica dos ecossistemas, em consequência de pressões criadas por fatores climáticos e pelas atividades do homem, em ações conjuntas ou separadas. (CGEE, 2016, p. 21).

A mesma perspectiva é encontrada no estudo realizado pela Fundação de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para o zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação, em que considera o mau uso do solo aliado ao clima semiárido provocadores, ao longo do tempo, de uma perda de espécies raras, endêmicas e de interesse bioecológico para a região, originando grandes extensões de desertificação (FUNCEME, 2015). Para Rego (2012), a desertificação é um desastre natural e social com aspectos humanitários, além disso, o autor considera que esse fenômeno:

É uma ameaça para a humanidade inteira, pois reduz a sustentabilidade da sociedade como um todo; trata-se de um desastre para as comunidades diretamente afetadas, que veem diminuída sua capacidade de sobrevivência e sofrem uma aguda deterioração nos seus padrões de saúde e de nutrição, bem como em suas atividades econômicas, o que leva frequentemente à migração em busca de melhores condições de vida. (REGO, 2012, p. 20)

Diante das concepções expostas, autores concordam que ainda não existe um consenso científico sobre a dimensão do problema, que de certa forma é consequência da generalidade e ambiguidade do conceito (SAMPAIO; SAMPAIO, 2002; PACHECO *et al.*, 2006; NASCIMENTO, 2013). A definição estabelecida pela UNCCD é de caráter político e sinaliza as áreas suscetíveis à desertificação com base em uma classificação climática, pontuando a interferência humana como imprescindível. A leitura do texto, portanto, pode gerar diferentes interpretações que se manifestam nas diferentes metodologias de estudo e identificação da desertificação. Matallo Júnior (2001) aponta o termo degradação da terra, que aparece no corpo do texto que define desertificação, muito

abrangente, visto que há vários tipos de degradação, cada qual com sua metodologia, e afirma que o indicador de desertificação precisa uni-las. Pensa-se que não tem como ter uma metodologia unificada para um tema que é transversal.

Embora, possa parecer um problema o não consenso conceitual, sabe-se que os avanços nas pesquisas sobre o tema são decorrentes das várias propostas de identificação e estudo conforme cada área pesquisada. Os estudos sobre desertificação precisam se adequar as diversas realidades regionais. Quando se trabalha com indicador, por exemplo, tem que se considerar as particularidades de cada local. Para a definição de indicadores, os produtos derivados do sensoriamento remoto, variáveis socioeconômicas, delimitação de sistemas ambientais e até variáveis climáticas são sistematizadas para os desenvolvimentos dos estudos sobre o processo de desertificação.

Observa-se que alguns estudos aplicados particularizam as causas da desertificação, elencando variáveis biológicas, climáticas, sociais e até estruturais para melhor analisar e identificar o fenômeno, e mesmo que não considerado, o elemento morfodinâmico sempre está presente. Nesta pesquisa, a desertificação é considerada um fenômeno gerado por um conjunto de processos de degradação (do solo, das águas, e da vegetação) que culminam na redução da produtividade dos recursos naturais impossibilitando a utilização da área para atividades antrópicas. Cabe aqui destrinchar esta definição e ligá-la as definições oficiais que incorporam o elemento humano e climático no texto.

Entende-se que os processos de degradação são ocasionados por atividades humanas, como a ação conjunta de supressão da vegetação e a aplicação de técnicas agrícolas ou de manejo da terra de elevado grau de impacto. Após essa intervenção humana, a morfodinâmica se acentua comprometendo gradualmente a qualidade do ambiente, pois uma das consequências dos processos erosivos é a ablação e a compactação do solo, dificultando a infiltração da água e intensificando o escoamento superficial que transporta os materiais desagregados da superfície do solo para os níveis de base, o que degrada os mananciais devido à alta taxa de recarga de materiais levando-o ao assoreamento. Portanto, a intervenção humana desencadeou um ciclo de degradação do ambiente.

Trazendo para a realidade das regiões semiáridas, essas são consideradas de alta fragilidade natural pelas características climáticas e físico-naturais dos seus ambientes. Como o clima semiárido é caracterizado pelas elevadas temperaturas e precipitação irregular, as áreas de solo exposto ou de baixa densidade vegetacional estão

suscetíveis à intensificação dos processos erosivos periodicamente. Tricart (1977) explica que a permanência das condições de estabilidade de um meio é o que garante a ativação da pedogênese e a sucessão de estágios até o seu clímax ou condição de biostasia. Contudo, no semiárido brasileiro, as rupturas ocorrem periodicamente devido as chuvas torrenciais de elevado potencial cinético. Logo, a permanência das condições de estabilidade é rompida e a morfodinâmica é ativada.

Em função do estado de degradação ambiental as gotas chegam à superfície do solo sem interrupção já que há áreas com baixa cobertura vegetal e solo exposto, iniciando os processos erosivos. Essas áreas são consideradas, em suas condições originais, meios intergrades por Tricart (1977), mas a ação humana degradante aplicada em área de alta fragilidade natural, como as semiáridas, intensificam os processos morfogenéticos que se tornam predominantes na dinâmica do ambiente, regredindo seu estado para instável ou fortemente instável, anulando a pedogênese. Dessa forma, à medida que os ambientes das regiões semiáridas são degradados a renovação dos recursos naturais é dificultada e a manutenção da integridade dos ecossistemas é alterada modificando a paisagem, que fica com aspecto desértico. Além disso, as utilizações desses recursos são inviabilizadas. Nas áreas desertificadas, em razão do tipo climático e de áreas fortemente degradadas, a morfogênese se sobrepõe a pedogênese conformando um meio fortemente instável. Portanto, a desertificação é a expressão espacial da instabilidade do meio. A vegetação por ser interceptadora natural da força cinética exercida sobre o solo através das gotas de chuva é de fundamental importância para a não ativação dos processos morfogênicos, e por conseguinte da expansão ou intensificação da desertificação.

2.1.4 Bacia Hidrográfica: unidade espacial de estudo

Antes de ser adotada como unidade de planejamento e gestão ambiental, a bacia hidrográfica é um conjunto de sistemas ambientais naturais, espacialmente delimitada, que permite a integração de questões ambientais e sociais em um recorte territorial adequado, contribuindo para a superação de uma visão setorial em detrimento de uma visão holística (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015). Reconhecer a bacia como um sistema implica em aceitar que tudo o que ocorre nela repercute nos seus fluxos de matéria, energia e informação “[...] qualquer alteração nas propriedades ecológicas das

bacias acarreta sérios danos ambientais, pois estas unidades são sistemas abertos, tendo como ciclo das águas sua maior fonte de auto-organização” (COELHO, 2010, p.79).

É sobre esse recorte espacial que as ações humanas e as degradações decorrentes refletem seus efeitos, principalmente àqueles referentes ao uso da água. Como refletiu Christofidis (2009) os efeitos deletérios de determinados usos da água sobre os demais tanto afetam o manancial, e as relações ecossistêmicas que se dão ali, como outras áreas receptoras da bacia. Sendo assim, por ser uma representação espacial que resguarda paisagens e o campo de ação de importantes interações físicas e socioeconômicas, a bacia hidrográfica pode ser eleita como unidade de planejamento ambiental e territorial mais satisfatória aos estudos ambientais, extrapolando a gestão dos recursos hídricos, e ao mesmo tempo a mais adequada aos estudos hidrogeográficos (NASCIMENTO, 2003).

Há, portanto, um consenso dentro da comunidade científica que trabalha com estudos ambientais, que a bacia hidrográfica é a unidade mais adequada ao planejamento e gestão ambiental e estudos voltados à questão hídrica como, gerenciamento dos recursos hídricos, usos múltiplos, quantidade e qualidade de água, poluição hídrica, demanda e oferta, entre outros (NASCIMENTO-NETO; CARVALHO, 2003; MACHADO; TORRES, 2012; GORAYEB; PEREIRA, 2014; OLIVEIRA; SOUZA, 2019). Além disso, a Lei Federal nº 9.433, 08/1/97 estabeleceu como um dos seus princípios fundamentais que a bacia é a unidade preferencial para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH) (Título I, Cap., Art. 1º, Inciso V). Com isso foi dada uma nova dimensão ao conceito de bacia que passou de unidade preferencial de estudo ambiental a unidade institucional de intervenção.

Machado e Torres (2012) aludem que a noção de bacia hidrográfica abriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisor de água, curso d'água principal, afluentes e subafluentes. A bacia como uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários sendo limitada pelos divisores de água. Seguindo essa mesma linha de raciocínio, para Tucci (1993), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da chuva que drena suas águas para um único ponto de saída através do canal principal.

A água por ser a principal matéria de uma bacia hidrográfica reflete suas características como resultado das interações que nela ocorrem. Tais características são de cunho ambiental abarcando questões sociais, políticas e econômicas. Portanto, a bacia

hidrográfica é considerada um conjunto de sistemas ambientais complexos nos quais o elemento integrador são os canais fluviais que interliga os diferentes sistemas constituintes.

2.2 Procedimentos operacionais

A linha teórica e metodológica adotada na pesquisa procura orientar para um melhor entendimento do processo de desertificação a partir da perspectiva Ecodinâmica com ênfase no papel desempenhado pela vegetação. Tal processo de investigação científica requer uma estreita relação entre teoria, método e técnica. Para isso, os procedimentos adotados fundamentais para atingir os objetivos propostos são baseados nas etapas de trabalho desenvolvida por Tricart (1977), Souza (2000), Abraham; Beekman (2006), Oliveira, (2011) e Barreto (2018), mas adaptadas ao objeto de investigação. Assim a pesquisa é dividida em três etapas organizativas: analítica, sintética e interpretativa.

A primeira etapa, analítica, engloba o levantamento bibliográfico inicial e a definição dos conceitos e dos autores e autoras a serem consultados. Desertificação e Ecodinâmica foram estabelecidos como corpo conceitual que orientou a aplicação dos Indicadores Geobiofísicos. A coleta e organização de dados referentes aos componentes físicos e ecológicos, além do levantamento do material cartográfico e trabalho de campo, foram necessários para gerar informações, constituindo-se elementos da segunda etapa. Após a conclusão das primeiras etapas, as informações foram interpretadas o que possibilitou a delimitação dos sistemas ambientais, a definição dos indicadores e a elaboração do mapa de suscetibilidade à desertificação.

Para a execução da pesquisa algumas técnicas foram aplicadas de maneira complementar: estatística descritiva e técnicas matemáticas aplicadas aos dados de sensoriamento remoto, bem como a cartografia temática. A estatística descritiva se preocupa em descrever dados, cujo objetivo básico é o de sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo que se tenha uma visão global da variação desses valores. Além de que organiza e descreve os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas (GUEDES *et al.*, 2005).

Tais dados são gerados a partir do sensoriamento remoto, que é uma técnica de obtenção de informações sobre a superfície da Terra a partir de imagens e dados coletados por sensores instalados em plataformas espaciais (satélites), aeronaves ou

terrestres (FLORENZANO, 2002). Os sensores remotos capturam informações sobre a radiação eletromagnética emitida e refletida pela superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda, incluindo o visível, o infravermelho e o radar. Essas informações são registradas e processadas para gerar imagens e dados que podem ser usados para uma ampla gama de aplicações, no caso da pesquisa para análise da vegetação. Os dados de sensoriamento remoto foram processados por meio de técnicas de processamento digital de imagem, como a classificação de imagem e o cruzamento de dados. As imagens resultantes podem ser visualizadas como mapas temáticos, o que permitiu extrair informações sobre a superfície terrestre em diferentes escalas espaciais.

Quanto à cartografia temática, esta é a área da cartografia que se dedica à representação de informações temáticas ou específicas em mapas. Utilizada para trabalhar informações geográficas de forma visual e compreensível, apresenta ênfase no processo de comunicação. Conforme Sann (2005), ela é o instrumento de expressão dos resultados adquiridos pela Geografia, assim, a cartografia, nas pesquisas geográficas de caráter ambiental, é extremamente importante por integrar uma gama de informações, por sintetizar as essas informações e por espacializar as problemáticas existentes, podendo construir um conhecimento prático e aplicável (BARRETO, 2018). Os produtos gerados por meio da integração das técnicas mencionadas foram fundamentais para a elaboração de material cartográfico que orientou a confecção do mapa de suscetibilidade à desertificação.

Por considerar a perda de cobertura vegetal como um dos principais fatores que contribuem para a desertificação, avaliar a sua densidade constitui-se como uma estrutura essencial para este estudo. Dessa forma, as imagens orbitais de sensoriamento remoto foram as principais fontes utilizadas, pois a extração das informações das imagens de satélites serviu à elaboração dos mapas de SAVI, proporção de cobertura vegetal e uso e cobertura.

2.2.1 SAVI

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que possibilita a obtenção de informações sobre objetos terrestres sem a necessidade de contato físico direto entre o sensor e o objeto. Isso é feito através da coleta de energia refletida ou emitida pelos objetos que é convertida em um sinal que pode ser registrado, gerando uma imagem final para a extração de informações. As imagens obtidas através dos sensores permitem

visualizar fenômenos na faixa do espectro eletromagnético que o olho humano não é capaz de enxergar, o que amplia o campo sensorial na identificação de pequenas nuances que existem no terreno.

Portanto, o uso de imagens orbitais proporciona uma visão detalhada da superfície, permitindo uma melhor compreensão dos impactos naturais e antrópicos, sejam eles locais ou regionais (GAMEIRO, 2016). As técnicas de sensoriamento remoto e SIG são ferramentas poderosas para investigar e prever mudanças ambientais de forma confiável, repetitiva, não invasiva, rápida e econômica (Amiri *et al.*, 2014). O processamento digital de imagens (PDI), por exemplo, é uma ferramenta importante para o realce das informações superficiais, destacando-as através de fórmulas matemáticas e estatística em cada banda espectral do sensor. Dentre os produtos do PDI, destaca-se os índices de vegetação, que são operações que permitem determinar a saúde e a densidade da vegetação através de combinações de dados espectrais de duas bandas, a do vermelho (R) e a do infravermelho próximo (NIR).

Nesta pesquisa foram usadas imagens do satélite CBERS 04A, da câmera multiespectral e pancromática de ampla varredura WPM, a qual possui 5 bandas, sendo a P (Pancromática) com resolução espacial de 2m e as demais com resolução espacial de 8m. Possui ainda resolução radiométrica de 10 bits e tempo de revisita de 5 dias. As bandas utilizadas foram a 3 (0,63-0,69 μ m), ou vermelha (R), e a banda 4 (0,77-0,89 μ m), ou infravermelho próximo. A cena referente a data setembro de 2021, que corresponde ao período seco foi a escolhida. As imagens foram adquiridas junto ao site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É importante ressaltar que as imagens apresentaram boa qualidade, mas cerca de 20% de interferência de nuvens, e foram reprojctadas para a projeção UTM-SIRGAS 2000-Fuso 24S.

O processamento das imagens e a obtenção dos índices de vegetação foram realizados no QGIS (versão 3.22.6). Adotou-se uma escala de 1:100.000 com a finalidade de visualizar a bacia em toda sua extensão e ainda assim manter uma qualidade visual aceitável para a análise.

Uma vez obtido as imagens necessárias, pôde-se utilizar softwares de processamento para determinar o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). O resultado é uma imagem, cujos valores variam de -1 a +1, sendo que valores mais altos indicam uma maior densidade vegetacional. Apensar do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ser o índice mais utilizado para estudos sobre cobertura vegetal, o

SAVI é considerado o mais apropriado para os estudos das vegetações em terras secas, pois influi nas respostas espectrais do solo (AQUINO; SANTOS, 2020).

Em estudos realizados por Silva e Galvêncio (2012) foi constatado que para o período seco em área de Caatinga sugere-se que se use o SAVI quando comparado com NDVI, pois o efeito de reflectância do solo interfere menos nas respostas da cobertura vegetal. Segue sua equação:

(1)

$$SAVI = \frac{(1+L)(piv-pv)}{L+piv+pv}$$

Onde:

L= fator de ajuste da interferência do solo

piv = faixa espectral do infravermelho próximo

pv = faixa espectral do vermelho

Em que L é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1, dependendo da cobertura do solo. Para vegetação muito baixa é sugerido utilizar o fator L = 1,0, para vegetação intermediária L = 0,5, para altas densidades L = 0,25. A utilização do L = 0 acarretará SAVI idêntico ao NDVI. Comumente tem-se utilizado o valor de L=0,5, como aplicado neste trabalho, para áreas de vegetação esparsa como as savanas (GAMEIRO *et al.*, 2016; AQUINO; SANTOS, 2020; SANTOS *et al.*, 2022).

2.2.2 Proporção de vegetação

A desertificação pode ser entendida como o ressecamento ecológico das terras sob clima árido, semiárido e subúmido seco. A perda de cobertura vegetal é um dos principais fatores que contribuem para isso, pois a vegetação é responsável por reter a umidade do solo e regular a temperatura local. A proporção de vegetação pode ser usada como um indicador de suscetibilidade à desertificação. Se a proporção de vegetação estiver diminuindo, isso pode indicar a degradação da terra e a possibilidade de deixá-la suscetível à desertificação.

Para calcular a proporção de vegetação em uma determinada área, utiliza-se usualmente um índice de vegetação, como o NDVI. Contudo, nesta pesquisa optou-se pelo SAVI como índice de vegetação da base de cálculo. Como o SAVI é útil em áreas com solo exposto, uma vez que o NDVI pode subestimar a densidade vegetacional, a proporção de vegetação é estimada com maior precisão utilizando-o.

Para calcular a proporção de vegetação utilizou-se a média dos valores de SAVI e os valores mínimos e máximos encontrados (JESUS; SANTANA, 2017). Por exemplo, ao dividir uma área em grades e calcular o SAVI para cada uma delas, pode-se obter a média, a máxima e a mínima dos valores de SAVI para cada uma. Esse valor médio pode ser convertido em uma proporção utilizando uma escala de 0 a 1, onde 0 indica nenhuma vegetação e 1 indica vegetação total. A escolha do tamanho da área depende do recorte espacial da pesquisa e da sua finalidade.

Neste caso, foi utilizada a ferramenta calculadora raster em software de processamento de imagens para calcular a proporção da cobertura vegetal. Esses valores foram gerados a partir da diferença entre o valor mínimo e máximo do SAVI. Posteriormente, esses dados foram convertidos em uma proporção utilizando uma escala de 0 a 1. Se o valor estimado de SAVI para a grade for 0,5, a proporção de vegetação será de 0,5 ou 50% para ela. É importante notar que a precisão do cálculo da proporção de vegetação pode ser afetada por fatores como a resolução das imagens utilizadas e a presença de nuvens ou sombras na área avaliada. A proporção de vegetação foi definida pela seguinte equação:

(2)

$$PV = \left(\frac{SAVI - SAVI \min}{SAVI \max - SAVI \min} \right)$$

Onde:

PV = Proporção de Vegetação;
 SAVI = *Soil Adjusted Vegetation Index*;
 Índice, obtido pela equação;
 SAVI min = mínimo valor do SAVI;
 SAVI max = máximo valor do SAVI.

Essa fórmula corrige a subestimação do SAVI na estimativa da densidade da cobertura vegetal, levando em consideração a quantidade de solo exposto na área. Quanto

mais próximo de 1 for o valor de PV, maior será a proporção de vegetação na área analisada.

2.2.3 OBIA

Para a geração do mapa de uso e cobertura do solo foi utilizada a técnica de Análise de Imagens Baseada em Objetos (OBIA). A técnica OBIA para classificação de imagens consiste em agrupar os pixels em objetos que possuam características espectrais semelhantes, utilizando um algoritmo de segmentação. A segmentação pode ser realizada por pixel ou por região, sendo que a segunda opção tem se mostrado mais eficiente como mostra Brito (2023) em sua pesquisa sobre classificação de áreas de planície na Amazônia. Na OBIA, a imagem é dividida em objetos ou regiões baseados em critérios como textura, forma, cor, entre outros. Esses objetos são então classificados em classes de interesse, como vegetação, água, solo, relevo, entre outras, com base em suas características espectrais e espaciais. De acordo com Belloli *et al.* (2022) esta é a abordagem mais adequada para lidar com áreas de uso heterogêneas, pois ela segmenta a imagem com padrão espacial para a etapa de classificação.

Nesta pesquisa, para a classificação das tipologias de uso, seguiu-se os passos elencados por Dronova (2015), em que o processo OBIA normalmente começa com a segmentação de imagens de entrada em grupos locais de pixels, ou seja, objetos que se tornam unidades espaciais para classificação e avaliação de precisão. Dessa forma, foram utilizadas imagens obtidas no site do INPE do satélite CBERS 04A, com data de setembro de 2021, utilizando as bandas espectrais P, B1, B2, B3 e B4 da câmera WPM, com resolução espacial de 2 metros.

Todo o processamento foi realizado no software QGIS. Para realizar a análise de imagens baseada em objetos foi necessário utilizar o plugin *Orfeo Toolbox* (OTB), que pode ser instalado diretamente no SIG. O *Orfeo Toolbox* é uma biblioteca de processamento de imagens de código aberto que fornece uma ampla gama de ferramentas para análise de imagens de satélite.

Sobre as etapas da classificação, estas consistem em segmentar a área a partir de um índice. Este índice é obtido através da estatística de cada segmento, que é obtida com a ferramenta *Objects Radiometric Statistics* do OTB. Para cada segmento se obtém: número de pixels (*number of pixels*), perímetro (*perimeter*), planicidade (*flatness*), redondeza (*roudness*), alongamento (*elongation*), média (*mean*), desvio padrão

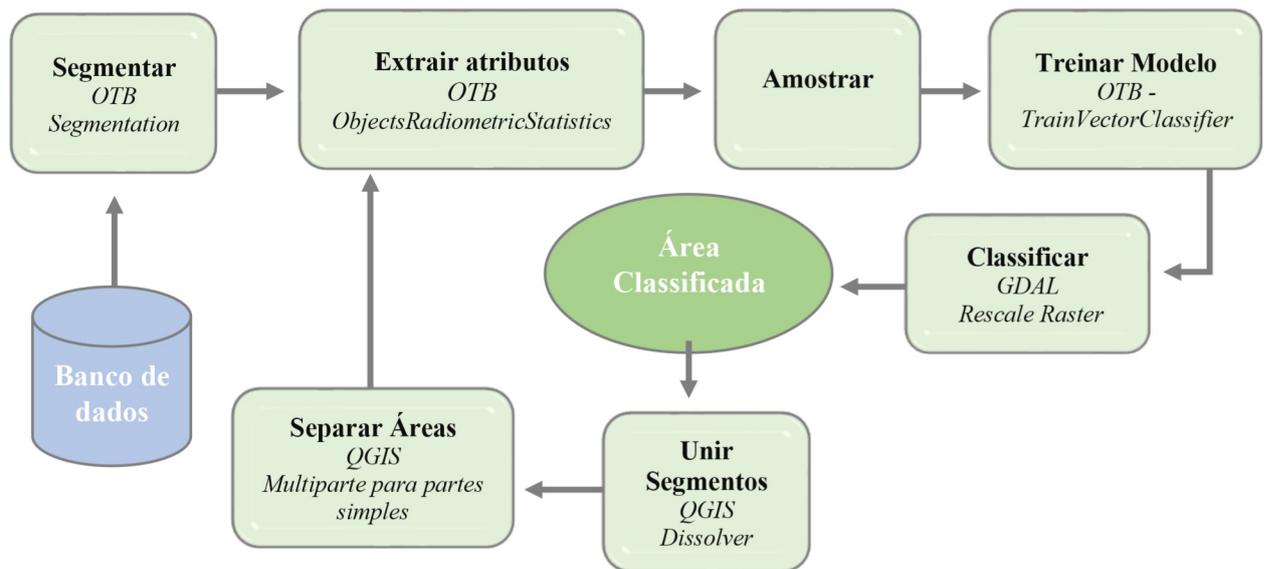
(*standard-deviation*), mediana (*median*), variância (*variance*), curtose (*kurtosis*), assimetria (*skewness*) (BRITO, 2023). A ferramenta *Train Vector Classifier* foi utilizada para processar as amostras, onde as estatísticas desejadas devem ser indicadas. No caso desta pesquisa foram utilizadas média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão e variância. Dos algoritmos classificadores disponibilizados pelo OTB optou-se pela *Random Forests Classifier* (RF).

Algoritmos de aprendizado de máquina como *K-nearest neighbor* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM), *Classification and Regression Tree* (CART) e *Random Forest* (RF) são frequentemente usados para classificar a vegetação em áreas de uso devido à sua capacidade de interpretar relações complexas não lineares. O RF é um algoritmo de previsão não paramétrico que é usado para classificação de imagens. O RF tem um bom desempenho na identificação de relacionamentos não homogêneos entre variáveis preditoras e a resposta, tornando-o adequado para dados multidimensionais típicos de sensoriamento remoto (BELLOLI et al., 2022). Segue abaixo ferramentas do OTB que são úteis para OBIA:

- a) segmentação de imagem: o OTB fornece vários algoritmos de segmentação de imagem para criar objetos a partir de pixels. A segmentação é a etapa mais importante da análise baseada em objetos e o OTB fornece vários algoritmos para escolher;
- b) extração de características: uma vez que os objetos foram segmentados, o OTB permite que você extraia características dos objetos, como área, forma e textura;
- c) classificação baseada em objetos: o OTB permite que você classifique os objetos com base em suas características. Ele fornece vários algoritmos de classificação, como SVM e árvores de decisão;
- d) fusão de dados: o OTB permite que você funda diferentes fontes de dados, como imagens ópticas e de radar, para melhorar a classificação.

