



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

LARISSE FREITAS SOARES

**SUSCEPTIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO
RIO CANINDÉ (CEARÁ, BRASIL)**

FORTALEZA
2023

LARISSE FREITAS SOARES

SUSCEPTIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO
RIO CANINDÉ (CEARÁ, BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.

Orientador: Prof. Dra. 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)

- S655s Soares, Larisse Freitas.
 Susceptibilidade a desertificação no alto curso da sub-bacia do rio canindé (Ceará, Brasil) / Larisse
Freitas Soares. – 2023.
 124 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação
em Geografia, Fortaleza, 2023.
 Orientação: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.
1. Indicadores de Desertificação. 2. Bacia hidrográfica. 3. Semiárido. 4. Sistemas ambientais. 5.
Recursos naturais. I. Título.

CDD 910

LARISSE FREITAS SOARES

SUSCEPTIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO
RIO CANINDÉ (CEARÁ, BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Dr. Diego Teixeira de Araújo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A São Francisco, em seu eterno amor pela irmã natureza e aos seus semelhantes. E a Dona Maria, por toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, e a seu eterno apóstolo São Francisco de Assis (de Canindé também).

A minha mãe/vó dona Maria por sempre ter colocado em minha rala sanidade a necessidade da educação na vida de um trabalhador. Ela que com todas as dificuldades nunca me deixou desistir.

Ao meu esposo, Yrving Brandão, por toda paciência, amor e companheirismo dos últimos 7 anos, e a todo período que estamos juntos. Sempre me encorajando e auxiliando em todo esse processo, isso não seria possível sem você.

A minha mãe Leziene pela vida que me deu, e aos meus irmãos, Wesley e Alan pelo forte laço fraterno que nos uni. Ao meu pai, José (IN MEMORIA), só queria dizer que todo aquele esforço teve frutos e um sentido no final.

Aos meus amigos, Marcos e Osmar por sempre acreditarem nas minhas ideias mirabolantes, vocês dois tiveram papéis cruciais nessa etapa acadêmica, sempre me apoiando e dialogando sobre a estrutura e produção desse trabalho.

Aos meus apoios técnicos, Vitor Sales, Sarah e Juliana Moreira, por toda a dedicação aos meus mapas e as minhas demandas malucas. Vocês fizeram essa dissertação possível.

Ao professor Christian Dennys, meu primeiro orientador, o primeiro a ver algo que nem eu via, potencial de ser mais que uma professora, mas uma futura pesquisadora. Tudo começou com o professor, e nunca terei palavras ou ações que sejam o bastante para lhe agradecer.

A minha orientadora, Professora Vlândia, que me acompanhou em todo esse percurso. Da graduação, ao Mestrado, sempre sorridente e desafiante. Uma grande professora, pesquisadora, orientadora e amiga. Não há nada que não seja possível com o apoio da senhora, lhe devo tudo que aprendi até aqui.

Aos professores Diego Teixeira e Érika Brito, pela participação na banca, bem como em todo o processo dessa pesquisa, com pontuações, correções e sugestões que enriqueceram essa dissertação.

Ao meu querido Laped, por ser o ponto de encontro de grandes amizades e aprendizados. Aos meus amigos lapedianos: Moisés, Joy, Leticia, Hudson, Eduardo. E aos novos: Sol, Auri e Rômulo. Sou grata por toda essa energia positiva, ensinamentos e amizade que recebi ao longo desses anos.

A minha segunda família da EEM Murilo Borges. Nesse ambiente aprendi a ser professora, chorei, sorri e me estressei e fui muito feliz. A gestão, Célia, Carmem, Marcelo e Lindemberg por me apoiarem em todas as minhas loucuras, e sempre colocarem que eu posso ir além.

Aos meus irmãos postigos Felipe, Mensio, Raul, Ligia, Daniel, Ed, Ingrid, Marcos, Thiago, Bosco e Micarla por todas as risadas e consolo na sala dos professores. Vocês me fizeram feliz em toda minha trajetória, no trabalho e na academia. Impedindo surtos e acalmando meus nervos. A amizade de vocês é para o resto dos meus dias.

A todo apoio de Camila, Neuda e Sônia, minhas gestoras, que em toda a sabedoria de ambas, pude contemplar a paz de espírito. Agradeço por todo esse amor em forma de diálogos.

A todos os professores do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará que contribuíram para minha formação acadêmica.