Esse processo resultou em um conjunto de dados que foram utilizados para classificar as tipologias de uso e cobertura. A Figura 4 abaixo resume o processo de classificação da área a partir da base de dados processada.

Figura 4 - Procedimento de classificação orientada a objetos



Fonte: Adaptado de Brito (2023).

2.2.4 Mapas temáticos

Os mapas de caracterização física da sub-bacia foram elaborados com base em um levantamento bibliográfico e cartográfico de dados secundários. O quadro abaixo sintetiza a metodologia seguida para cada um.

Quadro 1 – Mapas gerados e as metodologias seguidas

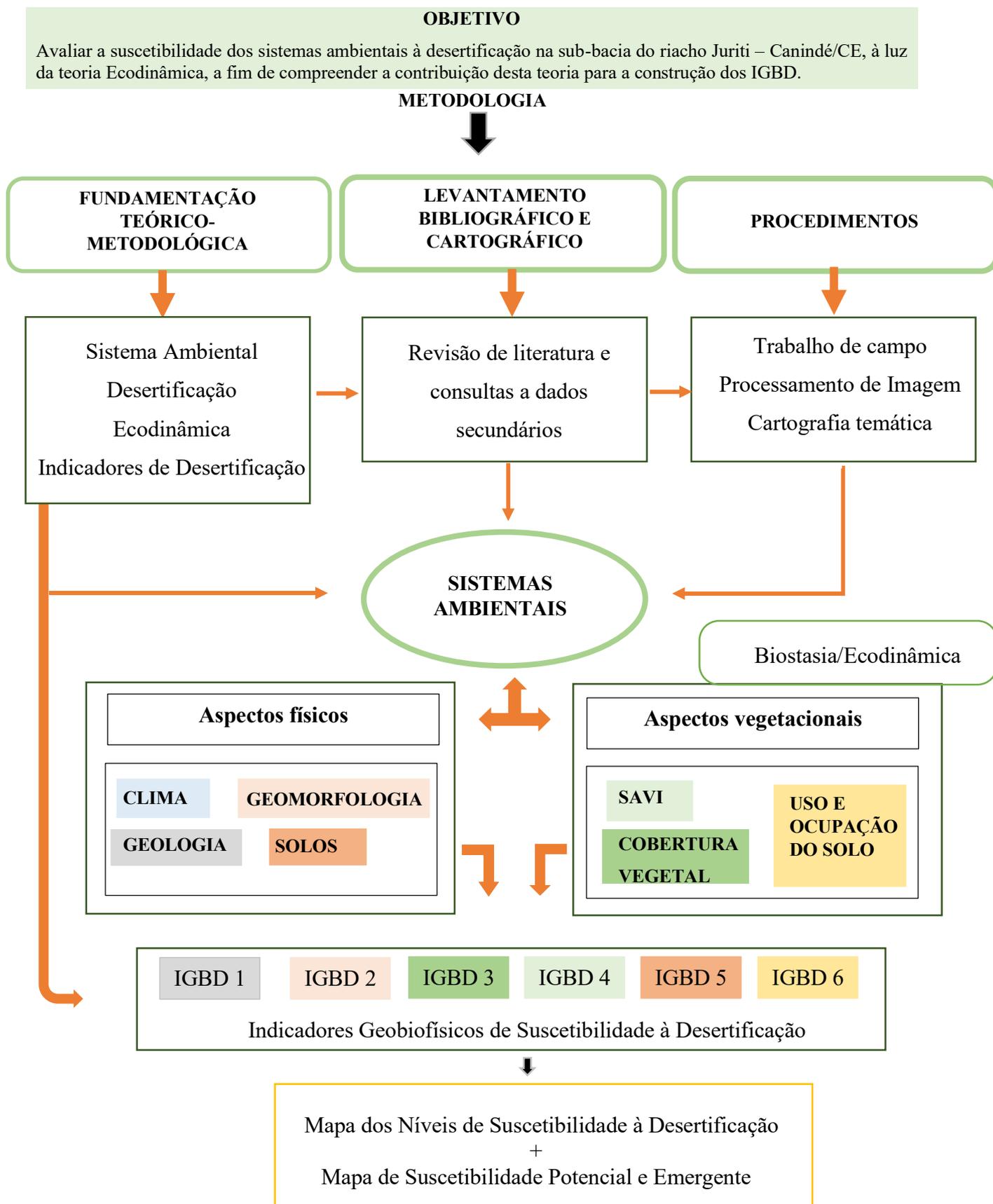
Mapa	Software	Metodologia
Hipsometria	Qgis 3.22.6	O material cartográfico foi elaborado com os dados Copernicus Digital Surface Model (DSM) do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus (CSCDA), que consiste em uma cobertura global com resolução espacial de 30m. Esses dados são fornecidos pelos satélites Sentinel. Essa instância e outras informações especiais estão disponíveis no Catálogo Online PANDA.
Clima	Qgis 3.22.6	O material cartográfico foi elaborado com os dados disponibilizados pela FUCEME. As informações foram obtidas da base de dados referente aos postos pluviométricos apresentados na tabela. Os anos-padrões foram estabelecidos a partir da metodologia utilizada por Galvani e Luchiari (2012), que determina os limites numéricos daqueles anos considerados com regime pluviométrico normal, seco ou úmido, além daqueles considerados super úmidos e super secos. A proposta baseia-se na determinação do Box plot.
Solos	Qgis 3.22.6	O material cartográfico foi elaborado com dados obtidos a partir da base de dados do INDE referente ao Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe na escala 1:250.000, do Projeto RADAMBRASIL. A legenda da classe de solo seguiu a sua primeira, segunda e terceira ordem conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.
Geologia	Qgis 3.22.6	O material cartográfico foi elaborado com os dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). As informações foram obtidas da base de dados referente à carta Quixadá – SB – 24 – V – B na escala 1:250.000. Outras informações espaciais estão disponíveis em GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DAS FOLHAS QUIXADÁ (SB.24-V- B-IV) E ITAPIÚNA (SB.24-X-A-IV).

Mapa	Software	Metodologia
Geomorfologia	Qgis 3.22.6	A compartimentação foi elaborada com base nos dados de altimetria Copernicus Digital Surface Model do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus; dados geológicos (CPRM, 2017); geomorfológicos (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000; BÉTARD; CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2012; MAIA; BEZERRA, 2014). As cores das unidades seguiram a literatura indicada. É apresentado um esboço tectônico-estratigráfico que compõe e envolve a sub-bacia
SAVI	Qgis 3.22.6	Foram usadas imagens do satélite CBERS 04A, da faixa do vermelho e do infravermelho próximo do WPM, para a elaboração deste material cartográfico. Uma vez obtido as imagens necessárias, pode-se utilizar softwares de processamento de imagens para calcular o SAVI. O resultado é uma imagem que varia de -1 a +1, sendo que valores mais altos indicam uma vegetação mais saudável.
Cobertura Vegetal	Qgis 3.22.6	A partir dos dados SAVI foi utilizada a ferramenta calculadora raster em software de processamento de imagens, Qgis versão 3.22.6, para calcular a proporção da cobertura vegetal por célula na imagem. Esses valores foram gerados a partir do valor mínimo e máximo do SAVI. Posteriormente, esses dados foram convertidos em uma proporção, utilizando uma escala de 0 a 1.
Uso e Cobertura do Solo	Qgis 3.22.6	O material cartográfico foi elaborado com dados extraídos do processamento de imagens adquiridas pela câmera WPM do satélite CBERS 4 ^a . A técnica utilizada foi classificação orientada por objetos. Tais imagens são referentes ao mês de setembro de 2021; com resolução espacial de 2m. Quanto a classificação de uso e cobertura foram consultados Figueiredo (1986; 1997); Ipece (2021); Moro (2015). Além de consultas no MAPBIOMAS.

Mapa	Software	Metodologia
Sistemas Ambientais	Qgis 3.22.6	<p>O material cartográfico foi elaborado com o conjunto de dados levantados pelos materiais cartográficos antecedentes, seguindo a metodologia de Souza (2000), que integra as informações geológicas, geomorfológicas, climatológicas, pedológicas e de uso e cobertura do objeto de estudo, sendo a geomorfologia componente de delimitação dos Sistemas Ambientais. O estado de conservação da vegetação expresso pelas variações fisionômicas como coloca Moro (2015), foram fundamentais, também, para a delimitação dos sistemas. As denominações foram vinculadas aos topônimos.</p>
Suscetibilidade à Desertificação	Qgis 3.22.6	<p>O material cartográfico referente foi elaborado a partir de inferência geográfica, em que foi usado o procedimento de Álgebra de Mapa no QGIS. A cada indicador foi dado um peso, resultando em regiões semelhantes que compõem o mapa síntese de nível de suscetibilidade.</p> <p>Os dados de entrada para a elaboração foram: Mapa de Geologia, Mapa de Solos, Mapa de Uso e Cobertura, Mapa SAVI, Mapa de Cobertura Vegetal e Mapa de Declividade.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora.

3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI

A sub-bacia do riacho Juriti está inserida no município de Canindé, localizado no estado do Ceará, na região Nordeste do país. Canindé possui uma área de aproximadamente 1.468,5 km² e está situado a uma altitude média de 200 metros acima do nível do mar com coordenadas geográficas aproximadas de 4°21'34.2"S e 39°18'24.7"W. Sua população, de acordo com estimativas do IBGE para 2021, é de cerca de 77.715 habitantes. O município faz parte da microrregião de Canindé e da mesorregião do Norte Cearense. É limitado pelos municípios de Caridade, Madalena, Itatira, Paramoti, Itapiúna, Choró, Ibaretama e Boa Viagem, sendo cortado pelas rodovias BR-020 e CE-257.

A região apresenta clima tropical semiárido, com temperaturas médias anuais em torno de 27°C e precipitação média anual em torno de 756 mm, concentrada principalmente nos meses de fevereiro a maio (FUNCEME, 2023). A vegetação predominante é a caatinga, caracterizada por arbustos e árvores de pequeno porte, adaptados às condições de escassez de água. O município é atravessado pelo Rio Curu, um importante curso d'água da região, fazendo parte da bacia hidrográfica do Curu. Além disso, conta com várias barragens para armazenamento de água, como a Barragem do Jenipapo e a Barragem do São Matheus. A topografia da região é caracterizada por relevo suave ondulado.

A economia, baseada principalmente na agricultura, tem por destaque o cultivo de feijão, milho e criação de animais, mas os empregos formais concentram-se na administração pública e comércio (IPECE, 2017). Além disso, a cidade também é conhecida por ser um importante polo religioso, atraindo milhares de fiéis para a celebração de São Francisco das Chagas, padroeiro da cidade. O turismo religioso é, portanto, uma importante fonte de renda para o município.

A sub-bacia do riacho Juriti foi escolhida como recorte espacial da pesquisa devido a variedade de paisagens apesar da sua pequena extensão, que corresponde a 204 km². Isso permite aplicar a metodologia escolhida e verificar se o processo de desertificação pode ser analisado a partir da aplicação dos indicadores em cada sistema ambiental com ênfase naquelas relacionadas à vegetação a fim de atingir o objetivo proposto.

3.1 Geologia e Geomorfologia

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Província Borborema que, por sua vez, é vista como um mosaico de diversos domínios tectônicos que hoje formam o nordeste brasileiro (GUIMARAES; BRITO-NEVES, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2009). A Província Borborema é uma unidade geotectônica integrante do Gondwana Ocidental e é subdividida em domínios estruturais, pois tem como uma das principais características estruturais uma extensa rede de cisalhamento transcorrente com magmatismo associado (CPRM, 2017). O estado do Ceará está na intersecção entre cinco domínios tectônicos: Domínio Médio Coreaú, Domínio Orós-Jaguaribe, Domínio Rio Piranhas-Seridó, Domínio da Zona Transversal e Domínio Ceará Central.

Dentro de uma hierarquia taxonômica, o Ceará está inserido na Província Borborema que se subdivide em três subprovíncias: setentrional, transversal e meridional. O estado encontra-se na Subprovíncia Setentrional, que por sua vez está dividida em: Médio Coreaú, Ceará Central, Jaguaribeano e Rio Grande do Norte. O Domínio Ceará Central é o mais extenso do Ceará, abrangendo a maior porção de área do estado. Tem como limites a zona de cisalhamento Sobra-Pedro II a norte e a zona de cisalhamento Senador Pompeu a sul (PINÉO *et al.*, 2020). A sub-bacia do riacho Juriti está localizada nesse domínio.

O Domínio Ceará Central contém um núcleo arqueano parcialmente preservado representado pelo Complexo Cruzeta. Associado a essas litologias arqueanas encontram-se sequências supracrustais proterozóica do Complexo Canindé representado por rochas orto e paraderivadas, migmatitos, rochas metamáficas e metaultramáficas; e as rochas supracrustais neoproterozoicas do Complexo Ceará representadas em geral por xistos, quartzitos, mármore e rochas metavulcânicas (CPRM, 2021).

A sub-bacia abrange em parte o Complexo Canindé em duas unidades litoestatigráficas: a Unidade Canindé do Ceará Central – Paraderivada, e o Complexo Canindé do Ceará Central – Ortognaisses. E parte do Complexo Ceará, na sub-bacia, é representada pela Unidade Independência.

A Unidade Canindé Paraderivada é predominantemente constituída por um conjunto de rochas paramigmatíticas orientadas pelo arranjo das estruturas planares N-S, NW-SE e E-W, e na faixa NE-SW situada entre as zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Orós (CPRM, 2017). Nessa unidade, os afloramentos rochosos ocorrem em áreas de relevo bastante arrasado como apresenta a figura abaixo.

Figura 6 – Afloramento rochoso na Unidade Canindé



Fonte: acervo da autora, 2023.

Partindo da caracterização litológica migmatitos desta unidade constitui as rochas formadas por diatexitos de coloração creme e granulação média e grossa, com frequentes restitos de fusão compostos por biotita e granada de coloração escura. Há metatexitos estromáticos e dobrados formados por mesossomas de composição biotita gnaisse (CPRM, 2017).

Quanto aos leucossomas, estes são quartzo-feldspático e possuem granada. Além destes minerais, têm-se quartzo, plagioclásio e cristais de opacos (magnetita, rutilo, grafita e provavelmente sulfetos) associados à biotita. Ocorrem ainda como fases acessórias apatita, epidoto, zircão e monazita. A figura apresenta um migmatito de estrutura dobrada.

Figura 7 – Diatexito, cujo leucossoma apresenta vários tipos de sítio dilatacionais



Fonte: acervo da autora, 2023.

Os ortognaisses do Complexo Canindé são compostos por biotita hornblenda plagioclásio gnaisse, com granulação fina a média e cor cinza claro. Sua foliação de baixo ângulo é marcada pela orientação dos minerais máficos e bandamento gnáissico

preservado, no caso da área de estudo também foi observado veios de leucossomas, cujos minerais félsicos estão alongados e orientados na direção N-S, como se pode observar na figura. Segundo CPRM (2017), nesta unidade os minerais essenciais constituintes são: plagioclásio (32% a 63%), feldspato potássico (4%), quartzo (14% a 35%), anfibólio (10% a 20%) e biotita (5% a 20%).

Figura 8 – Ortognaisse com leucossoma bem desenvolvido



Fonte: acervo da autora

A Unidade Independência entra em contato com a Unidade Canindé de forma tectônica, por zona de cisalhamento transcorrente. Ela apresenta litotipos que compreende quartzitos, de granulação fina a média, intercalados a sillimanita-granada-biotita xisto, que gradam para granada paragnaises, com níveis de migmatização, onde os leucossomas estão dispostos paralelo à foliação (CPRM, 2017). A figura apresenta um paragnaisse migmatizado.

Figura 9 – Paragnaisse migmatizado



Fonte: acervo da autora, 2023.

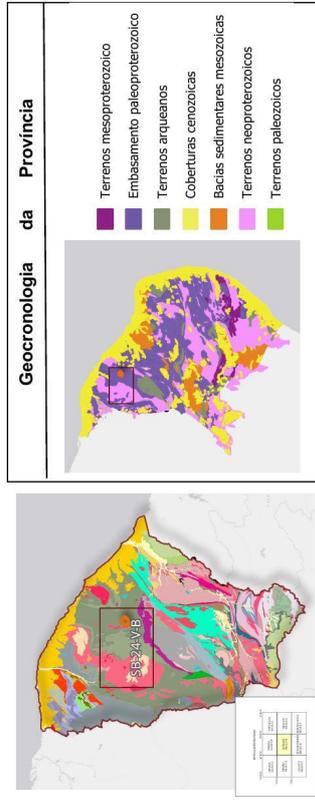
ERA	LITOESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA
Neoproterozóico	Unidade Independência	predomínio de xistos aluminosos e paragneisses
Paleoproterozóico	Unidade Canindé do Ceará Central - Paraderivadas	paragneisses e xistos, localmente migmatizados, além de níveis ricos de em grafita e manganês
Paleoproterozóico	Complexo Canindé do Ceará Central - Ortogneisses	ortogneisses de composição granodiorítica e granítica

Convenções Geológicas

- Dique
- Falha ou fratura
- Falha ou zona de cisalhamento
- Sinforme
- Zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Lineamentos estruturais

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Bacia do Riacho Juriti
- Rio e riachos
- Massa de água



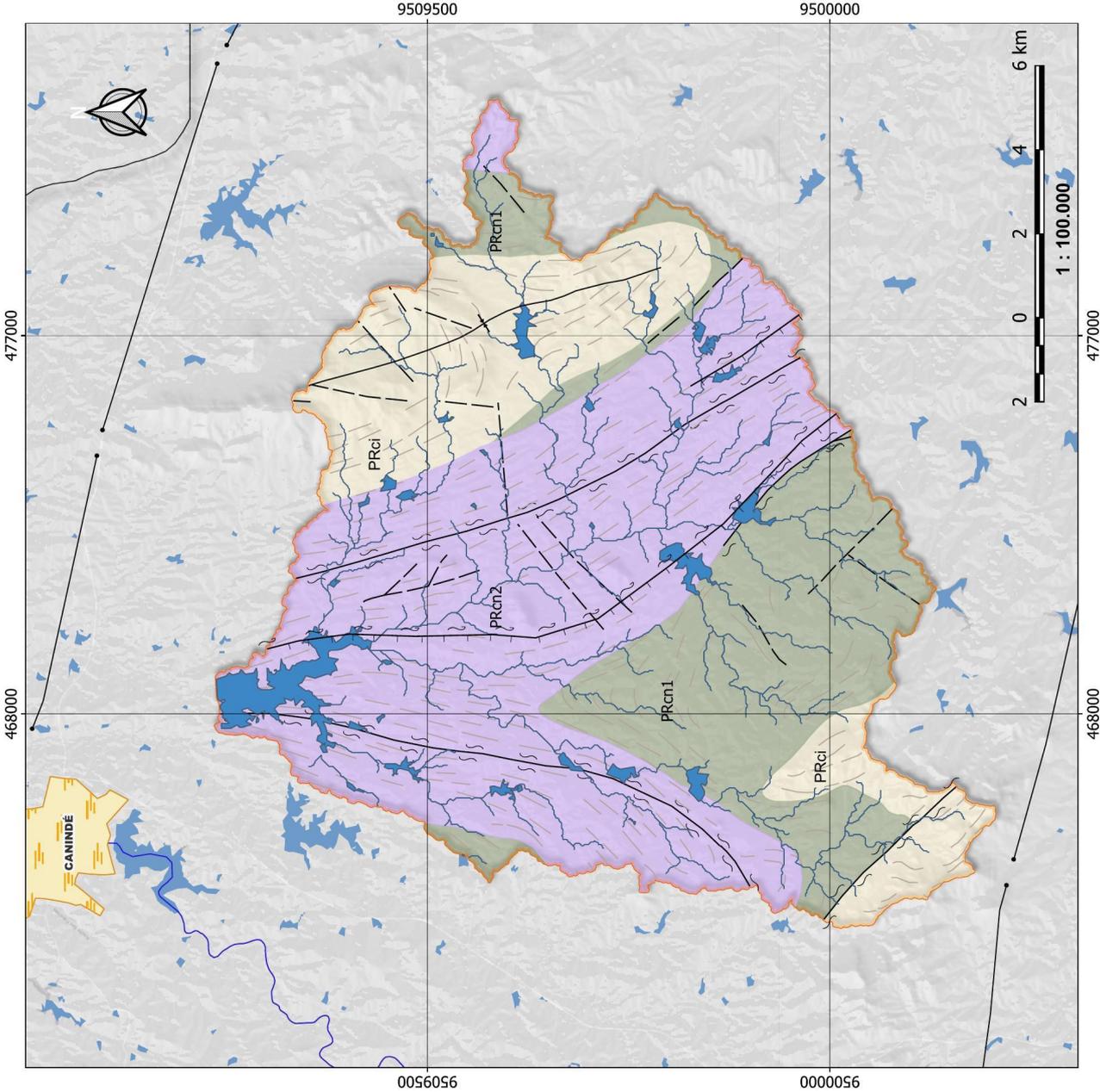
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 2 - GEOLOGIA

Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Viádia Pinto Vidal de Oliveira



Sistema de Referência de Coordenadas
Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
Datum: SIRGAS 2000
Data: 07/2022
Fonte: CPRM, IBGE
Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

O material cartográfico foi elaborado com os dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). As informações foram obtidas da base de dados referente à carta Quixadá - SB - 24 - V - B na escala 1:250.000. Outras informações espaciais estão disponíveis em GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DAS FOLHAS QUIXADÁ (SB.24-V-B-IV) E ITAPIUNA (SB.24-X-A-IV) Escala 1:100.000 do CPRM e no Mapa Geológico do Estado do Ceará.

O relevo apresenta uma variedade de tipos de formas, que são dinâmicas em função das combinações e interferências dos componentes que mantêm inter-relações para troca de matéria e energia. De acordo com Ross (2020), essas relações são geradoras da história natural do relevo, responsáveis pela evolução e, portanto, pela gênese do modelado da superfície terrestre. O modelo de evolução geomorfológica do Nordeste brasileiro parte de uma perspectiva peloclimática, onde é descrito como resultado de sucessivos ciclos de soerguimentos, em que nessa perspectiva, são interpretadas as formas de relevo como resíduos dos processos de pediplanação conduzida por climas secos (COSTA *et al.*, 2020).

Maia e Bezerra (2014) incorporam dados estruturais para subsidiar na interpretação e classificação das formas, e apontam que os diversos compartimentos geomorfológicos da porção setentrional do Nordeste brasileiro são derivados de eventos tectônicos, como o Ciclo Brasileiro. Para esses autores, os compartimentos são impressos no relevo na forma de maciços residuais alinhados segundo zonas de cisalhamento e lineamentos estruturais orientando a drenagem e a dissecação.

Por sua vez, Souza (1988) agrupou os vários tipos de relevo do Ceará em três unidades morfoestruturais: Domínios dos Depósitos Sedimentares Cenozoicos, Domínio das bacias Sedimentares Paleomesozoicas, e Domínio dos escudos e dos maciços cristalinos. Essas unidades foram identificadas com base nos domínios estruturais, considerando os elementos lito-geotectônicos. Essa perspectiva dialoga com Tricart (1977) que traz as implicações dos fatores geológicos estruturais nos aspectos geomorfológicos, atentando para dois elementos fundamentais: a tectônica e a litologia.

A tectônica envolve, simultaneamente, as deformações recentes gerando fontes de instabilidade morfodinâmica e as disposições adquiridas em tempo remoto são responsáveis pelo arranjo espacial do relevo e contribuem para subdivisões no conjunto regional. A litologia deve ser examinada em função de suas propriedades face às manifestações da dinâmica externa. Elas se traduzem nos tipos de alterações superficiais e nas relações entre a morfogênese e a pedogênese. (SOUZA, p.74, 1988).

Costa *et al.* (2020) apresenta uma proposta de classificação de mapeamento geomorfológico, baseado na interpretação voltada aos processos modeladores da superfície terrestre, em consonância com os aspectos morfoestruturais, onde o modelado é produto da interação dos processos morfoestruturais e morfoclimáticos. Nesta pesquisa os aspectos estruturais foram relevantes, assim como os processos de denudação climática, para a classificação do relevo, que seguiu a metodologia proposta por Costa *et al.* (2020). As classes de relevo e morfoestrutura seguiram a seguinte disposição:

Unidades de Macroescala (denundacionais, agradacionais), que engloba as Unidades de Mesoescala; as Unidades de Mesoescala ou Unidades Geomorfológicas; e por fim, a Unidade de Microescala, representada pelas Formas de Abrangência Espacial Restrita (FAER).

A Planície Fluvial é uma forma agradacional característica da acumulação aluvial/coluvial do Quaternário decorrentes da ação fluvial. A deposição de sedimentos ao longo das calhas fluviais, de acordo com Souza (1988), constitui-as áreas de diferenciação regional nos sertões semiáridos devido as melhores condições de solo e disponibilidade hídrica. São áreas paralelas aos coletores de drenagem, onde à montante possuem larguras inexpressivas, e à medida que se encaminha para à jusante a faixa de deposição é ampliada, devido a diminuição do gradiente fluvial (SOUZA, 2007).

Figura 10 – Unidade Geomorfológica da Planície Fluvial: Planície do riacho Juriti.



Fonte: acervo da autora, 2023.

A Superfície Sertaneja Aplainada é a maior unidade geomorfológica da sub-bacia e é caracterizada por ser uma área rebaixada, onde os processos de aplainamento são mais nítidos. De acordo com Costa *et al.* (2020), o metamorfismo associado a essas áreas condiciona os processos de erosão diferencial, onde está área sofre um processo de aplainamento, destacando na paisagem compartimentos residuais como os Maciços. Nessa unidade, os processos de dissecação são ativados pelas correntes fluviais, que segundo Maia e Bezerra (2014) seguem direções tectônicas.

Devido ao clima semiárido da região, a área é submetida durante a maior parte do ano às deficiências hídricas, no período chuvoso, ocorrem, portanto, altas taxas de erosão que limitam a formação de solos profundos, resultando na exposição da rocha matriz na superfície.

Figura 11 - Unidade Geomorfológica
Superfície Sertaneja Aplainada



Fonte: acervo da autora, 2023.

A Superfície Sertaneja Dissecada apresenta morfologia que se expõe através de pedimentos que se inclinam desde a base dos maciços residuais (SOUZA, 2000). Os níveis altimétricos variam entre 250 m e 400 m, onde há uma morfologia mais dissecada, com a formação de interflúvios mais incisivos e colinosos (SOUZA, 1988). O intemperismo que prevalece nesse ambiente é a desagregação mecânica por meio dos processos da termoclastia e da esfoliação esferoidal (POPP, 2010). A ação gravitacional atua de forma mais intensa em razão da declividade do terreno, carreando os sedimentos para o nível de base local.

Figura 12 – Unidade Geomorfológica
Superfície Sertaneja Dissecada



Fonte: acervo da autora, 2023.

Os Pequenos Maciços Cristalinos aqui classificados são Maciços Sertanejos que não ultrapassam a cota de 600 m de altimetria com alinhamento preferencial N-S orientado por uma zona de cisalhamento. Esse fato corrobora com as observações de Trindade *et al.* (2008) e Almeida e Ulbrich (2003) que observaram as zonas de

cisalhamento como condutos por onde circula fluidos, estando associadas à localização dos corpos graníticos nos mapas geológicos. A erosão diferencial também influenciou essa feição, resultando em elevações que possuem rochas mais resistentes às ações do intemperismo e da erosão (Costa *et al.*, 2020). De acordo com Souza (1988), de suas bases partem as superfícies pedimentadas que coalescem para formar o nível de base regional. Quanto a morfodinâmica, a morfogênese mecânica prevalece.

Figura 13 – Unidade Geomorfológica Pequeno Maciço Cristalino



Fonte: acervo da autora, 2023.

As Formas de Abrangência Espacial Restrita foram classificadas em três unidades: Boqueirão, Inselbergues e Crista Estrutural. De acordo com Costa et al. (2020), o boqueirão é uma forma geomorfológica esculpida a partir da ação da drenagem sobre formas cristalinas. No mapa pode-se observar a formação de um boqueirão entre duas unidades denominadas pequenos maciços cristalinos.

Os boqueirões são formas fluviais erosivas em que a drenagem corta os materiais cristalinos sobre forma de cristas, sendo assim, feições erosivas de pouca extensão, porém relevantes no entendimento da evolução da região, considerando-se que a dissecação atinge o nível de base de erosão representado pela Superfície Sertaneja, o que certamente contribuiu para sua evolução. (COSTA *et al.*, p.201, 2020).

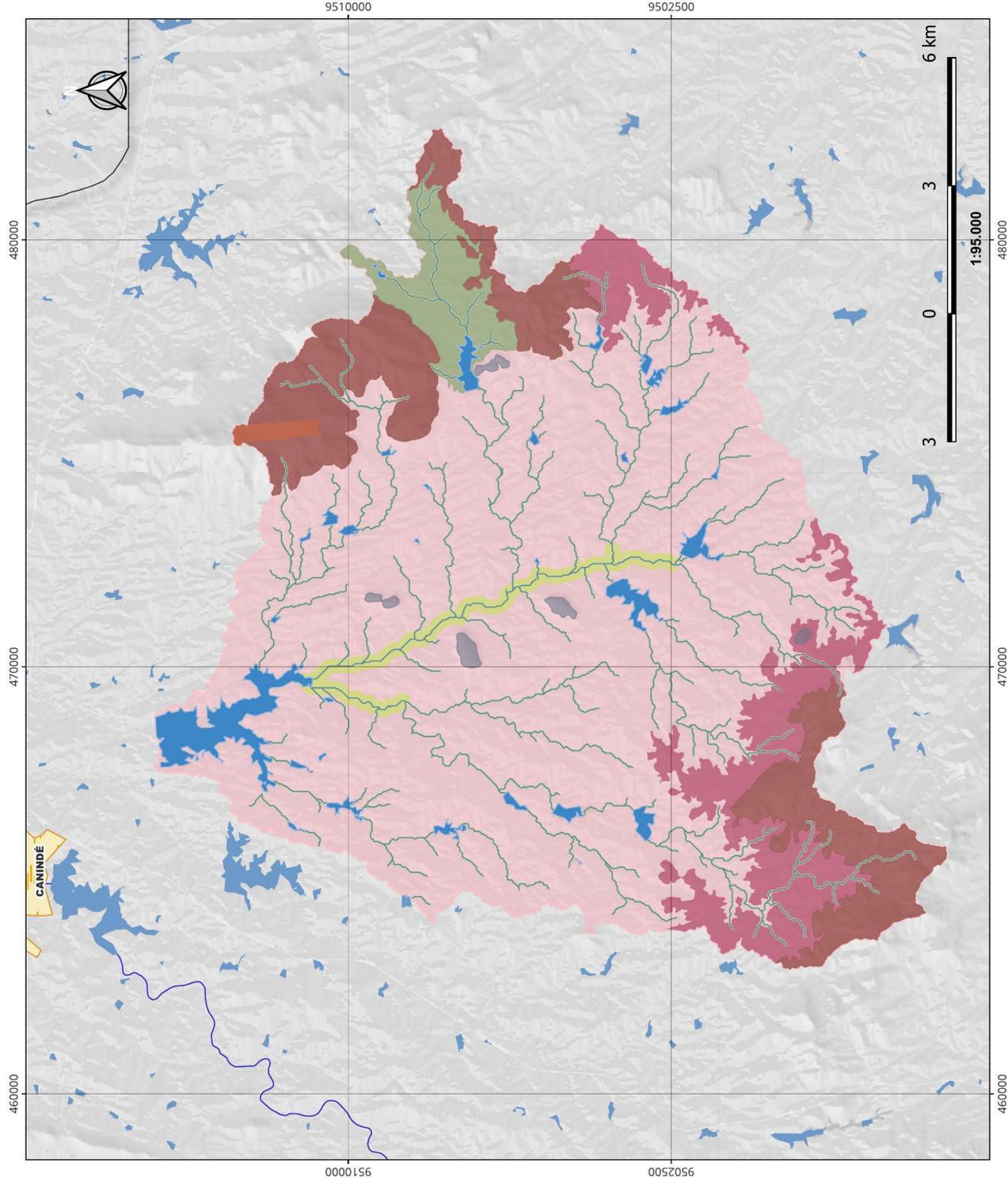
Os Inselbergues são formas derivadas de intrusões graníticas dispersas ao longo da superfície sertaneja (SOUZA, 1988). Devido a maior resistência à erosão permanecem como sobressaltos topográficos na paisagem, que se diferenciam das superfícies aplainadas, resistindo aos processos de dissecação comandados pelas correntes fluviais (COSTA *et al.* 2020).

As cristas, aqui denominadas como unidade geomorfológica cristas cristalinas, se expõem isoladas e alongadas ao lado dos pequenos maciços conforme Souza (1988). Apesar de ser uma feição de pouca expressão espacial, é importante para a interpretação da evolução do modelado na região. A exumação desses corpos cristalinos é definida pela relação entre a morfoestrutura e os elementos morfoclimáticos responsáveis pelos processos denudacionais.

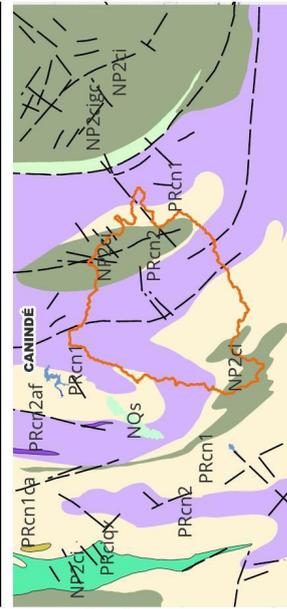
Figura 14 – Unidade Geomorfológica Boqueirão, Inserlbergues e Crista Cristalina



Fonte: acervo da autora, 2023.



Classificação das formas	
Unidade Geomorfológica	
Formas Agradacionais	Planície Fluvial
Formas Degradacionais	Superfície Sertaneja Aplainada
	Superfície Sertaneja Dissecada
	Maciço Cristalino
Formas de Abrangência Espacial Restrita	Boqueirão
	Inselbergues
	Crista Estrutural
Unidades decorrentes da acumulação de sedimentos aluviais, resultante da ação da rede de drenagem.	Áreas mais baixas, onde os processos de aplainamento são mais evidentes.
Na base dos maciços residuais. Há uma morfologia mais dissecada.	Região associada as estruturas tectônicas locais, cujo relevo dissecado é esculpido por apóses intempéricas/erosivas.
Formas fluviais erosivas em que a drenagem corta materiais cristalinos.	Núcleos graníticos exumados que se distinguem da topografia aplainada.
Formas estruturais que acabam por influenciar a não efetivação da erosão regressiva.	





UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 3 - GEOMORFOLOGIA
 Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Vládia Pinto Vidal de Oliveira

Sistema de Referência de Coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
 Datum: SIRGAS 2000
 Data: 07/2022
 Fonte: CPRM, CSCDA, BÉTARD E CLAUDINO-SALES, COSTA et al.
 Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

A compartimentação foi elaborada com base nos dados de altimetria Copernicus Digital Surface Model do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus; dados geológicos (CPRM, 2017); geomorfológicos (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000; BÉTARD; CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2012; MAIA; BEZERRA, 2014). As cores das unidades seguiram a literatura indicada. É apresentado um esboço tectônico-estratigráfico que compõe e envolve a sub-bacia.

3.2 Clima

Entender as condições climáticas de uma região é importante à medida que o clima reflete nos processos de formação geomorfológica, no regime dos rios, na disponibilidade dos recursos hídricos, na formação dos solos e na distribuição da cobertura vegetal. De acordo com Sales, Oliveira e Dantas (2010), o clima semiárido ocupa a maior parte do território cearense, abrangendo cerca de 92,1% da região. Esse clima é classificado por Mendonça & Danni-Oliveira (2007) como tropical-equatorial com sete meses secos, caracterizado por altas temperaturas, baixa variação térmica e chuvas escassas e concentradas.

Para compreender a dinâmica climática e a influência dos sistemas atmosféricos nas chuvas da área estudada foram utilizados dados dos postos pluviométrico de Aratuba, Caridade, Esperança, São Domingos e Itatira, localizados conforme o Mapa 4. A elevada temperatura média e a sua pouca variação estão relacionadas com a posição geográfica da região, situada em baixas latitudes, onde há maior incidência de radiação solar, o que eleva as temperaturas médias (NIMER, 1972; ZANELLA, 2007).

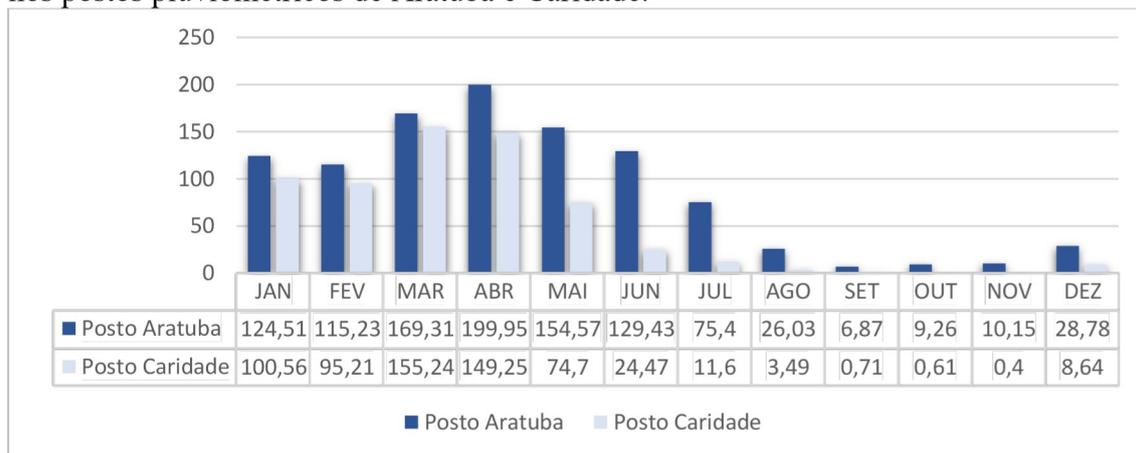
Na zona climática em que se encontra o tipo semiárido, a amplitude térmica anual é baixa. No entanto, Zanella (2007) relatam uma acentuada variação térmica diária nesse clima, especialmente nos sertões, que se manifesta na paisagem por meio de processos como termoclastia e esfoliação esferoidal em rochas expostas. O regime de chuvas do clima semiárido no Nordeste brasileiro varia de 500mm a 750mm por ano e não segue o padrão pluviométrico típico das zonas climáticas Equatorial, apesar de estar localizado próximo ao Equador.

A distribuição de chuvas na sub-bacia não se diferencia da distribuição de chuvas do restante do estado do Ceará, modificando apenas o volume precipitado, concentrando seu período chuvoso entre os meses de fevereiro a maio conforme a Figura 15. Durante esta época, o principal sistema responsável pelas chuvas é a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Outros sistemas secundários também atuam, como, por exemplo, os vórtices ciclônicos de alto nível. Após este período, a ZCIT se desloca até o hemisfério norte e as chuvas sobre a região cessam totalmente, iniciando-se um longo período de estiagem (QUADRO *et al.* 1997).

A ZCIT é uma banda de nuvens convectivas resultante da confluência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste. Na região da linha do Equador, o ar quente e

úmido se eleva, formando uma zona de baixa pressão, por conseguinte, formações de nuvens do tipo cumulonimbus, atividades convectivas e precipitações (BARBIERI, 2014), principalmente na porção setentrional do Nordeste Brasileiro.

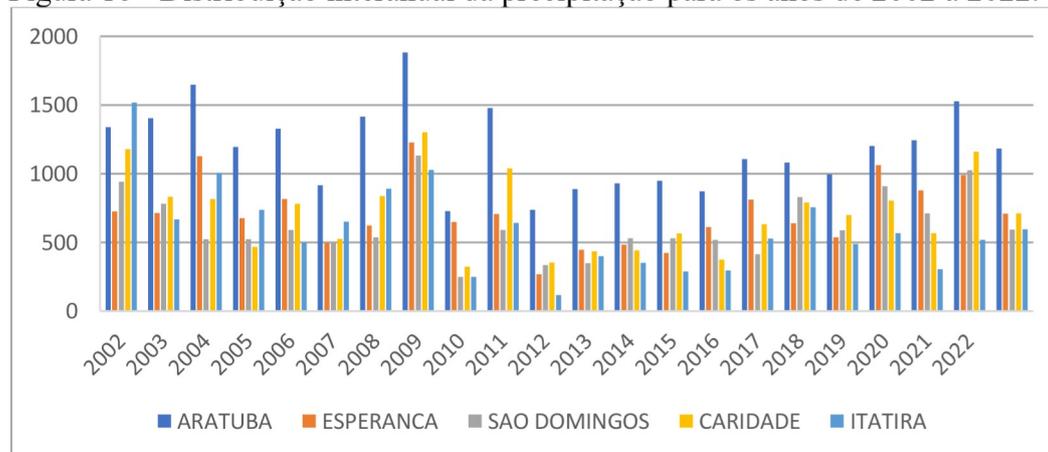
Figura 15 – Distribuição de chuvas ao longo dos meses em uma série de 20 anos registrada nos postos pluviométricos de Aratuba e Caridade.



Fonte: FUNCEME, 2023.

Como pode-se observar as variações intra-anuais ocorrem em razão da ZCIT, que entre os meses de fevereiro a maio estaciona na latitude 4°S. Após esse intervalo, desloca-se para norte, iniciando o período de estiagem no norte do Nordeste. Da mesma forma, há variações interanuais. Na Figura 16 pode-se observar como as chuvas no semiárido são irregulares ao analisar a precipitação anual para os cinco postos analisados de 2002 a 2022. Os valores para o posto Aratuba são mais elevados devido a maior altitude. Embora, mais elevado, a irregularidade pluviométrica é marcante, refletida na variação dos dados de todos os postos.

Figura 16 - Distribuição interanual da precipitação para os anos de 2002 a 2022.



Fonte: FUNCEME, 2023.

A variação sazonal das chuvas que ocorrem no Nordeste pode ser compreendida ao se destacar os seguintes fatores: localização geográfica, relevo, natureza da superfície e sistemas de pressão atmosférica e sistemas atmosféricos gerados por eles (KAYANO; ANDREOLI, 2009). A localização geográfica afeta as temperaturas, portanto, a insolação e evapotranspiração. Nesse clima, a insolação é de 2.800 horas e as altas temperaturas afetam todo o ciclo hidrológico, contribuindo para altas taxas de evaporação que, no semiárido, são de aproximadamente 2.000mm (OLIVEIRA, 2006).

O relevo tanto é influenciado como influencia o clima de uma região. No Mapa 4, observa-se que as precipitações são mais elevadas a leste da bacia. Isso ocorre em razão dos níveis mais elevados de altitude do Maciço. À medida que há uma diminuição das precipitações registradas há uma diminuição das altitudes observadas.

O regime pluviométrico pode ser compreendido a partir da tipologia climática. Com base nas aplicações de Galvani e Luchiari (2012) é possível classificar os anos como super úmidos, úmidos, normais, medianos, secos e super secos usando a técnica *Box plot*, que é uma metodologia de descrição de dados. Para realizar essa análise, primeiro hierarquiza-se os anos de acordo com a quantidade de chuvas, separando os anos com valores extremos de chuva máxima e mínima.

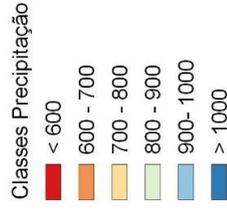
Nesta pesquisa o range foi de 5%, portanto, os 5% dos menores valores e 5% dos maiores valores da série foram considerados “outliers”, sendo classificados como super seco e super úmido, respectivamente. Divide-se a série em Quartis, que representam cada 25% dos dados. Os anos entre os valores super secos e o primeiro quartil são considerados secos, e os anos entre o terceiro quartil e super úmidos são considerados úmidos. O Mapa 4 apresenta uma tabela de tipologia climática que apresenta os dados de precipitação para os anos de 2002 a 2022 dos postos pluviométricos já citados. Os valores que se encontrarem entre o valor mínimo e o 1º quartil serão considerados meses secos; entre o 1º quartil e 3º quartil serão denominados de meses normais; e aqueles entre o 3º quartil e valor máximo serão denominados de anos úmidos (GALVANI, LUCHIARI, 2012).

No Nordeste semiárido, onde predominam relevos aplainados, como na área da bacia, há um conjunto de características que podem ser elencadas para leitura da paisagem e compreensão da morfodinâmica atuante: são regiões constituídas por materiais cristalinos impermeáveis, os solos contêm pouca capacidade de retenção de água, os rios são intermitentes e a vegetação de caatinga, dependendo do seu estado de conservação, pouco atenua a erosão (BARRETO, 2018).

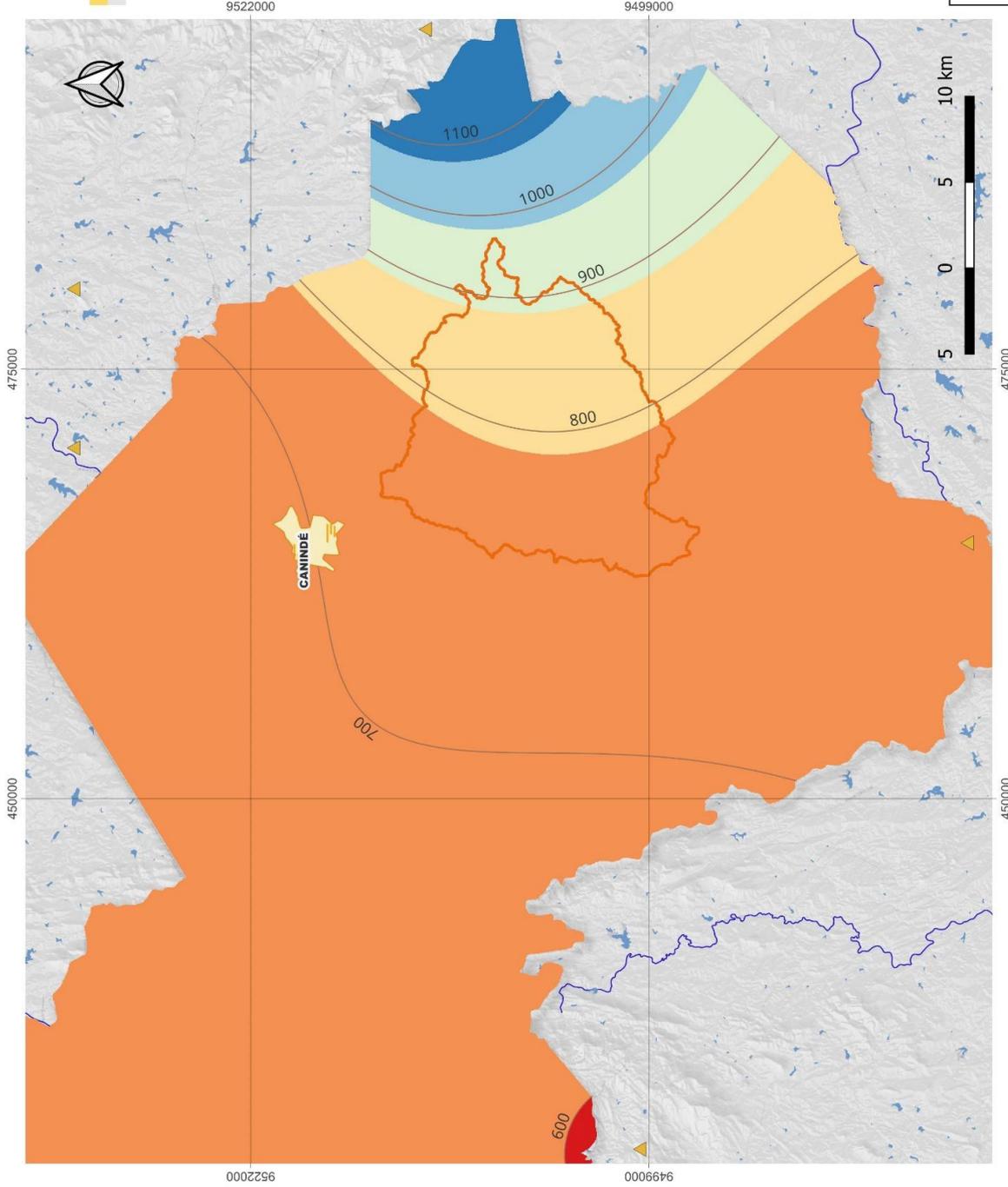
SELEÇÃO DE ANOS-PADRÃO A PARTIR DA TÉCNICA BOX PLOT

Ano	Postos				
	Super Seco	Seco	Normal	Úmido	Super Úmido
2002	ARATUBA 1339,10	ESPERANÇA 726,00	SÃO DOMINGOS 941,40	CARIDADE 1178,40	ITATIRA 1518,90
2003	1403,70	713,00	782,00	831,70	667,20
2004	1647,50	1126,70	524,00	816,80	1007,00
2005	1196*	676,4*	524,00	466,80	736,80
2006	1326,40	816,40	590,50	782,20	501,30
2007	915,70	497,40	495,00	525,20	652,00
2008	1415,70	623,80	538,00*	837,90	890,90
2009	1881,70	1227,00	1131,00	1300,80	1027,10
2010	729,00	650,00	249,00	322,60	249,40
2011	1479,10	708,00	590,00	1039,00	641,10
2012	737,00	268,00	335,25	353,70	117,60
2013	889,00	447,80	348,00	434,30	399,60
2014	930,00	483,00	529,41	441,80	351,00
2015	949,00	424,00	529,96	566,00	288,50
2016	871,50	611,40	518,52	375,40	295,60
2017	1105,50	810,80	414,00	633,40	528,30*
2018	1081,20	639,80	829,66	790,80	755,00
2019	995,80	536,20	588,00	699,80*	488,00
2020	1201,40	1062,30	908,72	804,40	567,00
2021	1243,00	880,00	711,57	567,30	304,00
2022	1526,00	990,00	1026,13	1161,10	519,00

Legenda



Convenções Cartográficas



O material cartográfico foi elaborado com os dados disponibilizados pela FUCEME. As informações foram obtidas da base de dados referente aos postos pluviométricos apresentados na tabela. Os anos-padrões foram estabelecidos a partir da metodologia utilizada por Galvani e Luchiani (2005), que determina os limites numéricos daqueles anos considerados com regime pluviométrico normal, seco ou úmido, além daqueles considerados super úmidos e super secos. A proposta baseia-se na determinação do Box plot.

Sistema de Referência de Coordenadas
Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
Datum: SIRGAS 2000
Data: 02/2023
Fonte: FUNCEME, IBGE
Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa





UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 4 - CLIMA

Autora: Elen Karine Forte Pessoa: Prof.ª Dr.ª Vládia Pinto Vidal de Oliveira

3.3 Solos e Uso e Cobertura

Os solos no Ceará, de acordo com Souza (2000), têm uma distribuição estreitamente relacionada a compartimentação geomorfológica, embora seja síntese dos seus fatores de formação: material de origem, tempo, clima, relevo e organismos vivos. Por ser um corpo natural componente da paisagem, o solo é fundamental para o entendimento, a avaliação e a orientação dos usos feitos sobre ela. Sua evolução, também conhecida como evolução pedogenética, é visível nas propriedades físico-químicas das principais classes de solos presentes nas áreas secas dos sertões e das serras. Esses solos são caracterizados por serem rasos a moderadamente rasos, possuem muitas pedras e afloramentos rochosos, embora apresentem boas condições de fertilidade natural devido ao material originado de rochas cristalinas e às condições peloclimática (OLIVEIRA, 2006; SILVA, 2018).

A partir de levantamentos bibliográficos e cartográficos foram delimitadas as seguintes unidades de solos: Neossolos Litólicos Estrófico, Luvisolo Crômico Órtico e Planossolo Háptico Eutrófico. Cabe trazer para o texto a unidade Argissolos Vermelho-Amarelo Eutrófico, que foi identificada em campo. Não foi mapeada por falta de dados para sua espacialização.

Os Neossolos são descritos como pouco evoluídos, constituído por material mineral com menos de 20 cm de espessura. Os Neossolos Litólicos são solos rasos, constituídos de minerais primários, não hidromórficos e prevalecem em ambientes de relevo movimentado (LEPSCH, 2010).

Figura 17 – Neossolo Litólico Eutrófico



Fonte: acervo da autora, 2023.

Apresentam contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, com horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros (por exemplo, cascalheira de quartzo) com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), além disso, admitem um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018).

Os Luvisolos são tipos de solos compostos por material mineral que apresentam um horizonte B textural com alta atividade de argila e alta saturação por bases em grande parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, localizado logo abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto o A chernozêmico) ou sob o horizonte E (EMBRAPA, 2018). Os Luvisolos Crômicos são encontrados em áreas com topografia suave ondulada a ondulada, geralmente nos Sertões parcialmente dissecados, podendo estar associados com outros solos como Neossolos Litólicos e Argissolos em algumas áreas de maciços residuais (BRITO, 2018). São pouco profundos a rasos, possuem boa drenagem, textura arenosa ou média no horizonte A e média a argilosa no horizonte Bt (JACOMINE, 2009).

Figura 18 – Luvisolos Crômicos Órticos



Fonte: acervo da autora, 2023.

Os Planossolos são solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B plânico (EMBRAPA, 2018). Os Planossolos consistem em uma composição de três horizontes: A, com textura arenosa; E, que pode ou não estar presente; e Bt, com textura média a argilosa e estrutura colunar, podendo apresentar fendilhamentos. Esse tipo de solo é caracterizado por apresentar um acúmulo de sódio entre 6% e 15%, e é conhecido como solódico devido a esse aspecto. Os Planossolos são solos com pouca profundidade, com cores variando entre bruno claro acinzentado e

amarelo claro, além de serem mal drenados. A alta concentração de sódio ocorre devido à falta de infiltração de água, concentrando-se na superfície devido à topografia aplainada, e com as altas temperaturas, ocorre a evaporação da água, abandonando os sais (LEPSCH, 2010).

De acordo com a Embrapa (2018), os Planossolos Háplicos eutróficos apresentam uma saturação por bases igual ou superior a 50% na maior parte do horizonte B, incluindo os horizontes BA ou BE, a uma profundidade de até 150 cm a partir da superfície.

Figura 19 – Planossolo Háplico Eutrófico



Fonte: acervo da autora, 2023.

De acordo com Silva (2018), os Argissolos são solos formados por material mineral e possuem um horizonte B textural localizado imediatamente abaixo dos horizontes A ou E. Esse horizonte B apresenta argila de baixa atividade ou argila de alta atividade combinada com baixa saturação por bases ou com características alumínicas na maior parte do horizonte B. Além disso, os Argissolos atendem aos seguintes requisitos: a) se houver um horizonte plíntico, ele não atende aos critérios para Plintossolos; b) se houver um horizonte glei, ele não atende aos critérios para Gleissolos (EMBRAPA, 2018).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são encontrados em áreas de relevo mais acidentado, como os pés de serra nos sertões, além de ocorrerem em áreas restritas de maciços residuais. São solos pouco profundos, com boa a moderada drenagem, textura variando entre média e argilosa, e com presença de cascalhos (SILVA, 2018). Além disso, possuem alto potencial para uso agrícola devido à sua fertilidade natural, que é influenciada pela mineralogia dos materiais cristalinos dos granitóides, gnaisses, ortognaisses e micaxistos que os embasam. Entretanto, esse tipo de solo apresenta limitações devido à sua própria estrutura, como a heterogeneidade na distribuição da

argila em seus horizontes e a declividade do relevo, o que resulta em pouca infiltração de água e aumenta o risco de erosão dos horizontes superficiais, especialmente durante períodos de chuva concentrada (LEPSCH, 2010).

Figura 20 – Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico

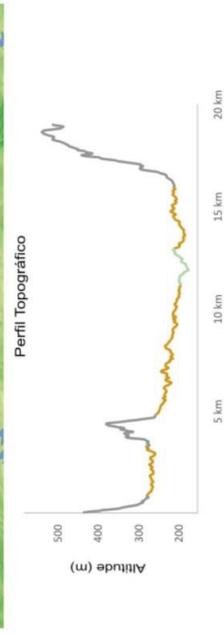
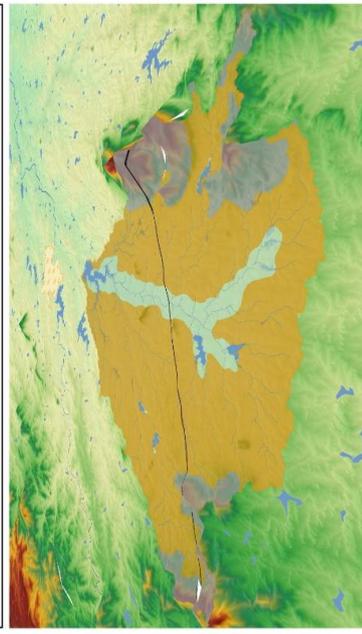


Fonte: acervo da autora, 2023.

De acordo com Bertrand (1968), a vegetação é um elemento de síntese do meio que reflete as interações entre os componentes da paisagem. A importância da vegetação na análise integrada está relacionada à proteção das vertentes contra a erosão, à preservação da fauna, aos processos pedogenéticos e à avaliação da potencialidade e fragilidades da paisagem, contribuindo para definir os usos de conservação e degradação (SOUZA; OLIVEIRA, 2011; BARRETO, 2018).

Caatinga é a vegetação predominante na área de estudo, e está associada às características geoambientais da região, sendo influenciada pela estrutura geológica, natureza do substrato e fatores paleoclimáticos (FERNANDES; BEZERRA, 1990). Devido aos mecanismos de xeromorfismo, durante a estação seca e chuvosa, a fisionomia da vegetação se modifica. A concentração de chuvas e a baixa capacidade de acúmulo de água dos solos são fatores significativos para os aspectos fisionômicos e fisiológicos das espécies desse bioma. Nesta pesquisa optamos por fazer uma classificação de uso e cobertura com base nos estados de conservação da vegetação da sub-bacia. Para isso tomou-se por base os estudos de Moro *et al.* (2015), que classifica como caatinga arbórea, caatinga arbustiva aberta e caatinga arbustiva densa, variações no porte e no estado de conservação de uma unidade fitoecológica única, possuidora de flora coesa que ele optou por chamar de caatinga do cristalino.

LEGENDA	
 RLe	Neossolo Litólico Eutrófico
 TCo	Luvissoilo Crômico Órtico
 SXe	Planossolo Háptico Eutrófico
Convenções Cartográficas	
 Massa de água	 Sede Municipal
 Rios e riachos	 Sub-bacia do Riacho Juriti

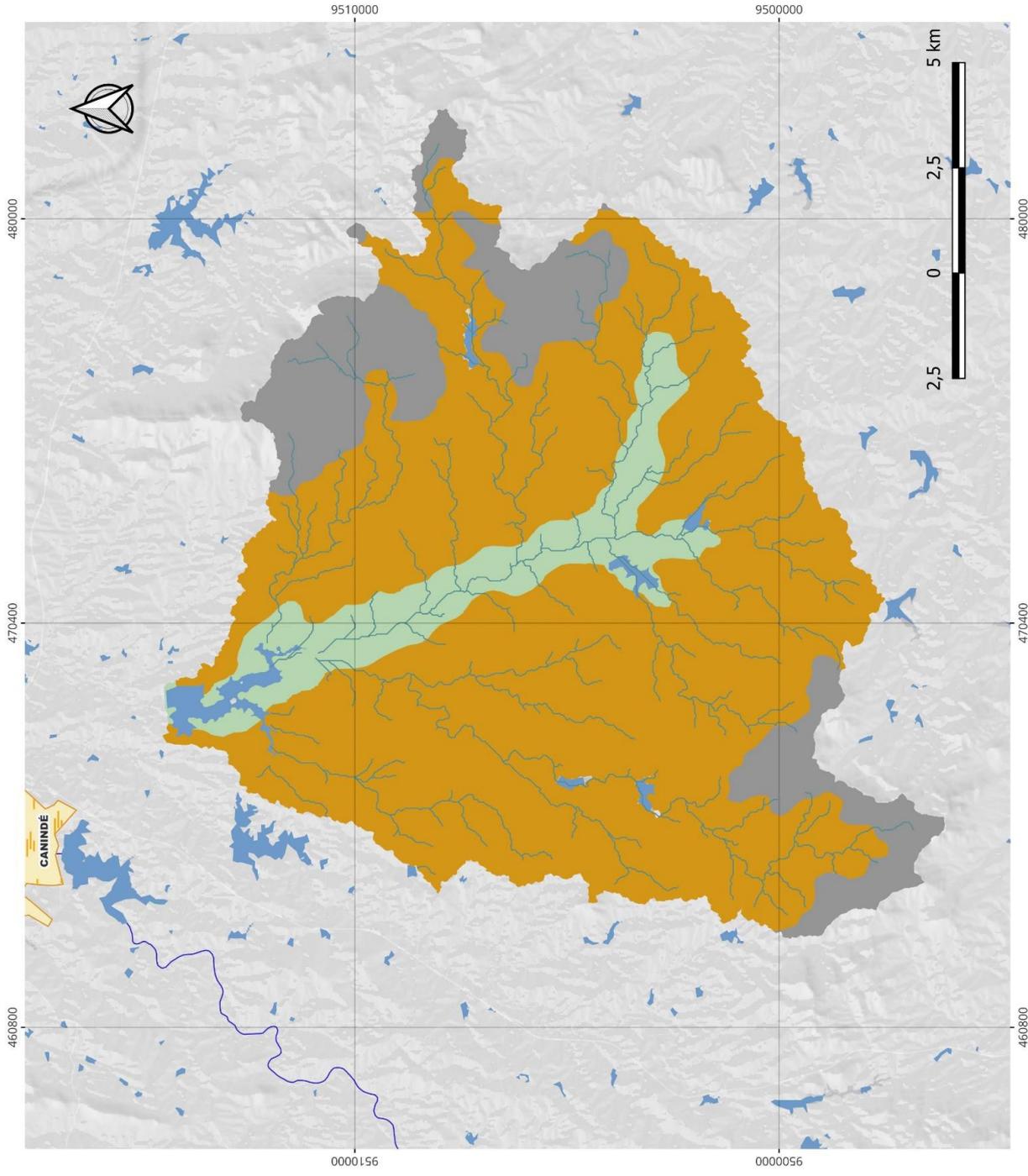




UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDE-CE

MAPA 5 - SOLOS
 Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Vládia Pinto Vidal de Oliveira



Sistema de Referência de Coordenadas
 Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
 Datum: SIRGAS 2000
 Data: 07/2022
 Fonte: IBGE, EMBRAPA, INDE
 Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

O material cartográfico foi elaborado com os dados disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e IBGE. Tais dados foram acessados e abtidos a partir da base de dados do INDE referente ao Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe na escala 1:250.000. A legenda da classe de solo seguiu a sua primeira, segunda e terceira ordem conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Embora o sistema de Figueiredo (1997) seja bastante didático, há alguns pontos problemáticos do ponto de vista cartográfico. O mais pungente é a subdivisão da vegetação de caatinga da Depressão Sertaneja (áreas cristalinas) em várias subunidades (caatinga arbórea, caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa e mata seca). Até que ponto é útil cartograficamente dividir a caatinga de áreas cristalinas em unidades fitoecológicas diferentes é algo a ser analisado com cuidado. De fato, encontramos no Ceará diferentes portes fisionômicos nas caatingas do cristalino, variando de porte arbóreo ao arbustivo e de densidade aberta até fechada, mas todas essas áreas possuem uma flora típica das superfícies cristalinas que as une entre si. (MORO et al., 2015, p. 715).

Portanto, as diferentes fitofisionomias identificadas serviram para produção do mapa de uso e cobertura, por considerar a presença, ausência, densidade e porte da vegetação importantes indicadores do estado do meio físico e das mudanças ocorridas no espaço, sendo resultado dos processos histórico-biogeográficos, que atuam conjuntamente com o clima, os tipos de solo e o relevo. Na bacia foram identificados os seguintes usos: Caatinga Degradada, Caatinga Moderadamente Conservada, Caatinga Conservada, Uso Antrópico, Mata Ciliar e Área Não Vegetada.

A Caatinga Degradada abrange 16% da sub-bacia, ocupando áreas voltadas à pecuária. Como a radiância observada em um dado ponto é resultado de uma mistura espectral originada pela resposta de cada um destes componentes contidos no pixel (ex. vegetação + solo + sombra), o estado de degradação dessa área foi tomado a partir do cálculo da proporção diferentes alvos que tinham da resposta espectral distintas. As células nessa área tinham proporções parecidas de área vegetada e área não vegetada. Portanto, são áreas de Caatinga arbustiva aberta. Tais locais sobrepõem os seguintes aspectos: Luvissole Crômico Órtico, a Superfície Sertaneja Aplainada e precipitações média de 800mm anuais.

A Caatinga Moderadamente Conservada é a de maior abrangência na sub-bacia, ocupando 38% da sua área. Ela se distribui por toda a área, intercalando ambientes com cobertura vegetal mais densa e menos densa. As células segmentadas na imagem apresentaram uma maior resposta espectral da vegetação, com pixels verde, representando uma maior densidade de área vegetada. Portanto, pode-se considerar Caatinga arbustiva densa com área voltadas para lavoura permanente e temporária pontualmente. Os Luvissole Crômicos Órticos e Argissolo Vermelho-Amarelo foram identificados em campo, e conforme o Mapa, Neossolos Litólicos e Planossolos Háplicos estão sotopostos a ela na Planície Fluvial, nos Pequenos Maciços e nas Superfícies Sertanejas.

A Caatinga Conservada ocupa 29% da área, concentrando-se sobre os Pequenos Maciços Cristalinos. Embora de maior concentração nas altitudes mais elevadas da bacia, a Caatinga Arbórea densa e a Caatinga Arbustiva Densa estão presentes em diferentes pontos na sub-bacia. Em campo foi observado área de caatinga conservada, mesmo na Superfície Sertaneja Aplainada e Dissecada. Os Argissolos Vermelho-Amarelo, Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos são as classes presentes na área ocupada pela Caatinga Conservada.

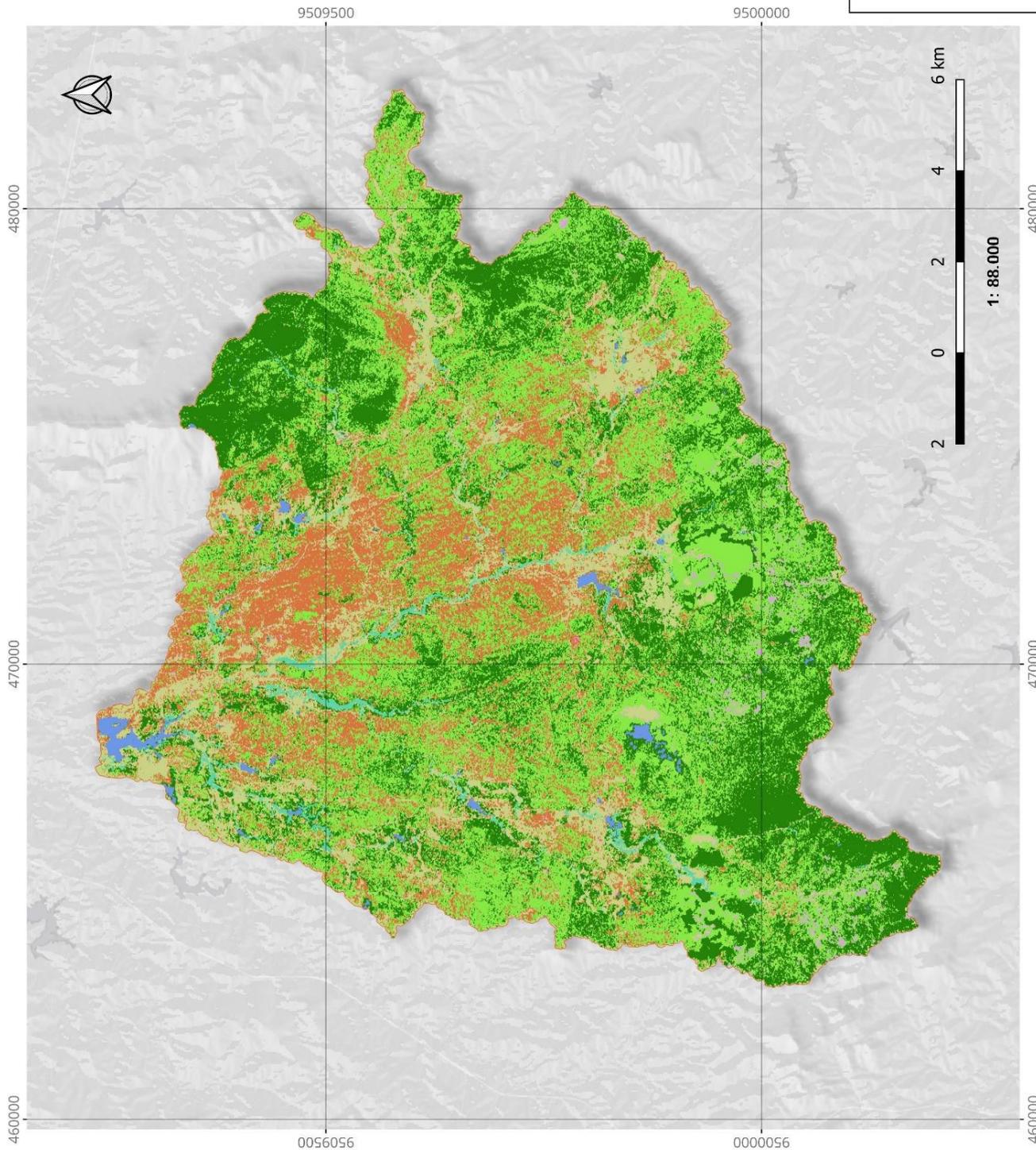
O Uso Antrópico são áreas modificadas pelas atividades antrópicas, e foram classificadas a partir da resposta espectral dos objetos. Nessa classe, as células apresentaram maior intensidade de reflectância. Dessa forma, foram aí aglutinadas áreas de pousio, áreas plantadas, áreas de pasto e áreas construídas. Essa classe ocupa 14% da sub-bacia, acompanhado as áreas de Caatinga Degradada, indicando que as variações na fisionomia da unidade fitoecológica Caatinga do Cristalino podem estar relacionadas a maior ou menor intensidade de interferência antrópica na área.

Figura 21 – Área de Uso Antrópico (pasto)



Fonte: acervo da autora, 2023.

A Mata Ciliar ocupa uma pequena área, porém é interessante classificá-la devido sua importância e conservação em alguns pontos na sub-bacia. Já a classe Não Vegetada se refere às áreas de solo exposto e afloramento rochoso, por isso ocupam apenas 1% da área da sub-bacia. Nas células que constituem essa classe, a radiância dos alvos era semelhante e de alta intensidade de reflectância. Os afloramentos rochosos captados se concentram no Sudoeste da bacia, na Superfície Sertaneja Dissecada.



Uso e Cobertura do Solo



- Caatinga Degradada
- Caatinga Moderadamente Conservada
- Caatinga Conservada
- Mata Ciliar
- Uso Antrópico
- Área Não Vegetada

Caatinga Degradada	3313,00	16%
Caatinga Moderadamente Conservada	7795,00	38%
Caatinga Conservada	5863,00	29%
Uso Antrópico	2734,00	14%
Mata Ciliar	347,00	2%
Área Não Vegetada	191,00	1%

Legenda

- Caatinga Degradada
- Caatinga Moderadamente Conservada
- Caatinga Conservada
- Uso Antrópico
- Mata Ciliar
- Área Não Vegetada

Convenções Cartográficas

- Sub-bacia do riacho Juruti
- Massa de água



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-
BACIA DO RIACHO JURUTI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 6 - USO E COBERTURA DO SOLO
Autora: Elen Karine Forte Pessoa: Prof.ª Dr.ª Viádia Pinto Vidal de
Oliveira

Sistema de Referência de Coordenadas
Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
Datum: SIRGAS 2000
Data: 02/2023
Fonte: IBGE, MAPBIOMAS, INPE, IPECE
Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

O material cartográfico foi elaborado com dados extraídos do processamento de imagens adquiridas pela câmera WPM do satélite CBERS 4A. A técnica utilizada foi classificação orientada por objetos. Tais imagens são referentes ao mês de setembro de 2021, com resolução espacial de 2 metros. Quanto a classificação dos tipos de uso e cobertura foram consultados Figueiredo (1986; 1997); Ipece (2021); e Moro (2015). Além de consultas na plataforma MAPBIOMAS.

4 SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO JURITI

Os geossistemas são sistemas complexos compostos por componentes bióticos e abióticos que interagem entre si para formar unidades espaciais delimitadas. Essas entidades organizadas na superfície terrestre são estruturadas e funcionam de maneira dinâmica, evolutiva e interdependente. Em termos geográficos, o geossistema é uma unidade representativa do sistema ambiental, pois foca nos elementos dentro do contexto espacial para compreender a complexidade do sistema. Tricart (1977) entende o sistema como uma unidade dinâmica composta por um conjunto de fenômenos que se inter-relacionam por fluxos.

Entende-se por sistema ambiental entidades compostas por elementos físicos e biológicos que interagem entre si e se organizam em unidades espaciais delimitáveis. Essas unidades são caracterizadas pela sua complexidade e pela dinâmica das interações entre seus componentes. Esses sistemas são elementos fundamentais da superfície terrestre, que possuem grande relevância para a compreensão dos processos ecológicos e dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

Ao estudar um sistema ambiental é importante distinguir as fontes de energia e matéria que influenciam sua dinâmica e as redes de circulação que servem como canais de fluxos. Os componentes físicos que compõem um geossistema incluem vegetação, solos, relevo, água, entre outros. Além deste, há os componentes socioculturais, fundamentais para análise e entendimento da paisagem. Nesta pesquisa, os sistemas são considerados fenômenos naturais que possuem espacialidade e representam uma organização composta, funcionando por meio de fluxos de energia e matéria. Eles são unidades paisagísticas delimitadas por combinações de massa e energia que criam heterogeneidade interna e se expressam em mosaicos paisagísticos.

Para uma análise e delimitação adequadas dos Sistemas Ambientais, é essencial integrar aspectos físicos e sociais de forma transparente, especificando os atributos utilizados para essa delimitação. Caso contrário, a análise pode ser prejudicada, mascarando os resultados e tornando a metodologia inviável. Dessa forma, foram utilizadas como atributos de constituição dos sistemas ambientais os aspectos geomorfológicos, os solos, e o uso e cobertura. No Mapa 7 pode-se observar a distribuição dos sistemas na sub-bacia do riacho Juriti e a área ocupada referente a cada um.

4.1 Sertão do Salão

Esse sistema ocupa uma área de 109,16 km², o que equivale a 54% da área total da bacia. Sendo o sistema de maior abrangência espacial é constituído, em grande parte, por ortognaisses de coloração cinza e granulação média do Complexo Canindé do Ceará Central, do Paleoproterozoico. Três falha ou zonas de cisalhamento cortam esse sistema, marcando bem sua geometria.

O relevo predominante é a Superfície Sertaneja Aplainada com superfícies rebaixadas em razão dos processos denudacionais, produto da ação do intemperismo e erosão. A topografia é plana a suave ondulada, com altimetria entre 100m e 150m. Os solos encontrados são Luvisolos Crômicos Órtico e Planossolos Háplico, que são encontrados nas estreitas planícies ribeirinhas. A vegetação classificada como Caatinga Arbustiva Aberta, que é um indicador de Caatinga degradada, ocupa quase a totalidade do sistema. Esse fato caracteriza um sistema de solos pouco espessos e vegetação esparsada, que associados ao tipo de uso e cobertura mais comum intensificam a instabilidade do meio frente aos processos morfogenéticos. Cabe mencionar que a pecuária extensiva está impressa na paisagem do sistema por meio de áreas extensas de campo aberto com pouca vegetação.

Figura 22 – Sistema ambiental do Sertão do Salão



Fonte: acervo da autora, 2023.

As atividades agrícolas e pecuárias geralmente apresentam uma alta taxa de supressão da vegetação primária ou secundária, o que pode agravar a erosão do solo. Esse efeito é ainda mais evidente na atividade pecuária, já que a remoção da cobertura vegetal é quase total para uma extensa área, deixando os horizontes superficiais do solo mais expostos e vulneráveis à erosão.

4.2 Sertão do Caraubal

Esse sistema ocupa uma área de 57,67 km², isto é, 27% do total da sub-bacia. A Unidade Canindé do Ceará Central Paraderivados com paragnaisses e migmatitos é predominante no sistema. A partir da descrição litológica dos migmatitos presentes nesta região realizada pela CPRM (2017), podemos afirmar que se trata de rochas compostas por diatexitos, de cor creme e granulação média a grossa.

A Superfície Sertaneja Aplainada e a Superfície Sertaneja Dissecada constituem o relevo do sistema. Portanto, a topografia vai de suave ondulada a ondulada, com altimetrias que variam de 100m a 250m. A classe de solo que corresponde a essa área é a de Luvisolo Crômico Órtico. Pôde-se observar em campo, uma vegetação densa composta por espécies do estrato arbustivo e arbóreo. A Caatinga Moderadamente Conservada é predominante, intercalando com pontos de vegetação mais conservada.

Figura 23 – Sistema Sertão do Caraubal



Fonte: acervo da autora, 2023.

Se comparada a topografia deste sistema com a anterior, esta é mais irregular, o que dificulta algumas atividades agrícolas. Na imagem pode-se observar as nuances topográficas do terreno. Embora irregular, a superfície do terreno não é limitante às atividades agrícolas, pois foi observado áreas voltadas à plantação de culturas temporárias e permanentes.

4.3 Serra da Gameleira

O sistema ambiental Serra da Gameleira ocupa 11,25 km², o que corresponde a 6% da área total da sub-bacia. A Unidade Independência abrange todo o sistema,

apresentando predominância de xistos e paragnaisses. As formas de relevo presentes são as elevações residuais, o Pequeno Maciço Cristalino e a Crista Cristalina, que possuem um controle estrutural bastante acentuado pelo material geológico, e pela orientação ser a mesma da Zona de Cisalhamento Dextral, de orientação N-S. Como resultado, tem-se uma topografia que pode ser classificada como forte ondulada, com altimetria variando de 400m a 600m.

No sistema em questão, os solos mais comuns são os Neossolos Litólicos Eutrófico, que apresentam afloramentos rochosos, o que os torna altamente férteis, porém, sua pedregosidade e relevo acidentado limitam seu uso. A Caatinga arbórea densa e a caatinga arbustiva densa compõem-no, sendo a primeira mais abundante do que a segunda. As duas apresentam estado de conservação de moderado a alto.

Figura 24 – Sistema Serra da Gameleira



Fonte: acervo da autora, 2023.

A aldeia indígena Gameleira do povo Kanindé e assentamentos federais ocupam toda a área do sistema. Há diferentes tipos de uso da terra, como agroflorestas, quintais produtivos, áreas voltadas a plantação tradicional e a criação de animais. Contudo, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012) determina que nas propriedades rurais da Caatinga deve ser mantida uma reserva legal de no mínimo 20% da área total da propriedade. O que de modo geral é aplicada aos imóveis rurais que são concedidos o título de posse pelo Estado.

4.4 Cristas da Lagoa Verde

Esse sistema tem uma área de 9,78 km², isto é, cerca de 5% da área total da bacia. Está sobre a Unidade Independência, que é caracterizada por rochas do

embasamento cristalino pré-cambriano, incluindo gnaisses, migmatitos e granitoides, com predominância de paragnaisses migmatizados ou pouco migmatizados. As elevações topográficas residuais são representadas por cristas cristalinas que se sobressaem na paisagem. A altitude varia entre 250m e 450m, caracterizando uma topografia ondulada a fortemente ondulada.

Foi encontrado Argissolo Vermelho-Amarelo no sopé das cristas que compõe esse sistema e a presença de Neossolos Litólicos nas suas vertentes. A Caatinga Arbórea Densa e a Caatinga Arbustiva Densa ocupam uma extensão significativa do sistema, sendo a segunda a predominante. Há uma área de manejo florestal no sistema e todo ele faz parte de um assentamento rural. Devido a menor elevação e menor precipitação média, há predominância da Caatinga arbustiva em detrimento da Arbórea, pode ser explicada, visto que há pouca intervenção antrópica na área expressa na paisagem.

Figura 25 – Sistema Crista da Lagoa Verde



Fonte: Acervo da autora, 2023.

4.5 Sertão do Logradouro

O Sertão do Logradouro é um sistema que se estende por 7,9 km², ocupando 3,8% da área total da bacia. As Unidade Independência, Unidade Canindé do Ceará Central e Complexo Canindé do Ceará Central compõem esse sistema, sendo a primeira a predominante. Portanto, ortognaisses, paragnaisses, xistos e migmatitos podem ser encontrados. A ação fluvial atuou e atua de tal que modelou um relevo em forma de vale entre duas cristas, o que Maia e Bezerra (2014) denominam boqueirão. Dessa forma, as altitudes variam de 220m a 280m no sentido montante em direção a jusante. Os solos predominantes são Luvisolos Crômicos, bem como podem ser encontrados Planossolos Háplicos.

Figura 26 – Sistema Sertão do Logradouro

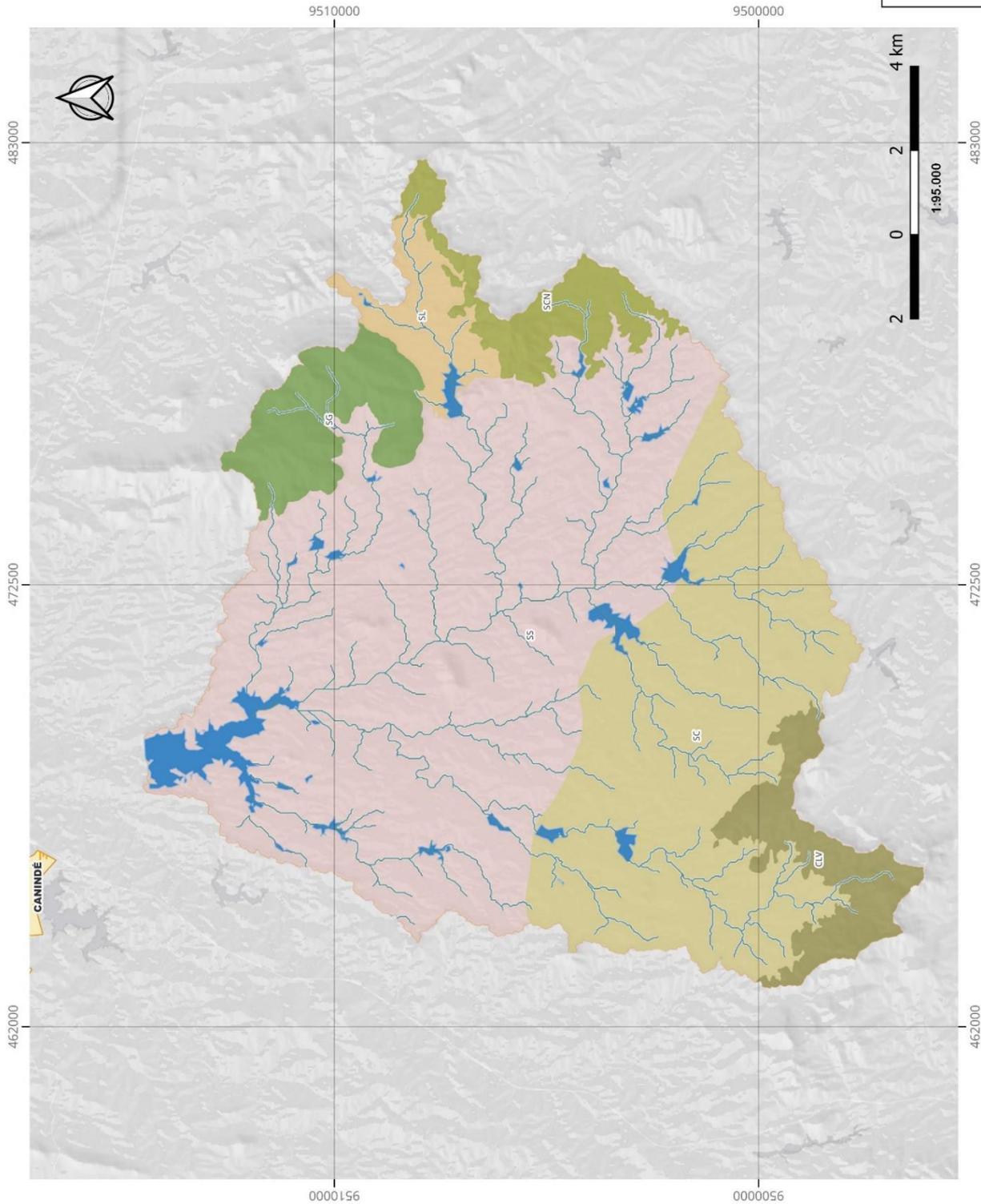


Fonte: acervo da autora, 2023.

O sistema está encaixado entre duas elevações residuais e tem a morfologia de um vale. A vegetação apresenta-se esparsa, para dar lugar às áreas de cultivo e de pasto, que ocupam uma parcela significativa da sua área total.

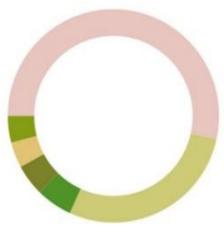
4.6 Serra Cacimba Nova

Este sistema ambiental abrange 8,24 km² da bacia. A Unidade Independência e a Unidade Canindé do Ceará Central ocupam proporções semelhantes. As formas de relevo são as cristas do Pequeno Maciço Cristalino e parte da Superfície Sertaneja Dissecada. A altitude varia de 250m e 400m. Os Neossolos Litólicos e Luvisolos Háplicos são as classes da área, mas também há manchas de Argissolos Vermelho-Amarelo. A Vegetação encontra-se conservada, principalmente nas áreas mais elevadas e no sopé dos maciços. Há um predomínio da Caatinga Arbórea Densa, que ocupa as maiores altitudes, a da Superfície Sertaneja há Caatinga Arbustiva Densa e Aberta. Foi verificada áreas de pastos e de plantação em regiões de contato com o Sistema Sertão do Salão. O maior percentual de vegetação arbórea pode estar vinculado as maiores médias pluviométricas, se comparada com a fisionomia da vegetação na Crista da Lagoa Verde, que apresenta elevações semelhantes.



O material cartográfico foi elaborado com o conjunto de dados levantados pelos materiais cartográficos antecedentes, seguindo a metodologia de Souza (2000), que integra as informações geológicas, geomorfológicas, climatológicas, pedológicas e de uso e cobertura do objeto de estudo, sendo a geomorfologia componente de delimitação dos Sistemas Ambientais. O estado de conservação da vegetação expresso pelas variações fisionômicas como coloca Moro (2015), foram fundamentais, também, para a delimitação dos sistemas. As denominações foram vinculadas aos topônimos.
 * A Planície Ribeirinha foi mencionada e espacializada no mapa, porém não foi considerada objeto de estudo

Sistema de Referência de Coordenadas
 Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
 Datum: SIRGAS 2000
 Data: 07/2022
 Fonte: CPRM, IBGE
 Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa



Sistema Ambiental	Área em km ²	Porcentagem
Sertão do Salão	109,16	54%
Sertão do Carmaubal	57,67	27%
Serra da Gameleira	11,25	6%
Cristas da Lagoa Verde	9,78	5%
Sertão do Logradouro	7,9	3,80%
Serra Cacimba Nova	8,24	4%

- CLV Cristas da Lagoa Verde
- PR* Planície Ribeirinha
- SCN Serra Cacimba Nova
- SG Serra da Gameleira
- SC Sertão do Carmaubal
- SL Sertão do Logradouro
- SS Sertão do Salão

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
 CENTRO DE CIÊNCIAS
 DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
 APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI,
 MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 7 - SISTEMAS AMBIENTAIS

Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Vládia Pinto Vidal de Oliveira

5 INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI-CE

A mensuração da suscetibilidade à desertificação é um assunto que merece destaque e as informações precisam tornar-se mais acessíveis a governos e a população em geral, principalmente, aquelas submetidas ao fenômeno. Isso passa pela produção de dados que permitam o acompanhamento das mudanças do ambiente, portanto, a utilização da informação como instrumento de interpretação da realidade requer a criação de meios de quantificação de aspectos dessa realidade de forma clara e simplificada (SOLIGO, 2012). Um desses meios são os indicadores, que surgem como ferramentas estatísticas de representação quantificável do real.

5.1 Indicadores Geobiofísicos de Desertificação

Para Mourão (2006), um indicador é uma estatística, um fato, uma medida, uma série quantitativa de dados – indicador quantitativo - ou uma série de evidências ou percepções postuladas sobre a realidade – indicador qualitativo -. Além disso, os indicadores são auxiliares nas tomadas de decisões pois permitem medir, comparar e monitorar o fenômeno analisado em espaço e tempos distintos. Servem para identificar variações, comportamentos, processos e tendências; estabelecer comparações; indicar necessidades e prioridades para a formulação, monitoramento e avaliação de políticas públicas; e por sua capacidade de síntese facilitam o entendimento sobre qualquer tema (IBGE, 2015).

Um indicador é um recurso metodológico que tem a função de informar algo sobre algum aspecto da realidade ou sobre mudanças que estão se processando na mesma (JANUZZI, 2004). Logo, é uma medida quantitativa dotada de significado. Dentre as características dos indicadores a apontada por Soligo (2012, p.17) reflete bem a natureza deles ao citar que o “indicador útil em determinado lugar e época pode não ser proveitoso para outra região, ou até mesmo para a própria região em outro momento”. Isso porque a medida que os conceitos se modificam, tanto no espaço quanto no tempo, os indicadores utilizados para quantificá-los também deverão mudar.

Outro aspecto a se considerar é o que se quer ler da realidade a partir do conceito utilizado, pois aí entra a escolha dos indicadores. Por exemplo, a Figura 27

mostra que ao se estudar pobreza diferentes variáveis podem ser utilizadas como indicadores.

Figura 27 – Indicadores de pobreza conforme temas de análise



Fonte: IBGE (2015).

Observa-se que um mesmo fenômeno pode ser analisado a partir de diferentes temas e, por conseguinte, diferentes variáveis. Cabe a quem estuda a pobreza selecionar o tema que melhor responde aos seus objetivos de pesquisa, considerando a escala temporal e espacial para a seleção dos indicadores. Da mesma forma ocorre com os indicadores ambientais. No estudo publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2015, foram apresentados indicadores de desenvolvimento sustentável em que se subdividiam em quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional. Cada dimensão era composta por vários temas que por sua vez eram constituídos por indicadores próprios. O que se pode afirmar é que os indicadores dão suporte à análise da realidade, que pode partir de diferentes perspectivas.

Assim, ao se construir um indicador, dois pontos emergem como fundamentais. O primeiro é a escolha de qual aspecto da realidade será tratado. O segundo é definir qual o conceito abstrato que será utilizado para explicação do fenômeno estudado. (SOLIGO, 2012, p.17).

Partindo dessa citação, o caso dos indicadores de desertificação pode ser assim representado, pois de acordo com Nascimento (2013) há cerca de 80 indicadores, e esses se aglomeram em diferentes temas. Isso se dá em razão da complexidade que envolve o estudo e a identificação do fenômeno consequente da particularidade das suas causas. Diante da quantidade de metodologias e indicadores para compreendê-la, Brandt e Geeson (2008) afirmam que as causas da desertificação são diversas e mudam de área

para área, e que inclusive as muitas variantes locais na aparência do fenômeno conduziram a que a palavra fosse usada de diferentes formas e com distintos significados. Por seu turno, estes diferentes usos do termo, significavam a dificuldade em atingir um consenso acerca de como combater a desertificação devido as singularidades de cada local (DESERTLINKS, 2004).

Com relação a definição do conceito, este foi elaborado no texto da UNCCD e é universalmente aceito. Contudo, não há métodos ou indicadores únicos já que as causas e consequências variam no espaço e no tempo. Como existem um conjunto de elementos que são agentes de desertificação e o indicador é um parâmetro que dá informações quantificadas para compreensão da realidade, definir qual indicador utilizar depende das particularidades locais. O Projeto DESERTLINKS, financiado pela União Europeia, acumula dados quanto as causas e consequências da desertificação na Europa. Essa investigação resultou na criação de um sistema com 150 descrições de indicadores para a Europa Mediterrânea, que estão disponibilizados no web site DIS4ME.

Um dos temas centrais do DESERTLINKS era a identificação e utilização de indicadores de desertificação para promover uma compreensão e sensibilização mais geral das questões de desertificação. Os resultados foram publicados no website DIS4ME que foi concebido para transmitir informações complexas sobre as causas, processos e consequências da desertificação num mais facilmente compreensível, apresentando a investigação numa narrativa clara a vários níveis de detalhe e complexidade para se adequar a diferentes públicos. (BRANDT; GEESON, 2015, p.121)

De acordo com estes autores, dentro da Europa, há muitas causas e consequências da desertificação, resultante da grande variabilidade local. Por isso, um conjunto de diferentes indicadores foram necessários para compreender os quadros maiores em cada paisagem. Tais indicadores foram derivados de entrevistas a partir dos Programas Nacionais de Ação (NAPs) executados em comunidades afetadas pela desertificação em Portugal, Espanha, Itália e Grécia (BRANDT; GEESON, 2015). O Quadro 2 apresenta alguns temas e indicadores disponíveis pelo DIS4ME.

Quadro 2 – Alguns indicadores de desertificação do sistema DIS4ME

INDICADORES FÍSICOS E ECOLÓGICOS		
Temas	Indicador	Importância com respeito à desertificação
Clima	Temperatura do ar	Em climas semiáridos e áridos afeta a evaporação da água da superfície do solo e transpiração da planta.
Vegetação	Área desflorestada	A variação no escoamento superficial e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas é atribuído à cobertura vegetal e mudanças na gestão do uso da terra.
INDICADORES ECONÔMICOS		
Temas	Indicador	Importância com respeito à desertificação
Gestão do Solo	Agricultura orgânica	Os princípios da produção biológica a nível das explorações agrícolas é que a fertilidade e a atividade biológica do solo devem ser mantidas ou aumentadas.
Uso do Solo	Terras agrícolas abandonadas	Pode ser uma resposta ao início dos processos de degradação do solo, como um resultado de processos climáticos naturais e práticas insustentáveis.
INDICADORES SOCIAIS		
Temas	Indicador	Importância com respeito à desertificação
-	Nível de formação dos adultos	Facilita a realização de uma consciência ética, valores e habilidades, e há uma eficaz participação do público na tomada de decisão.
-	Densidade da população	Está intimamente correlacionado com o nível de pressão humana a que como área está sujeita.
INDICADORES INSTITUCIONAIS		
Temas	Indicador	Importância com respeito à desertificação
-	Áreas protegidas	Estas áreas podem ser usadas como um "laboratório" para explorar práticas de gestão sustentável para combater a desertificação.
-	Gasto em pesquisa e desenvolvimento	O conhecimento científico deve ser aplicado para avaliar a atual condição e perspectivas futuras em relação à sustentabilidade dos ambientes.

Fonte: DESERTILINK, 2004.

O DIS4ME fornece um conjunto de indicadores que podem ser utilizados em vários contextos, cabendo ao pesquisador ou a pesquisadora definir sob qual ótica temática estudar a desertificação. Por sua vez, eles foram elaborados a partir do levantamento dos principais problemas socioambientais dos países atingidos pela desertificação na Europa Mediterrânea.

Os esforços de se construir um sistema de indicadores de desertificação remonta a Conferência de Nairobi, em 1977. De acordo com Matallo Júnior (2001), esses esforços iniciais privilegiavam estudos verticalizados em detrimento da elaboração de uma metodologia de indicadores. Para a América Latina durante a década de 1990 houve uma tentativa de se desenvolver uma metodologia minimamente padronizada, o que foi discutido na Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação (CONSLAD), ocorrida em março de 1994, na cidade de Fortaleza, Ceará. A partir desse evento foi elaborado um documento com 54 indicadores que afirma Matallo Júnior (2001, p.39) “parece não resolver o principal problema a que se dedica, ou seja, a formulação de uma metodologia unificada para aplicação em nível regional”.

O objetivo dos dois sistemas de indicadores regionais diverge na finalidade da metodologia, pois o sistema Europeu busca compreender o quadro da desertificação nas diferentes paisagens. Já o sistema elaborado para a América Latina, visava uniformizar os procedimentos de identificação e monitoramento dos processos de desertificação na região. As duas propostas são relevantes para a leitura do quadro de degradação nas duas regiões e servem como sistemas mínimos para os países que as constituem. Matallo Júnior (2001), diferentemente, acredita que as diferenças de procedimentos nos estudos a longo prazo irão causar dificuldades para a aplicação de políticas de controle e recuperação das áreas desertificadas. No entanto, por ser uma questão transdisciplinar por perpassar várias dimensões - social, ambiental, física, política, entre outras -, bem como cada local afetado ter causas distintas, não tem como ter uma metodologia única para o estudo da desertificação.

É relevante mencionar a proposta de Matallo Júnior (2001) que apresenta um conjunto de indicadores para uniformizar os procedimentos de identificação e monitoramento dos processos de desertificação na região latino-americana. Esse autor selecionou 19 indicadores de caráter prático para identificar os processos e formular políticas. Divididos em **indicadores de Situação** e **indicadores de Desertificação**, o autor definiu aqueles que quantificam as condições que estão suscetíveis a mudança não significando mudança no estado de desertificação, como de situação. Tais indicadores avaliam a desertificação a partir dos aspectos socioeconômicos e climáticos.

Os Indicadores de Desertificação são aqueles que se modificam a realidade o estado do processo de desertificação também muda. Tais indicadores são aqueles classificados como físicos e ambientais relativos a solo, recursos hídricos e vegetação

(MATALLO JÚNIOR, 2001). É apresentado no Quadro 3 os indicadores de situação e desertificação.

Quadro 3 – Descrição dos Indicadores de Situação e de Desertificação

Indicadores de Situação	Clima
Precipitação	Quantidade de chuva que cai numa determinada região num certo período.
Insolação	Número de horas diárias (duração) e intensidade de radiação total, o que permite que se calcule a evapotranspiração potencial.
Evapotranspiração	É a perda de água para a atmosfera, na forma de vapor. O seu conhecimento, associado com o ganho de água através da precipitação, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região.
Indicadores de Situação	Sociais
Estrutura de idades	Indicador dos efeitos da desertificação sobre a população humana local. Pode ser expressa como a relação entre o número de crianças, homens, mulheres e velhos em relação à população total.
Taxa de mortalidade infantil	Número de mortes de crianças, com menos de 1 ano, para cada mil nascidas vivas.
Nível Educacional	Número de anos com educação formal.
Indicadores de Situação	Econômico
Renda <i>per capita</i>	Expressa a média de rendimento por habitante, permitindo verificar o nível de vida.
Indicadores de Situação	Outros
Uso do solo agrícola	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas)
Indicadores de desertificação	Biológico
Cobertura Vegetal	Percentagem de uma determinada área com cobertura vegetal nativa. As mudanças da cobertura vegetal original são os primeiros indícios da ocupação humana. Sua importância fundamental está na proteção que exerce sobre o solo contra os efeitos erosivos. Sua eliminação ou diminuição, acompanhadas de técnicas inadequadas de uso e manejo dos solos permite que se iniciem e acelerem os processos de desertificação
Estratificação da vegetação	Número de estratos existente numa determinada área. Em geral os processos de desertificação uniformizam a vegetação em termos de estratos e número de espécies. As áreas mais degradadas têm * um único estrato.

Composição específica	Espécies nativas existentes na área. Por extinção ou por eliminação natural do sistema, as espécies tendem a diminuir com o tempo. Relaciona-se com o antropismo e os métodos inadequados de manejo
Espécies indicadoras	Espécies indicadoras Espécies associadas ao fenômeno de degradação de um ecossistema. Existem espécies que indicam o processo de empobrecimento do solo, seja por perda de fertilidade, por erosão ou salinização.
Evapotranspiração	É a perda de água para a atmosfera, na forma de vapor. O seu conhecimento, associado com o ganho de água através da precipitação, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região.
Indicadores de desertificação	Físico
Índice de Erosão	Identifica o processo de desagregação e transporte de sedimentos pela ação da água ou dos ventos. Permite identificar os locais com maiores índices de degradação.
Redução da disponibilidade hídrica	Redução da disponibilidade efetiva de recursos hídricos de superfície e/ou subterrâneos.
Indicadores de desertificação	Indicadores Agrícolas
Uso do solo agrícola	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas).
Rendimento dos cultivos	Quantidade de um determinado produto colhido por unidade de área. Existem parâmetros conhecidos para a produtividade das culturas nos vários tipos de clima.
Rendimento da pecuária	Quantidade média de produção de carne e derivados para cada animal (por tipo de rebanho).
Indicadores de desertificação	Outros
Densidade demográfica	Razão do número de habitantes por quilômetro quadrado. Pode ser aplicado a um município, microrregião ou Estado. Dadas as condições de semiaridez, as condições dos solos, a disponibilidade de água da região e a sua capacidade de suporte, adotou-se como fator de pressão sobre o meio-ambiente, a densidade igual ou superior a 20 hab./km ² . As informações são coletadas de dados censitários.

Fonte: Matallo Júnior (2001).

Mesmo não havendo um procedimento único para avaliar a desertificação, os indicadores criados se enquadram em quatro tipos de temas: socioeconômico, biológico, físico e espectral. Portanto, há diferentes formas de se avaliar o problema, inclusive possibilidades de elaboração de índices que agrupem diferentes indicadores de temas

distintos. Por se tratar de um fenômeno sistêmico e complexo, compreende-se que a partir da análise sistêmica seja possível compreender a dinâmica do ambiente em processo de desertificação, pois o conhecimento da essência dos agentes atuantes e sua participação nos processos reconhecidos culminam no domínio das causas da desertificação, que uma vez conhecidas podem ser controladas, mitigando seus efeitos.

Partindo desse pensamento que dialoga com os pressupostos da Ecodinâmica, há um sistema de indicadores físicos que buscam representar o estado atual do ambiente ao identificar os processos degradacionais. Os Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD) surgem de uma adaptação de Oliveira (2003, 2011) aos Indicadores de Desertificação para a América do Sul de Abraham e Beekman (2006). A partir de um levantamento bibliográfico dos trabalhos sobre IGBD constatou-se que eles classificam a suscetibilidade dos sistemas ambientais à desertificação através da quantificação da morfodinâmica atual dos ambientes, que por sua vez é ditada por elementos como clima, geologia, geomorfologia, entre outros.

Trabalhar com IGBD é pensar a dimensão ambiental e física das causas e consequências da desertificação. Sabe-se que cada sistema ambiental reage de forma diferente aos processos degradacionais em razão da sua dinâmica, que é dada pelas inter-relações entre os seus componentes.

Parte-se do pressuposto básico de que os sistemas ambientais são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas e são continuamente submetidos aos ciclos da matéria e fluxo de energia. Cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural. Em cada sistema, verifica-se, comumente, um relacionamento harmônico entre seus componentes, sendo estes dotados de potencialidades e limitações específicas, sob o ponto de vista de recursos ambientais. Como tal, reagem também de forma singular no que tange às condições de uso e ocupação. (OLIVEIRA, 2011, p.2)

De acordo com Brito (2018) há compatibilidade metodológica em utilizar os sistemas ambientais e os IGBD, que foi testada em sua pesquisa. Isso porque conhecendo-se a estrutura, a dinâmica e o estado de evolução dos sistemas ambientais naturais são possíveis avaliar as condições geoambientais e categorizar o meio. Cada sistema tem uma suscetibilidade própria decorrente das suas características, por exemplo, uma área de acentuado declive e composta por Neossolos Litólicos a morfogênese atuará mais intensamente do que em uma área plana composta por solos bem drenados. Essa diferença de intensidade de atuação do processo morfogenético é reflexo dos elementos que constituem os sistemas.

Oliveira (2011) coloca que aplicou os indicadores biofísicos de desertificação (IBFD) para conhecer a dinâmica e o estado de degradação em que se encontravam os sistemas ambientais. Os indicadores biofísicos de desertificação, assim como os IGBD, têm o suporte do Sistema de Informação Geográfica e constatação em campo, para definir os parâmetros e seus valores. Tais temas são: geologia, geomorfologia, vegetação, cobertura vegetal (estratificação), cobertura vegetal natural, solos, erosão e condições climáticas. Nessa metodologia, os temas são organizados pressupondo que as variáveis com os maiores valores correspondem às melhores potencialidades para a conservação ambiental. Portanto quanto maior o valor do IBFD menor será o estado de conservação. A metodologia para elaboração do IBFD, perpassando a escolha dos temas e variáveis, é voltada para uma ótica física, ecológica e de uso e ocupação que busca determinar o nível de conservação do sistema. A partir dessa informação, avalia-se o seu grau de suscetibilidade à desertificação.

Selecionar os indicadores e parâmetros que serão utilizados, estes são atributos físicos, ecológicos e de uso e ocupação; atribuir classes com valores aritméticos em cada parâmetro, colocando valores entre 1 a 5, quanto menor o valor, mais suscetível é o ambiente à desertificação; realizar uma média dos parâmetros em cada Sistema Ambiental existente no objeto pesquisado, que possibilita comparar os níveis de conservação de cada sistema; e classificar os níveis de suscetibilidade à desertificação. (BARRETO, 2018, p. 133)

Barreto (2018) cita que esses indicadores categorizam os níveis de degradação/conservação segundo os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) e as adaptações de Souza (2000) no território cearense. Assim como ele, outros autores e autoras utilizaram a metodologia dos IGBD para sua aplicação em sistemas ambientais de bacias hidrográficas no Ceará (OLIVERIA, 2011; COSTA, 2014; ARAÚJO, 2016; COSTA; OLIVERIA, 2017; BARRETO, 2018; SILVA; 2018). No Quadro 4 é apresentada uma síntese dos temas e variáveis utilizados nos trabalhos consultados que houve aplicação dos indicadores geobiofísicos.

Quadro 4 – Resumo dos Indicadores Geobiofísicos de Desertificação

Tema	Indicador			
IGBD 1 Geologia	Litotipos/ Permporosidade	Parâmetro	Valor	
		Coberturas não coesas	-	5
		Depósitos sedimentares aluviais/coluviais	-	4
		Rochas sedimentares	-	3
		Rochas metamórficas	-	2
		Rochas ígneas	-	1
IGBD 2 Relevo	Topografia/ Declividade	Classes em %		
		Plano a suave plano	0 – 3%	5
		Suave Ondulado a Ondulado	3 – 8%	4
		Fortemente Ondulado	8 – 15%	3
		Moderadamente Escarpado	15 – 45%	2
		Escarpado/Montanhoso	➤ 45%	1
Tema	Indicador	Parâmetro	Valor	
IGBD 3 Solo	Espessura	Classes de Profundidade		
		Muito Profundo	➤ 200 cm	5
		Profundo	100 – 200 cm	4
		Moderadamente raso	50 – 100 cm	3
		Raso	25 – 50 cm	2
		Muito raso, com afloramentos	Sem solo < 25 cm	1
IGBD 4 Solo	Erosão Hídrica/ Escoamento	Classes de Profundidade		
		Erosão laminar	-	5
		Erosão com sulcos	-	4
		Erosão com ravinas	0 < 100 cm	3
		Ravinas/Voçorocas	100 – 200 cm	2
		Voçorocas	➤ 200 cm	1

IGBD 5 Vegetação	Cobertura Vegetal	Classes em %	
	Alto	➤ 75%	5
	Médio-alto	54 – 75%	4
	Médio	32 – 53%	3
	Médio-baixo	10 – 31%	2
	Inferior a 10%	< 10%	1
IGBD 6 Vegetação	Estrato Vegetal	Classes em metro	
	Estrato arbóreo	+ 5m	5
	Estrato arbóreo médio-alto	3 – 5m	4
	Estrato arbustivo médio	1 – 3m	3
	Estrato arbustivo baixo	0,5 – 1m	2
	Pastos/ cultivos/ sem vegetação	-	1
IGBD 7 Clima	Zonação Climática	Classes (Pluviometria)	
	Subúmido a úmido	Acima de 700mm	5
	Subúmido seco	650 – 700mm	4
Tema	Indicador	Parâmetro	Valor
IGBD 7 Clima	Zonação Climática	Classes (Pluviometria)	
	Semiárido	400 – 650mm	3
	Árido	300 – 400mm	2
	Hiperárido	Inferior a 300mm	1

Fonte: Oliveira, 2011; Costa, 2014; Araújo, 2016; Costa; Oliveira, 2017; Barreto, 2018; Silva; 2018.

A média de indicadores utilizados dentre os trabalhos consultados são sete, sendo que os temas se repetem, variando apenas alguns indicadores. Os indicadores topografia/declividade e zonação climática estão presentes em todos os estudos sobre IGBD. Alguns temas tiveram seus indicadores variados conforme a área e o objetivo das pesquisas. A permanência dos indicadores citados confirma como o processo morfodinâmico é central nos estudos sobre desertificação, uma vez que tanto a classificação climática quanto a declividade do relevo são fatores de propensão ou mitigação das ações morfogenéticas. Isto posto, observa-se que cada geossistema tem um

nível de propensão a expansão ou intensificação da desertificação em razão da morfodinâmica do ambiente. Sendo assim, o IGBD funciona como uma medida que quantifica ou qualifica cada componente do sistema e por fim reflete o seu nível de suscetibilidade.

No caso desta pesquisa foi dada maior ênfase a cobertura vegetal por ser um agente amortecedor dos processos morfogenéticos. Além disso, a área de estudo não apresenta distinção quanto a zonação climática, pois toda ela está submetida ao clima semiárido, que se comparado ao clima árido e hiperárido, tem potencial maior para ativar as ações morfogênicas em razão das precipitações mais intensas e constantes. Logo, o papel da cobertura vegetal é fundamental para manter a estabilidade dos ambientes ou mantê-los dentro da classificação de meios intergrades tendendo a estabilidade.

Sendo assim, em razão da capacidade dos IGBDs representarem o nível de suscetibilidade dos ambientes à desertificação, os indicadores utilizados nesta pesquisa são os geobiofísicos, pois parte-se da ideia de que os componentes da paisagem têm níveis intrínsecos de propensão à desertificação e tais níveis podem ser quantificados através da elaboração dos indicadores geobiofísicos. Cabe mencionar que os indicadores devem ser usados em combinação, pois nenhum deles pode, sozinho, prover as informações necessárias para o diagnóstico da desertificação.

Com relação as propriedades dos indicadores, concorda-se com Matallo Júnior (2001) quando afirmou que a seleção de indicadores para medir ou avaliar a desertificação deve obedecer a alguns critérios básicos.

Primeiro, o indicador deve refletir algo básico e fundamental, isto é, ter um significado próprio. Em segundo lugar, quanto mais claro e simples for o indicador, melhor. Um indicador deve, também, ser quantificável e sensível a mudanças mostrando tendências ao longo do tempo. Por sua vez, os dados devem estar disponíveis e serem fáceis de coletar. (MATALLO JÚNIOR, 2001, p. 98)

Na seleção apontada por Matallo, o autor traz a ideia de tempo quando cita a importância do indicador ser sensível as mudanças da realidade. Brandt e Geeson (2008) da mesma forma, pontuam a escala temporal como propriedade necessária aos indicadores na temática ambiental. Complementando-os, Barreto (2018) propõe uma nova propriedade aos indicadores ambientais, o espaço-limite. De fato, ao se trabalhar com fenômenos naturais é comum espacializá-lo, portanto, o indicador precisa estar passível a espacialização, contribuindo para a construção de materiais cartográficos e para o entendimento dos avanços, ou não, dos problemas ambientais (BARRETO, 2018).

Partindo da perspectiva que a desertificação é a expressão espacial da instabilidade do meio, cujo elemento reversor desse estado de instabilidade é a cobertura vegetal, optou-se por adaptar a proposta de Oliveira (2011), assim como Barreto (2018), nos tipos de indicadores e seus parâmetros, nos valores dos indicadores, no mapeamento da suscetibilidade à desertificação e nas classes de suscetibilidade. Dessa forma, os temas dos indicadores utilizados na pesquisa foram: a geologia, a geomorfologia, a cobertura vegetal, o solo e o uso e ocupação. O clima não foi tomado por indicador devido à homogeneidade climática da área. Por ser uma bacia de dimensão pequena a precipitação não varia significativamente no espaço. O Quadro 5 apresenta os indicadores propostos nesta pesquisa.

Como busca-se na pesquisa relacionar a intensidade dos processos morfodinâmicos com a suscetibilidade dos ambientes à desertificação, a suscetibilidade é diretamente proporcional aos valores dos indicadores, portanto, quanto maior seus valores, mais suscetível estará o ambiente a desertificação. Com isso, os pesos são as porcentagens atribuídas a cada indicador conforme sua influência em potencializar a desertificação. Por ser uma porcentagem, a soma de todos esses pesos deve totalizar 100.

Cada parâmetro do indicador tem uma nota, cujos valores numéricos estão classificados de 1 a 5. Conforme Barreto (2018), isso está vinculado à relevância do parâmetro perante o processo de degradação ambiental das terras secas. Dada a nota, seu valor é multiplicado pelo peso, gerando-se o valor final. Desse modo, quanto maiores forem os valores do peso do indicador, da nota do parâmetro e do valor final, maior será o nível de suscetibilidade do ambiente. Os valores dos pesos estabelecidos para cada indicador foram: o Litotipo/permoporosidade com 10% ou 1; a declividade com 15% ou 1,5; a taxa de cobertura vegetal com 20% ou 2; o SAVI com 15% ou 1,5; espessura do solo com 15% ou 1,5; e Uso e Cobertura 25% ou 2,5.

Os pesos tiveram este valor devido a perspectiva de desertificação optada neste trabalho que dialoga com a teoria Ecodinâmica de Tricart, o que gerou a seguinte fórmula para a construção do Mapa de Suscetibilidade de Desertificação (MSD): $MSD = (\text{Litotipo/Permeabilidade} * 1,0) + (\text{Declividade} * 1,5) + (\text{Cobertura Vegetal} * 2) + (\text{SAVI} * 1,5) + (\text{Espessura do solo} * 1,5) + (\text{Uso e Cobertura} * 2,5) / 6$.

Quadro 5 – Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação

	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 1	Geologia	Litotipos/permoporosidade				
		Coberturas não coesas		1	1	1
		Depósitos sedimentares aluviais e coluviais		2	1	2
		Rochas sedimentares		3	1	3
		Rochas metamórficas		4	1	4
		Rochas ígneas		5	1	5
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 2	Relevo	Declividade	Intervalo			
		Plano a suave plano	0 – 3%	1	1,5	1,5
		Suave ondulado a Ondulado	3 – 8%	2	1,5	3,0
		Ondulado	8 – 20%	3	1,5	4,5
		Forte ondulado	20 – 45%	4	1,5	6,0
		Montanhoso	➤ 45%	5	1,5	7,5
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 3	Vegetação	Cobertura Vegetal	Proporção			
		Alta	> 0,7	1	2	2
		Média-alta	0,5 – 0,7	2	2	4
		Média	0,3 – 0,5	3	2	6
		Média-baixa	0,1 – 0,3	4	2	8
		Baixa	< 0,1	5	2	10

	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 4	Vegetação	SAVI	Intervalo			
		Alta	0,7 – 1,0	1	1,5	1,5
		Média-alta	0,5 – 0,7	2	1,5	3,0
		Média	0,3 – 0,5	3	1,5	4,5
		Baixa	0,1 – 0,3	4	1,5	6,0
		Solo Exposto	0	5	1,5	7,5
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 5	Solo	Espessura	Faixa			
		Alta	Muito profundo	1	1,5	1,5
		Média-alta	Profundo	2	1,5	3,0
		Média	Moderadamente raso	3	1,5	4,5
		Baixa	Raso	4	1,5	6,0
		Solo Exposto	Muito raso com afloramento	5	1,5	7,5
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Nota	Peso	Valor
IGBD 6	Uso e Cobertura	Conservação	Faixa			
		Caatinga / Mata Ciliar	Conservada	1	2,5	2,5
		Caatinga	Conservada a moderadamente conservada	2	2,5	5,0
		Caatinga	Degradada	3	2,5	7,5
		Uso Antrópico		4	2,5	10
		Área Não Vegetada		5	2,5	12,5

Fonte: adaptado de Oliveira, 2011; Costa, 2014; Araújo, 2016; Costa; Oliveira, 2017; Barreto, 2018; Silva; 2018.

5.2 Níveis de suscetibilidade à desertificação

O IGBD 1 se refere à porosidade e permeabilidade dos diferentes tipos de material geológico, que está diretamente ligado às propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem a rocha. Essa propriedade é fundamental para entender a relação entre litotipo, armazenamento e circulação da água, e a erosão dos solos. Os materiais rochosos de baixa permeabilidade e porosidade, impedem a infiltração da água, favorecendo maior escoamento superficial linear e difuso com aumento da erosão dos horizontes superficiais, o que acentua as limitações dos solos.

Além disso, a topografia da área também pode ser influenciada pela geologia, afetando a velocidade e direção do escoamento superficial da água. Solos formados sobre rochas ígneas ou metamórficas, como as rochas presentes na área de estudo, geralmente apresentam topografias mais acidentadas e declivosas, o que favorece o escoamento superficial da água e aumenta a suscetibilidade à erosão. Assim, é fundamental entender a geologia da região para avaliar o risco de erosão e desgaste dos solos, bem como para identificar áreas com maior potencial de infiltração de água e, conseqüentemente, maior capacidade de armazenamento de água no solo.

A erosão dos solos tem impactos significativos no processo de desertificação, na qualidade da água e na biodiversidade local, tornando-se um problema sério para o desenvolvimento sustentável do local. Cabe mencionar que foi dado um valor 5 para a Unidade Independência devido a presença de xisto, conforme o mapeamento realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro para as cartas Quixadá e Itapiúna (CPRM, 2017). A estrutura do xisto é mais fraturada e sua coesão é mais baixa do que a do gnaisse, presentes nas unidades do Complexo Canindé, o que faz com que seja mais suscetível à desagregação e erosão.

Para a determinação deste indicador foram utilizados dados cartográficos (CPRM, 2017; 2020) e bibliográficos. Na sub-bacia foram identificadas três unidades litoestatigráficas. As Unidades são constituídas por rochas metamórficas, que de acordo com a matriz apresentada por Oliveira (2011) e utilizada neste trabalho apresentaram valor 4. O valor desse indicador representa o quão suscetível uma área composta por essas unidades pode ser à desertificação, em razão da baixa capacidade de infiltração do material rochoso. Além disso, a topografia coincidente com a Unidade Independência é irregular com a presença de áreas muito declivosas. Há apenas melhores condições hidrogeológicas nos depósitos de aluviões que correspondem as planícies ribeirinhas.

Devido a pequena expressão espacial desse sistema, esse dado não foi considerado para o mapa de níveis de suscetibilidade.

O IGBD 2 traz a declividade como um aspecto geomorfológico. Entender a desertificação a partir do declive dos terrenos é partir da perspectiva da relação entre declividade e erosão de solos. A inter-relação entre esses elementos é direta, ou seja, quanto maior a declividade, maior é o potencial erosivo sobre o solo. Isso ocorre porque em declividades maiores a velocidade da água da chuva ou do escoamento superficial aumenta, gerando maior energia cinética que pode desagregar o solo e transportá-lo. Além disso, em declividades mais acentuadas, o solo fica mais exposto ao impacto direto da chuva, favorecendo o processo erosivo.

A declividade do terreno pode contribuir para o processo de desertificação, especialmente em áreas semiáridas, onde a precipitação é escassa e irregular. Em terrenos com declividade muito elevada, como no caso dos Pequenos Maciços Cristalinos, a água das chuvas pode escoar rapidamente, sem ter tempo suficiente para infiltrar no solo e ser retida para uso posterior pelas plantas. Contudo, na área estudada, nos terrenos mais elevados a densidade da vegetação é maior do que nos terrenos de menor declividade, exercendo a vegetação um papel importante como amortecedor natural do impacto das gotas no solo, o que diminui o material carregado pelo escoamento superficial. Além de que é possível a retenção de água em manchas de solo propícios ao armazenamento nesses Sistemas.

Em outro contexto, a erosão acelerada do solo pode ocorrer em terrenos íngremes, causando a perda de camadas superficiais de solo e diminuindo ainda mais a capacidade do solo de suportar a vida vegetal. Portanto, a declividade do terreno é um fator importante a ser considerado na avaliação da suscetibilidade da terra à desertificação. Por isso, áreas com declividades mais elevadas podem ser mais suscetíveis à erosão do solo. Essa orientação é seguida na matriz de indicadores utilizada. À medida que aumenta a declividade, mais suscetível é a área ao processo de desertificação. Esse indicador foi construído a partir de dados Copernicus Digital Surface Model (DSM) do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus (CSCDA), que consiste em uma cobertura global com resolução espacial de 30m. Esses dados são fornecidos pelos satélites Sentinel.

O IGBD 3 traz a proporção de cobertura vegetal como elemento importante para entendimento do processo de desertificação na paisagem. A cobertura vegetal desempenha um papel fundamental na prevenção da desertificação. Isso porque a

vegetação ajuda a proteger o solo da erosão e da degradação causada pelo vento e pela chuva, além de ajudar a reter a água da chuva, aumentando a infiltração e a disponibilidade de água no solo. A presença da cobertura vegetal também contribui para o equilíbrio do ecossistema, favorecendo a diversidade biológica e a regulação do clima local.

Por outro lado, a falta de cobertura vegetal ou a sua degradação pode agravar a desertificação. Quando a vegetação é removida, seja por meio da ação humana ou eventos naturais, o solo fica exposto e vulnerável à erosão; há o aumento da temperatura da superfície; por conseguinte, há a diminuição da umidade e perda de nutrientes, o que pode intensificar a suscetibilidade à desertificação.

Embora encontre-se áreas de pastos ou solo exposto em razão de outras atividades, na sub-bacia a cobertura vegetal é média a média-alta, principalmente nas serras e nos seus sopés. As serras são territórios de assentamentos rurais e comunidades indígenas. Essas populações têm acesso a técnicas de manejo mais sustentáveis, além de que nas áreas de assentamentos 20% da vegetação nativa precisa ser preservada conforme o código florestal. Esse indicador foi construído a partir do cálculo dos valores médios, mínimo e máximos do SAVI em cada célula da imagem.

O IGBD 4 foi construído a partir dos valores do SAVI. A relação entre SAVI e desertificação se faz na importância dele para a avaliação da cobertura vegetal em áreas susceptíveis à desertificação, pois permite detectar variações na densidade e saúde da vegetação, que podem estar associadas a mudanças nos recursos hídricos e na qualidade do solo. O SAVI é um indicador que pode ser utilizado para monitorar a saúde da cobertura vegetal e, conseqüentemente, avaliar o potencial de degradação do solo e prevenir a desertificação. Com base nas informações fornecidas pelo SAVI, as medidas de conservação do solo e de recuperação de áreas degradadas podem ser planejadas e implementadas de forma mais eficaz. Na área de estudo, os valores de SAVI se concentraram entre 0,3 e 0,5. Os valores mais próximos de três indicam uma vegetação pouco sadia ou mais seca, enquanto os valores mais próximos de 5 e acima desse valor indicam uma vegetação mais saudável ou mais úmida. Nos sistemas serranos e nas planícies ribeirinhas, pode-se observar os maiores valores, correspondendo a uma vegetação que mantém sua folhagem mesmo no período de estiagem.

Para extrair essa informação, foram usadas imagens do satélite CBERS 04A, da câmera multispectral e pancromática de ampla varredura WPM, a qual possui 5 bandas, sendo a P (Pancromática) com resolução espacial de 2m e as demais com

resolução espacial de 8m. Possui ainda resolução radiométrica de 10 bits e tempo de revisita de 5 dias. As bandas utilizadas foram a 3 (0,63-0,69 μ m), ou vermelha (R), e a banda 4 (0,77-0,89 μ m), ou infravermelho próximo. Foi utilizada uma cena referente a data setembro de 2021, que corresponde ao período seco. No Mapa 8 é apresentada a espacialização dos IGBD2, IGBD3 e IGBD4.

O material cartográfico foi elaborado a partir do SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) que é um índice utilizado para avaliar a saúde da vegetação. Ele leva em conta a quantidade de luz refletida pelo vegetal em diferentes comprimentos de onda e é calculado pela seguinte fórmula:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L)$$

Já a cobertura vegetal foi estimada a partir do cálculo de proporção da vegetação, que é dado pela fórmula:

$$PV = \frac{(SAVI - SAVimin)}{(SAVimax - SAVimin)}$$

Por meio da ferramenta Estatística Zonal, foi possível estimar a média, min., máx. e moda do SAVI e da Proporção da Vegetação em cada Sistema Ambiental. Cabe mencionar que os valores de 0 no mapa de Cobertura Vegetal equivalem a resposta espectral das nuvens e dos corpos d'água.

O mapa de declividade foi classificado conforme EMBRAPA (1979).

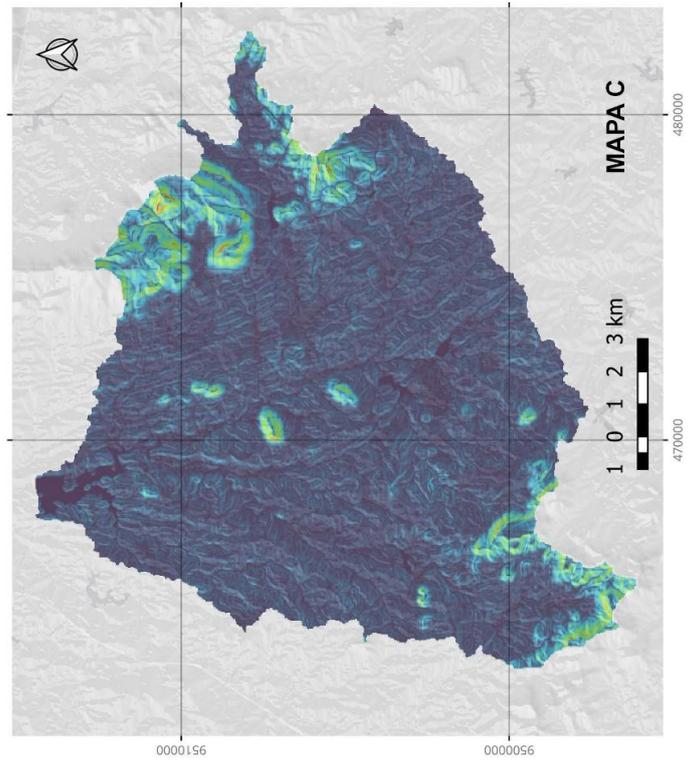
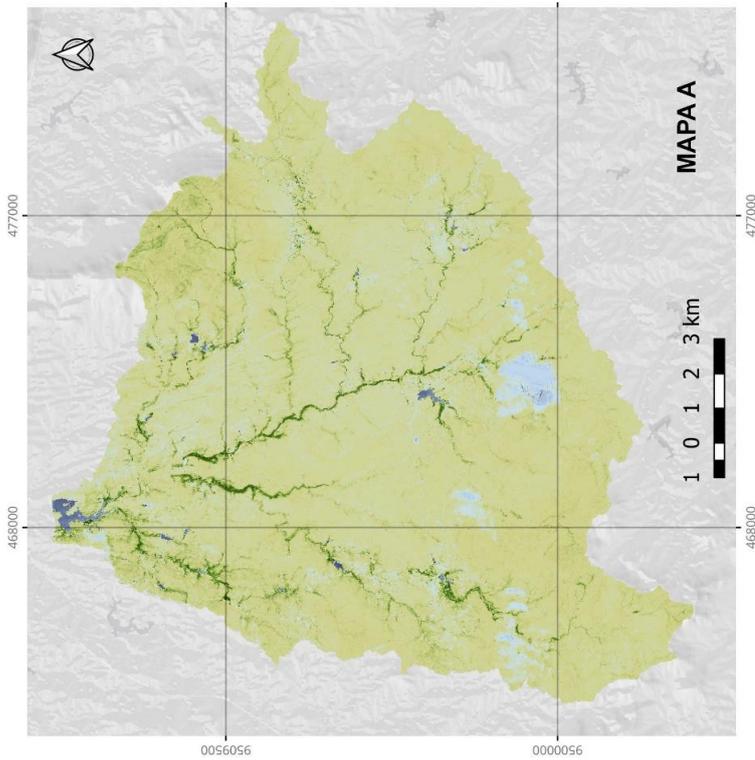
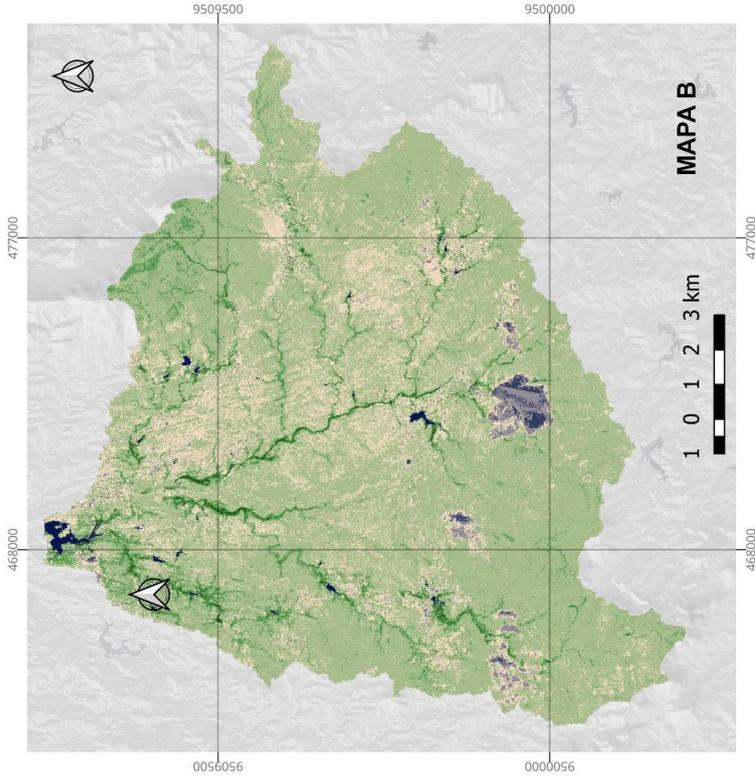
Sistema de Referência de Coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 24S
 Datum: SIRGAS 2000
 Data: 05/2023
 Fonte: INPE, EMBRAPA
 Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
 CENTRO DE CIÊNCIAS
 DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 8 - SAVI, COBERTURA VEGETAL E DECLIVIDADE
 Autora: Elen Karine Forte Pessoa; Prof.ª Dr.ª Máidia Pinto Vidal de Oliveira



LEGENDA

SAVI		COBERTURA VEGETAL	
-0,5	0	0	MAPA B
-0,2	0	0	
0,0	0,51740	0,69066	MAPA A
0,3	0,7	0,86391	
0,5	1,0		
0,7			
1,0			

DECLIVIDADE	
0 - 3% - Plano	MAPA C
3 - 8% - Suave-ondulado	
8% - 20% - Ondulado	
20% - 45% - Fonte-ondulado	
> 45% - Montanhoso	

O IGBD 5 traz os aspectos pedológicos para a matriz de indicadores. Os solos são relevantes para a análise de áreas desertificadas ou suscetíveis à desertificação, pois sua textura, estrutura e propriedades químicas afetam o armazenamento de água, a infiltração, a porosidade e a permeabilidade do solo, além de influenciarem a ação erosiva e a disponibilidade de nutrientes para a vegetação. Com base em estudos de Brandt e Geeson (2008), é possível construir indicadores de degradação das terras secas utilizando informações do solo. Por exemplo, solos com maior porosidade e capacidade de armazenamento de água podem ajudar a manter ecossistemas saudáveis e garantir a sobrevivência de populações locais em regiões com clima seco. Por outro lado, solos com textura inadequada, baixa porosidade e permeabilidade podem contribuir para a erosão do solo e para a desertificação.

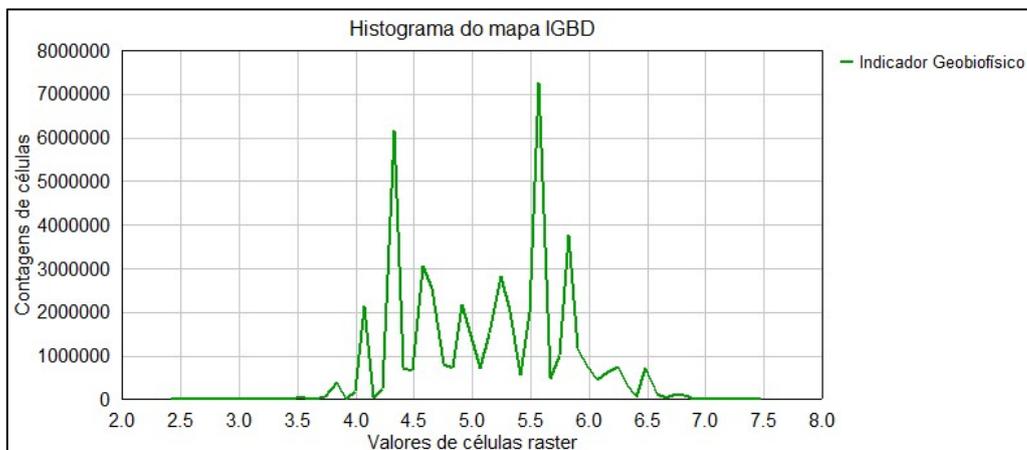
No Mapa 5 é possível visualizar a distribuição das classes de solo na sub-bacia. Foram identificadas três classes conforme o material bibliográfico e cartográfico levantado, e em campo manchas de Argissolos foram observadas. A espessura do solo, que é a característica quantificada, variou de raso a moderadamente raso. Conforme essa informação, toda a área apresenta solos suscetíveis à desertificação.

O IGBD 6 refere-se ao estado de conservação da vegetação reflexo da interação com os outros elementos da paisagem, em específico, o maior ou menor grau de interferência antrópica. O indicador é denominado Uso e Cobertura. Sabe-se que a vegetação é um elemento que sintetiza o ambiente, mostrando as interações entre as diferentes partes da paisagem. A análise integrada da vegetação é fundamental por diversos motivos, dentre eles: avaliar as capacidades e fragilidades da paisagem, e estudar a desertificação e as áreas suscetíveis a ela.

A Caatinga é a vegetação que predomina na região em questão. Apresenta-se em diferentes portes e densidade. Para construir esse indicador baseou-se no trabalho de Moro (2015), que divide a Caatinga em três tipos de vegetação: caatinga arbórea, caatinga arbustiva aberta e caatinga arbustiva densa, com base nas variações de porte e estado de conservação das espécies. Essa análise permitiu identificar e espacializar o tipo de cobertura na sub-bacia. Nos sertões a Caatinga aberta predomina, equanto que nas serras a Caatinga arbustiva e arbórea é predominante. As três variações estão presentes em todos os sistemas ambientais, modificando, apenas, a proporção de cada uma.

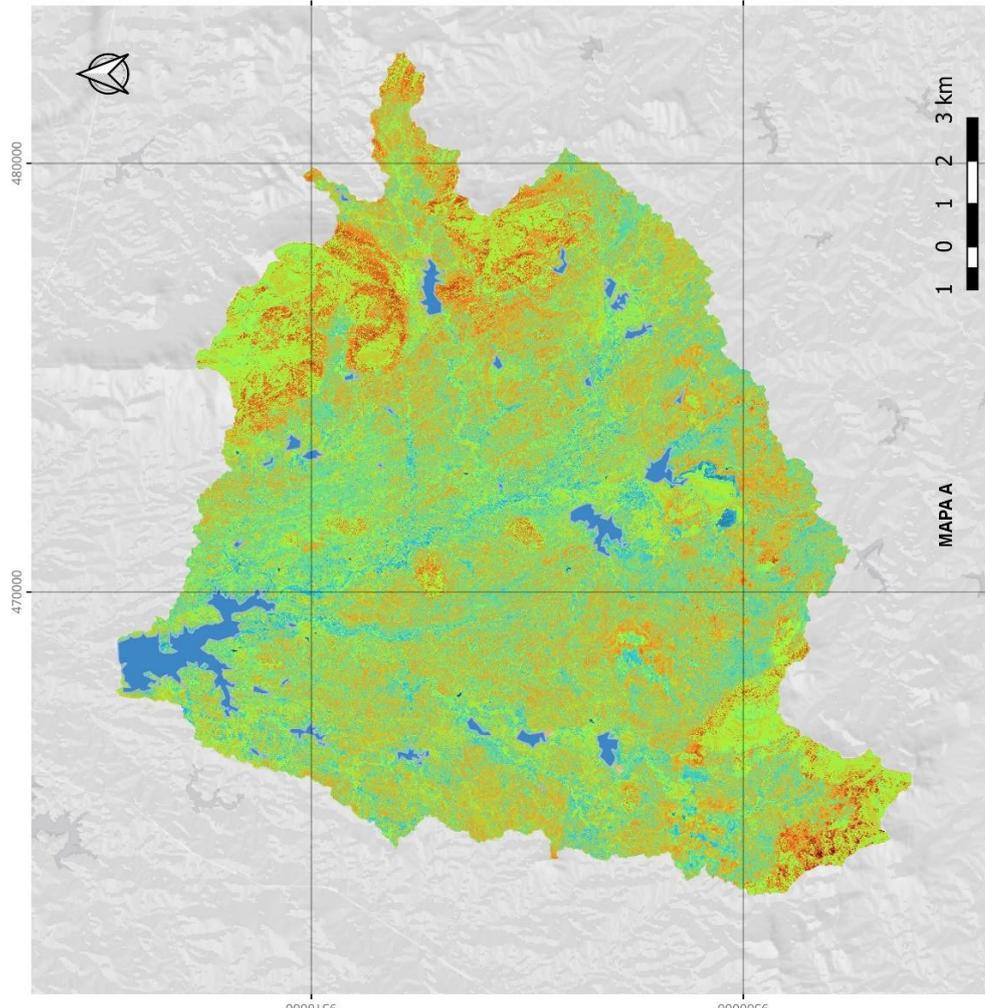
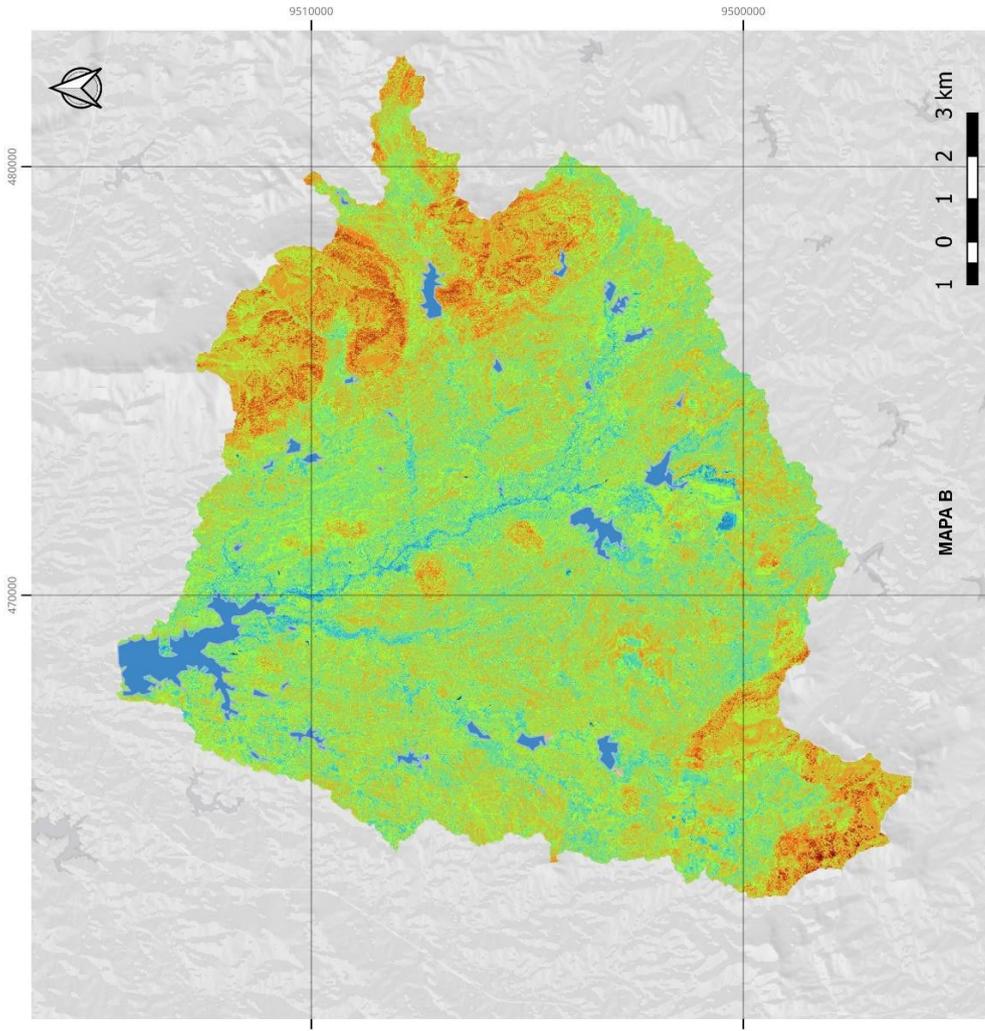
As informações geradas a partir da aplicação dos indicadores e utilização da técnica Álgebra de Mapas culminaram na construção do Mapa 10, que classifica a suscetibilidade à desertificação dos sistemas ambientais em potencial e emergente. Esse resultado foi possível seguindo a metodologia proposta, em que primeiro gera-se os níveis de suscetibilidade da imagem a partir da sobreposição das informações dos mapas de geologia, solos, declividade, SAVI, cobertura vegetal e uso e cobertura, e posteriormente, utilizando estatística descritiva, organiza os dados para seu tratamento e obtenção da moda, que refere-se a informação que mais se repete na área dos sistemas.

Figura 28 – Histograma do valor das células de pixel do mapa de suscetibilidade



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Conforme o histograma apresentado, a maior frequência se concentra no intervalo de 5,5 a 6. Portanto a área da sub-bacia apresenta um nível moderado a alto de suscetibilidade à desertificação. Cabe retrazer que cada indicador recebe uma nota e um peso para gerar um valor. Esse valor, que varia de 2,5 a 7,5, é que é considerado no cálculo do mapa de suscetibilidade, por isso o histograma apresenta valores de 2,5 a 7,5. O Mapa 9 foi elaborado para comparar o uso da média ponderada durante a aplicação da Álgebra de Mapa, pois considera-se nesta pesquisa que o papel da vegetação é fundamental na diminuição da suscetibilidade à desertificação, sendo ela, o elemento natural que compõe o sistema capaz de atenuar a ação dos processos morfogenéticos. Essa perspectiva foi fundamentada na Teoria Ecodinâmica de Tricart (1977), por isso os IGBD tiveram pesos diferentes conforme sua importância na dinâmica natural do sistema em relação a ativação ou inibição da morfogênese.



LEGENDA - NÍVEL DE SUCETIBILIDADE

IGBD	MAPA A	MAPA B
Muito Baixo (2,5)	Muito Baixo (1,85)	
Baixo (3,5)	Baixo (2,5)	
Moderado (5)	Moderado (3)	
Alto (6)	Alto (3,5)	
Muito Alto (7,5)	Muito (4,5)	

O material cartográfico referente ao Mapa A foi elaborado a partir de inferência geográfica, em que foi usado o procedimento de Álgebra de Mapa no QGIS. A cada indicador foi dado um peso, resultando em regiões semelhantes que compõem o mapa síntese de nível de suscetibilidade. Para o mapa B, também foi realizada operação com Álgebra de Mapas, porém sem utilizar média ponderada.

Os dados de entrada para a elaboração foram: Mapa de Geologia, Mapa de Solos, Mapa de Uso e Cobertura, Mapa SAVI, Mapa de Cobertura Vegetal e Mapa de Declividade.





UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFÍSICOS DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO, APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 9 - MAPA DE COMPARAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO, UTILIZANDO MÉDIA PONDERADA

Autora: Elen Karine Forte Pessoa: Prof.^a Dr.^a Vládia Pinto Vidal de Oliveira

Observa-se que no Mapa B há uma concentração de pixels referentes à qualidade alto e muito alto nas áreas de maiores declives, solos rasos e que correspondem às rochas da Unidade Independência. A declividade é determinante na morfodinâmica dos ambientes. Sabe-se que em áreas de maiores declives o transporte de detritos é mais acelerado do que nas áreas onde a gravidade é aplicada com menor força, isto é, nos relevos mais planos ou nas áreas mais baixas do terreno. Contudo, segundo Tricart (1977), a supressão da vegetação é ativadora dos processos degradacionais, portanto, mesmo em terrenos de elevado declive a cobertura vegetal pode exercer papel de protetora do solo, reduzindo os processos erosivos.

Todos os componentes de um sistema atuam de maneira interligada, exercendo cada um seu papel na dinâmica do ambiente. Posto isto, entende-se que diante de um fenômeno como a desertificação que ocorre no semiárido nordestino, que é caracterizado por chuvas irregulares quanto a sua distribuição no tempo, no espaço e no volume precipitado, com predomínio de solos rasos a moderadamente rasos, atribuir o mesmo peso aos componentes do sistema anula o papel fundamental da vegetação na prevenção da expansão da desertificação ou aumento das áreas suscetíveis a ela.

A teoria elaborada por Tricart (1977) reconhece a importância dos elementos biológicos na estabilização do relevo e na interação entre a biosfera e a geosfera. Tricart enfatizou a influência dos fatores biológicos, incluindo a vegetação, na estabilização e na evolução do relevo, ou seja, na morfodinâmica. As plantas desempenham um papel estabilizador, protegendo o solo contra a erosão, promovendo a formação de solos e contribuindo para a modulação dos processos geomorfológicos. Portanto, no balanço entre declividade e cobertura vegetal, optou-se por destacar a vegetação dando um peso maior aos indicadores relativos a ela.

No Mapa A, pode-se observar que a classe alto se distribui pela superfície sertaneja. Nos sistemas serranos de elevada cobertura vegetal ainda há uma concentração das classes muito alto e alto, embora haja uma região contínua de pixels que representam a classe moderado. Em campo, pode-se constatar que essas áreas são preservadas e algumas designadas à utilização sustentável dos recursos naturais.

O Mapa 10 traz uma proposta de classificação da sub-bacia em dois níveis de suscetibilidade com base na moda dos valores gerados. A partir da área de cada sistema ambiental foi tirada a moda do conjunto dos dados. Como a frequência dos valores entre cinco e seis são maiores, logo ocupam mais metros quadrados, foi tomado esse intervalo para definir a modalidade de suscetibilidade.

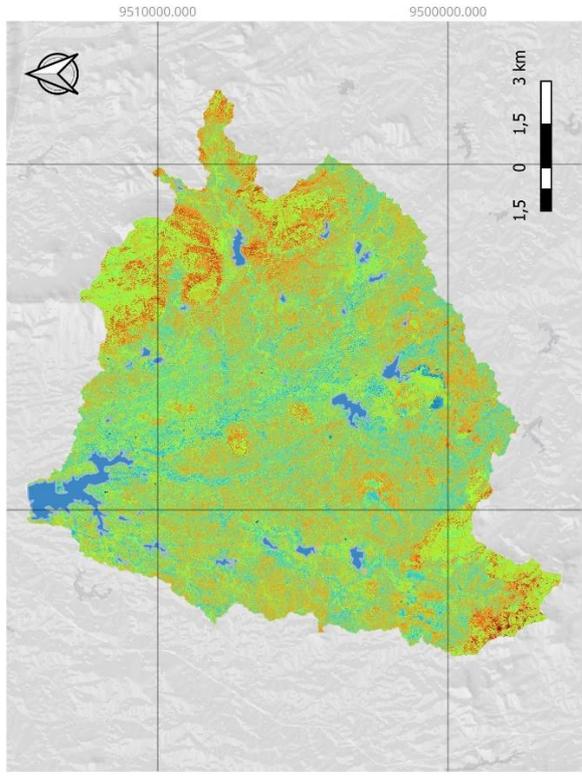
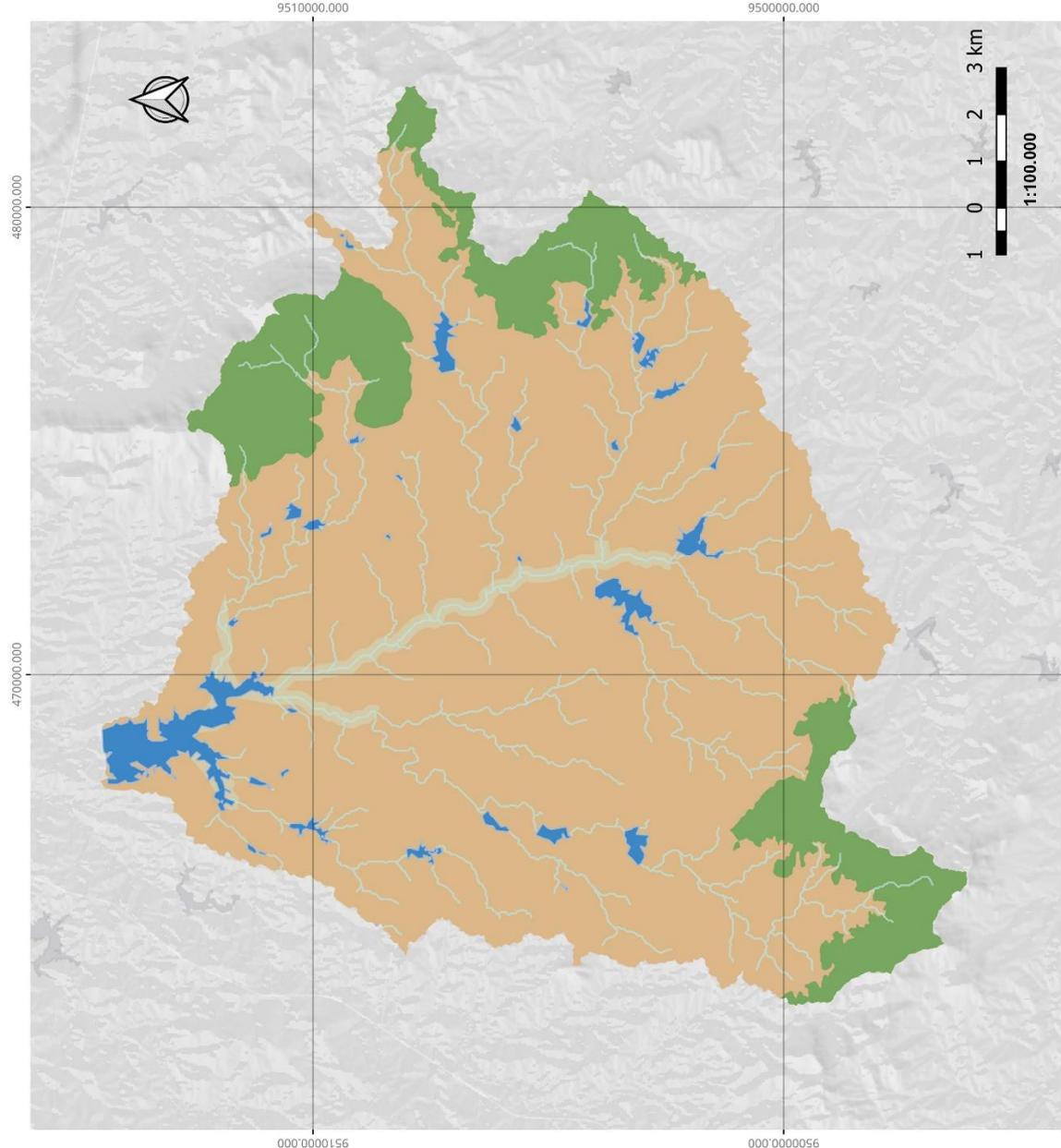


UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INDICADORES GEOBIÓFISICOS DE SUSCETIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO APLICADOS AOS SISTEMAS AMBIENTAIS NA SUB-
BACIA DO RIACHO JURITI, MUNICÍPIO DE CANINDÉ-CE

MAPA 10 - NÍVEL DE SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO DA SUB-
BACIA DO RIACHO JURITI

Autora: Elen Karine Forte Pessoa: Prof.^a Dr.^a Viádia Pinto Vidal de
Oliveira



LEGENDA

Suscetibilidade à Desertificação

- Suscetibilidade Potencial (5,25)
- Suscetibilidade Emergente (5,58)

Após o tratamento dos dados da base gerada pela técnica de Álgebra de Mapa, foi possível classificar cada sistema ambiental em dois níveis: Suscetibilidade Potencial, cujo valor que mais se repete na área do sistema é 5,25; e Suscetibilidade Emergente, cujo valor 5,58 é o predominante. A moda foi utilizada para essa classificação, pois os valores de média não condizem com a realidade devido os valores dos "outliers".

Sistema de Referência de Coordenadas
Universal Transverse Mercator
(UTM) Zona 24S
Datum: SIRGAS 2000
Data: 05/2023
Elaboração: Elen Karine Forte Pessoa

IGBD

- Muito Baixo (2,5)
- Baixo (3,5)
- Moderado (5)
- Alto (6)
- Muito Alto (7,5)

Nível de Suscetibilidade à Desertificação na Sub-bacia do Riacho Juriti

Observa-se no Mapa 10 que os sistemas ambientais Serra da Gameleira, Serra da Cacimba Nova e Cristas da Lagoa Verde estão classificados como de Suscetibilidade Potencial, ou seja, caso a degradação ocorra por meio da supressão da vegetação esses ambientes se tornarão muito suscetíveis a desertificação, tendo a declividade como um elemento agravante. Os sistemas sertanejos, Sertão do Salão e Sertão do Carnaubal, foram classificados como de Suscetibilidade Emergente, ou seja, já são suscetíveis à desertificação. Nesse caso, algumas propostas são indicadas para a melhoria desse quadro:

- a) Restauração da Caatinga: reflorestar e restaurar é uma das maneiras mais eficazes para diminuir os riscos à desertificação. As plantas ajudam a reter a umidade do solo, reduzir a erosão e melhorar a qualidade do solo.
- b) Práticas agrícolas sustentáveis: a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, irrigação eficiente e manejo integrado.
- c) Conservação da qualidade e quantidade de água: a conservação da água é fundamental nesse processo. Isso inclui a construção de barragens e sistemas de irrigação, bem como a recuperação de áreas úmidas e a adoção de técnicas de retenção de água no solo.
- d) Gestão de terras e regularização fundiária: a gestão adequada da terra é essencial para evitar a desertificação. Isso inclui o estabelecimento de áreas protegidas, o monitoramento do uso da terra e a adoção de práticas de gestão sustentável.

Nas áreas de suscetibilidade potencial estão alguns assentamentos rurais federais do município de Canindé. A relação das comunidades com o trato da terra através de práticas de manejo sustentável e de preservação da mata nativa deve ser mencionada e considerada relevante na análise realizada.

Embora todos os sistemas apresentem suscetibilidade à desertificação, os sistemas de maior declividade apresentaram os menores valores de suscetibilidade se comparado com os sistemas sertanejos. Isso pode ser explicado pela presença da vegetação, que funciona como estabilizadora e atenuadora dos processos morfodinâmicos.

6 CONCLUSÃO

Compreender o comportamento dos sistemas ambientais é crucial para o planejamento de uso e ocupação do solo, proteção e conservação dos ambientes, gestão e ordenamento territorial. A desertificação é a degradação das terras secas causada pela ação combinada das condições climáticas e interferências humanas. Portanto, entendê-la a partir dos pressupostos da Teoria Ecodinâmica, com foco no papel estabilizante da vegetação, pôde ajudar a compreender como a presença da cobertura vegetal ou sua ausência afetam o equilíbrio do sistema, intensificando ou atenuando a desertificação em escala local.

Os Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD) foram construídos a partir dessa perspectiva, onde cada indicador teve um peso de acordo com sua importância na ativação, intensificação ou suavização dos processos morfogênicos. Assim, aqueles relacionados à vegetação obtiveram um peso maior do que os demais. Os resultados obtidos demonstram, primeiramente, que a escolha do sistema ambiental como recorte espacial de análise dentro da sub-bacia é favorável, pois eles integram de maneira organizada os diversos componentes que compõem a paisagem e suas diferentes funções e relevâncias em relação aos processos de degradação ambiental das terras secas.

No capítulo 4 foi realizado um diagnóstico físico-ambiental da área de estudo, o que possibilitou, além da delimitação dos sistemas, a organização dos dados usados para a construção dos indicadores. Tais indicadores foram: Geologia, relacionado aos litotipos e suas propriedades de permeabilidade; Declividade, que ajuda a compreender a velocidade dos processos modeladores; SAVI e Cobertura Vegetal, que estão relacionados a densidade e proporção da vegetação; Solos, pois sua espessura determina a permeabilidade e capacidade de retenção de água; e por fim, Uso e Cobertura do Solo.

Através do cruzamento dos indicadores foi elaborado os mapas dos Níveis de Suscetibilidade à Desertificação e Suscetibilidade Potencial e Emergente para cada Sistema Ambiental. Verificou-se que nos ambientes serranos os níveis de suscetibilidade são semelhantes aos encontrados nos sertões, no entanto, apresentam melhores condições, representadas pelos valores dos indicadores relacionados à vegetação, o que diminui a sua suscetibilidade à desertificação. Esse papel importante da vegetação é discutido por Henri Erhardt na Teoria da Biostasia ao afirmar que a biota mantém o equilíbrio dos ambientes, pois tem uma capacidade autorregulatória que mantém as condições ambientais dentro de um intervalo ótimo para a vida. Tricart também compartilha dessa

perspectiva em sua Teoria Ecodinâmica. Logo, a vegetação é estabilizadora e agente atenuante dos processos morfogenéticos.

Portanto, pode-se concluir que a desertificação é a manifestação do desequilíbrio de um sistema por interferências no seu balanço energético. Esse desequilíbrio é desencadeado a partir da supressão vegetal, elemento importante na manutenção das condições estáveis dos ambientes, conforme os pressupostos da Teoria Ecodinâmica. Logo, a desertificação e a suscetibilidade a ela podem ser consideradas a expressão espacial da instabilidade do meio em função da relação de um conjunto de elementos ambientais, dentre esses, a vegetação exerce papel fundamental. Nesta pesquisa foi dado maior ênfase no estudo da influência da cobertura vegetal para a suscetibilidade à desertificação, propondo, assim, uma nova abordagem que contribua com o desenvolvimento dos IGBD.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, Elena María; BEEKMAN, Gertjan B. **Indicadores de la desertificación para América del Sul**. Mendoza, Argentina: LaDyOT - IADIZA - CONICEF, 2006.
- ALMEIDA, A.R; ULBRICH, H.G.J. O Batólito Granítico Quixeramobim- CE: aspectos estruturais internos e mecanismo de alojamento crustal. **Revista de Geologia UFC**, Fortaleza, 2003.
- ALMEIDA, C. N.; GUIMARAES, I. P.; BEURLIN, H.; TOPITSCH, W. M.; FERRER, D. M. M. Evidências de metamorfismo de alta pressão na faixa de dobramentos Pajeú – Paraíba, Província Borborema, nordeste do Brasil: petrografia e química mineral de rochas metamórficas. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 39, n.3, p. 421- 434, 2009.
- ALMEIDA, I. C. S.; SOUZA, M. J. N. Convergências e controvérsias conceituais sobre degradação ambiental/desertificação. **Revista GeoUECE**, Fortaleza, v. 2, n. 3, p. 142-156, jul./dez. 2013.
- AMIRI, B. J., KHALILI, A., & AHMAD, B. B. A review of image fusion techniques in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], 35(1), p. 293-312, 2014.
- AQUINO, J. W. C. de.; SANTOS, A. M. Análise da estrutura e distribuição da cobertura vegetal das caatingas em diferentes áreas de sequeiro no Vale do São Francisco (Bahia e Pernambuco) nas últimas três décadas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 24, n. 55, 2020.
- ARAÚJO, D. T. **Indicadores de degradação ambiental/desertificação no município de Parambu/CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- BARBIERI, G. M. L. **Eventos de chuva extrema associados a sistemas atmosféricos de escala sinótica e escala local no Estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BELLOLI, T. F.; GUASSELLI, L. A.; KUPLICH, T.; RUIZ, L. F. C.; SIMIONI, J. P. D. Classificação baseada em objeto de tipologias de cobertura vegetal em área úmida integrando imagens ópticas e SAR. **Revista Brasileira de Cartografia**, SBC, [s. l.], v. 74, n.1, p. 67-83, 2022.
- BERRETO, L. L. **Indicadores geobiofísicos de suscetibilidade à desertificação nas serras de Uruburetama, da Meruoca e nos Sertões do Centro Norte – Ceará – Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 249–272, 1968.

BÉTARD, F. CLAUDINO-SALES, V. PEULVAST, J-P. Avanços recentes na geomorfologia e pedologia do Estado do Ceará: o caso do Maciço de Baturité e de sua superfície de piso. *In: SINAGEO*, 2012. Brasília-DF. Anais [...] Brasília: UNB, 2012.

BRANDT, J.; GEESON, N. **Desertificação e Indicadores**, 2008. Disponível em: http://desertificacao.pt/images/docman-files/lucinda/A2_Booklet_Final_PT_rev3.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRANDT, J.; GEESON, N. Desertification indicator system for Mediterranean Europe: Science, stakeholders and public dissemination of research results. *In: DYKES, A. P.; MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, K. (Orgs.). Monitoring and Modelling Dynamic Environments*. UK: John Wiley & Sons, 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. DF: Casa Civil, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 14 abr. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca PAN – BRASIL**. Brasília: MMA, 2004. Brasília: UNESCO, 2001.

BRITO, R. C. **Classificação orientada a objetos aplicada no mapeamento de ambientes da planície fluvial do Rio Purus, Sudoeste da Amazônia**. TCC (Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2023.

CAVALCANTI, A. P. B. Abordagens geográficas no estudo da paisagem. **Breves Contribuciones del I.E.G.**, [s. l.], n. 22, p. 57–74, 2010.

CAVALCANTI, E. R.; FERNANDES, S.; COUTINHO, S.; SANTIAGO, V.; SELVA, F. Desertificação e desastres naturais na região do semiárido brasileiro. **Cadernos de estudos sociais**, Recife, v. 22, n. 1, p. 19-32, jan./jun. 2006.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE**. Fortaleza: SDA, 2010. 372 p.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: Coronário Editora Gráfica Ltda, 2016. 252p.

CHERLET, M., HUTCHINSON, C., REYNOLDS, J., HILL, J., SOMMER, S., VON MALTITZ, G. **World Atlas of Desertification**. Luxembourg: Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2018.

CHRISTOFIDIS, D. Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos. *In: THEODORO, Suzi (Org.). Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais*. Rio de Janeiro: Grammond, 2009. p. 13-28.

- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blücher, 1999.
- COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Org.). **Impactos ambientais e urbanos no Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 416 p.
- COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; CLAUNIDO-SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.185-208, jan./mar. 2020.
- COSTA, L. R. F.; OLIVEIRA, V. P. V. Sistemas ambientais e indicadores de desertificação: dinâmica das paisagens semiáridas na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 11, n. 2. P. 238-258, 2017.
- COSTA, L. R. F. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação na Sub-bacia Hidrográfica do riacho Santa Rosa – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- DEMO, P. **Introdução à metodologia da ciência**. São Paulo: Atlas S.A, 1985.
- DESERTILINK. **Sistema de indicadores de desertificação para a Europa Mediterrânea**. DIS4ME, 2004. Disponível em: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/projects/DIS4ME/introduction_pt.htm. Acesso em: 22 abr. 2023.
- DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Indicadores climáticos das áreas com potencial de risco de desertificação no estado da Bahia. *In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 8., 2015, Lavras-MG. Anais [...]. Lavras: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2015. p. 297-305.
- DRANOVA, I. Object-based image analysis in Wetland research: a review. **Remote Sens**, [s. l.], v. 7, p. 6381-6413, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p.
- ERHARDT, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia geomorfológica**, Campinas-SP, v. 4, n. 11, p. 51-58. 1966.
- FERNANDES, A.; BEZERRA, P. **Estudo Fitogeográfico do Brasil**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990.
- FIGUEIREDO, M. A. A cobertura vegetal do Ceará (Unidades Fitoecológicas). *In: Atlas do Ceará*. Governo do Estado do Ceará; IPLANCE, Fortaleza. 1997.
- FIGUEIREDO, M. A. A. Vegetação. *In: Atlas do Ceará*. Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará-SUDEDEC, Fortaleza. 1986.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS -FUNCEME. **Portal Hidrológico do Ceará**. Fortaleza: 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/app/pagina/show/159>. Acesso em: 10 jan. 2023.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS -FUNCEME. **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação do núcleo I – Irauçuba/Centro-Norte**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2015. 300 p.

GALVANI, E. ; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. *In*: GALVANI E.; LIMA, N. G. B. (Org.). **Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos de caso**. Curitiba: Editora CRV, 2012.

GAMEIRO S., TEIXEIRA C.P.B., SILVA NETO T.A.; LOPES M.F.L., DUARTE C.R., SOUTO M.V.S., ZIMBACK C.R.L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, [s. l.], v.13, p.15-22, 2016.

GONÇALVES BARBOSA, L.; GONÇALVES, D. A paisagem em Geografia:diferentes escolas e abordagens. **Élisée - Revista de Geografia da UEG (ISSN 2316-4360)**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 92–110, 2015.

GORAYEB, A.; PEREIRA, L. C. C. **Análise integrada das paisagens de Bacias Hidrográficas na Amazônia Oriental**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

GUEDES, T. A.; ACORSI, C. R. L.; MARTINS, A. B. T.; JANEIRO, V. **Projeto de ensino: aprender fazendo estatística**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2005.

GUIMARAES, I. P.; BRITO-NEVES, B.B. Geochemistry characterization of part of the early Neoproterozoic plutonism in the Central structural domain of the Borborema Province, NE Brazil. *In*: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32., 2004, Florença. Abstract [...]. Florença: [s.n.], 2004.

INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS. **Visualizador da INDE**. INDE, 2023. Disponível em: <https://visualizador.inde.gov.br/>. Acesso em: 16 de jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Brasil: IBGE - Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário de canindé**. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/caninde/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 10 de nov 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. IGBE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/caninde.html>. Acesso em: 20 abr. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Mapa des Unidades Fitoecológicas do Ceará**. Fortaleza: IPECE, 2021. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/125x.htm>. Acesso em: 17 abri. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal**: Canindé. Fortaleza: Secretaria do planejamento e coordenação, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de geração de imagens**. INPE, 2023. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 15 de jan. 2023.

JACOMINI, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 5 e 6, p.161-179. 2009.

JANNUZZI, P. de M. **Indicadores sociais no Brasil**: conceitos, medidas e aplicações. 3. ed. Campinas: Alínea; Campinas: PUC, 2004.

JESUS, J. B.; SANTANA, I. D. M. Estimation of land surface temperature in caatinga area using Landsat 8 data. **Open Jornal Systems**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 150-157, 2017.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). **Tempo e Clima**: no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LASZLO, E. **The systems view of the world. The natural philosophy of the new developments in the sciences**. Nova York: George Braziller, 1972.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Parte I**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

LOPES, I.; LEAL, B. G.; Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos Estados da Bahia e Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 22, n. 14, p. 155-172, jul./dez. 2015.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2004. 178 p.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. B. **Tópicos especiais de geomorfologia estrutural: nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

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

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MIRZABAEV, A.; STRINGER, L. C.; BENJAMINSEN, T. A.; GONZALEZ, P.; HARRIS, R.; JAFARI, M.; STEVENS, N.; TIRADO, C. M.; ZAKIELDEEN, S. Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. *In*: PÖRTNER, H.O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. (org.) **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press, 2022. p. 2195–2231.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [s. l.], p. 717-743, 2015.

MOURÃO, R. M. Contributo para estudo económico dos indicadores regionais. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, Portugal, n. 12, 2006, p. 77-92. 2006.

NAKASHIMA, M. R. et al. Dos solos à paisagem: uma discussão teórico-metodológica. **Revista da Anpege**, [s. l.], v. 13, n. 20, p. 30–52, 2017.

NASCIMENTO, F. R.; CARVALHO, O. Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão geoambiental: uma proposta metodológica. **Revista Fluminense de Geografia**, Niterói, n. 02, p. 61-82. 2003.

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 21, 2004.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: Editora UFG, 2013.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues. **Recursos Naturais e Desenvolvimento Sustentável: subsídios ao manejo geoambiental da sub-bacia do baixo Pacoti – CE**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2003.

NIMER, E. Climatologia Nordeste da Região do Brasil: Introdução Climatologia Dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 3-51, abr./Jun., 1972.

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.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A. J. A.; (Orgs) **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores Biofísicos de Desertificação, Cabo Verde/África. **Mercator** – Revista de Geografia da UFC, v. 10, n. 22, p. 147 – 168, mai./ago. 2011.

OLIVEIRA, V. P. V.; SOUZA, M. J. N. Enfoque geoambiental no ordenamento territorial de bacias hidrográficas. *In*: PHILIPPI JR, A.; SOBRAL, M. C.; (Orgs) **Gestão de Bacias Hidrográficas e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2019.

ONU. **United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**. [s. l.], [s. n.],

1994. Disponível em: https://catalogue.unccd.int/936_UNCCD_Convention_ENG.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

PACHÊCO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. A transdisciplinaridade da desertificação. **Geografia**, Londrina, v. 15, n. 1, p. 5-35, jan./jun. 2006.

PENTEADO, M. M. Metodologia integrada no estudo do meio ambiente. **GEOGRAFIA**, [s. l.], p. 128-148, out. 1985.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M.; COSTA, F. G.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; GOMES, F. E. M.; BESSA, M. D. M. R.; LIMA, A. F.; HOLANDA, J. L. R.; FREIRE, D. P. **Projeto geologia e recursos minerais do Estado do Ceará: mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2020. Escala 1:500.000.

POPP, J. H. **Geologia Geral**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

QUADRO, M.F.L; MACHADO, L.H.R; CALBETE,S; BATISTA; N.N.M e OLIVEIRA,G.S. **Climatologia de precipitação e temperatura**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. CPTEC/INPE, 1997. 18 p.

REGO, A. H. **Os sertões e os desertos: o combate à desertificação**. Brasília: FUNAG, 2012.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9. ed. São Paulo: Contexto, 2020.

SALES, M.C.L.; OLIVEIRA; J. G. B. DANTAS, S. P. Classificação climática de Thornthwaite e Mather aplicada ao estado do Ceará. 1ª aproximação: segundo o índice efetivo de umidade. *In*: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 2010, Fortaleza-CE. Anais: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Recife. **Anais** [...]. Recife: Conferências. 2005.

SAMPAIO, E.; SAMPAIO, Y. **Desertificação**. Recife: EDUFPE, 2002.

SANN, J. G. O papel da cartografia temática nas pesquisas ambientais. **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, V.16, p. 61-69, 2005.

SANTOS, J. E. B.; MONTEIRO, K. A.; NASCIMENTO, M. C. avaliação de desempenho dos índices de NDVI, SAVI e EVI na análise da cobertura de uso do solo em um setor do município de Jequiá da Praia, Alagoas. **GeoNorte**, São Cristovão, n. 1, p. 208-226, jun. 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia e recursos minerais das folhas QUIXADÁ (SB.24-V-B-IV) e Itapiúna (SB.24-X-A-IV)**. Fortaleza: CPRM, 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, Ceará. CPRM, 2020.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Atlas aerogeofísico do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2021.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO-NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XVIII, n. 3, p. 137-152, jul. 2015.

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

SILVA, E. G. B.; OLIVEIRA, V. P. V.; Identificação das áreas suscetíveis à desertificação no estado do Ceará: antecedentes cartográficos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, UFPE, v. 10, n. 4, p.1269-1280, 2017.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação das áreas susceptíveis a processos de desertificação no médio trecho da bacia do Ipojuca - PE através do mapeamento do estresse hídrico da vegetação e da estimativa do índice de aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 3, p. 629-649, 2011.

SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, p. 1446-1456, 2012.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 22, n. 14, p. 363-380, jan./jun. 2018.

SOLIGO, V. Indicadores: conceitos e complexidade do mensurar em estudos de fenômenos sociais. **Est. Aval. Educ.**, São Paulo, v. 23, n. 52, p. 12-25, mai./ago. 2012.

SOUZA, J. M. N.; OLIVEIRA, V. P. V. Análise Ambiental - Uma Prática da Interdisciplinaridade no ensino e na Pesquisa. **Rede: Revista Eletrônica do Prodepa**, [s. l.], v. 7, p. 42-59, 2011.

SOUZA, M. N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia da UFC**. Fortaleza, n. 1, p. 73-91, jun, 1988.

SOUZA, M. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. *In*: LIMA, L. C.; ORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Parte I**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOUZA, M. N. Compartimentação geoambiental do Ceará. *In*: SILVA, J. B; CAVALCANTE; T. DANTAS, E. (Org). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Mapa exploratório - reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Escala: 1: 600.000. Recife: SUDENE/EMBRAPA, 1973.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97 p.

TRINDADE, I. V; MARTINS SÁ, J; MACEDO, M. H. F; Comportamento de elementos químicos em rochas mineralizadas em ouro na Faixa Seridó, Província Borborema. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 2, 2008.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M., (Org.) **Hidrologia**. Porto Alegre, EDUSP, ABRH, p. 573-611, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4), 1993.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento sistêmico**: o novo paradigma da ciência. 11. ed. Campinas, SP: Papyrus, 2018.

ZANELLA, M. E. Caracterização Climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. *In*: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, T. (Orgs.). **Ceará**: um novo olhar geográfico. 2ªed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

**APÊNDICE A – VALORES DE SUSCETIBILIDADE DE CADA SISTEMA
AMBIENTAL**

Sistema Ambiental	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Mínimo	Área
Sertão do Salão	5,08873738	0,63849421	2,41666674		5,58333349	
	1	5	6	7,25	2	97638554,4
Sertão do Logradouro	5,34559939	0,60604522	3,41666674	7,08333349	5,58333349	
	8	1	6	2	2	7332872,63
Sertão do Carnaubal	5,11152348	0,65533708	2,91666674		5,58333349	57717806,1
	7	2	6	7,25	2	9
Serra da Gameleira	5,55622641	0,59232632	3,58333325	7,08333349		11258888,2
	4	9	4	2	5,25	5
Serra da Cacimba Nova	5,45908132	0,65726544				
	3	9	3,75	7,25	5,25	8820030,62
Cristas da Lagoa Verde	5,46933934	0,62447548	3,83333325			
	3	7	4	7,5	5,25	9797315,49