Ao secretário Erandi Araújo e Edilene que estiveram sempre presentes para tirar dúvidas nos transmisses administrativos na Pós-Graduação em Geografia.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

RESUMO

A desertificação vem ocorrendo de forma acentuada no semiárido cearense, ocasionando impactos socioambientais, como a perda da capacidade produtiva da terra. Esse fenômeno, sobretudo, é intensificado pelo uso e ocupação da terra, diante das pressões da sociedade sobre os recursos naturais. O principal objetivo é avaliar a susceptibilidade à desertificação no alto curso da sub-bacia hidrográfica do Rio Canindé, Ceará/Brasil por meio dos indicadores geobiofísicos de desertificação. Os objetivos específicos estão delineados a seguir: delimitar e caracterizar os componentes geoambientais os sistemas ambientais da sub-bacia; mensurar o percentual das áreas degradadas e/ou desertificadas presentes nas áreas de estudo; identificar as formas de ocupação e uso da terra, e suas implicações quanto à qualidade de vida da população local; caracterizar a paisagem para definição de suas potencialidades e limitações por meio dos indicadores geobiofísicos de desertificação. Quanto aos aspectos teóricos metodológicos, a pesquisa foi desenvolvida baseada na análise sistêmica, a qual, por meio dos estudos integrados da paisagem, considera-se a interação entre os elementos do potencial ecológico, da exploração biológica e da ação antrópica, e a aplicação dos Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD), têm com finalidade a agregação de novas áreas susceptíveis à desertificação dos objetos de estudo. A pesquisa está estruturada nas seguintes etapas: levantamento bibliográfico, onde foram desenvolvidas pesquisas documentais, levantamento de dados, levantamento cartográfico e elaboração da cartografia temática e, em campo, e etapa de síntese, com a elaboração do mapeamento temático. Foram obtidos os seguintes resultados: a delimitação dos sistemas ambientais, a identificação dos sistemas ambientais propícios à desertificação, ou seja, os sertões, cristas residuais e inselbergs, que são os mais vulneráveis. Verificou-se que o processo de desertificação interfere diretamente nas condições socioeconômicas, especialmente durante os anos secos, resultando na redução da produção agropecuária e extrativista, mesmo com o aumento das áreas de colheita. Isso acarreta um aumento no custo de produção para o morador do sertão. Portanto, é necessário implementar políticas públicas de uso dos recursos naturais no semiárido, a fim de mitigar os efeitos da degradação ambiental

Palavras-chave: indicadores de desertificação; bacia hidrográfica; semiárido; sistemas ambientais; recursos naturais.

ABSTRACT

Desertification has been occurring significantly in the semi-arid region of Ceará, causing socio-environmental impacts, such as the loss of the land's productive capacity. This phenomenon, above all, is intensified by the use and occupation of land, in the face of society's pressure on natural resources. The main objective is to evaluate the susceptibility to desertification in the upper reaches of the Canindé River sub-basin, Ceará/Brazil through geobiophysical indicators of desertification. The specific objectives are outlined below: delimit and characterize the geoenvironmental components and environmental systems of the sub-basin; measure the percentage of degraded and/or desertified areas present in the study areas; identify the forms of occupation and use of land, and their implications for the quality of life of the local population; characterize the landscape to define its potential and limitations through geobiophysical indicators of desertification. Regarding theoretical and methodological aspects, the research was developed based on systemic analysis, which, through integrated landscape studies, considers the interaction between the elements of ecological potential, biological exploration and anthropic action, and the application of Geobiophysical Indicators of Desertification (IGBD) aim to aggregate new areas susceptible to desertification of the study objects. The research is structured in the following stages: bibliographical survey, where documentary research was developed, data collection, cartographic survey and preparation of thematic cartography and, in the field, and synthesis stage, with the elaboration of thematic mapping. The following results were obtained: the delimitation of environmental systems, the identification of environmental systems prone to desertification, that is, the backlands, residual ridges and inselbergs, which are the most vulnerable. It was found that the desertification process directly interferes with socioeconomic conditions, especially during dry years, resulting in a reduction in agricultural and extractive production, even with an increase in harvesting areas. This leads to an increase in production costs for the inhabitants of the hinterland. Therefore, it is necessary to implement public policies for the use of natural resources in the semi-arid region, in order to mitigate the effects of environmental degradation.

Keywords: desertification indicators; hydrographic basin; semiarid; environmental systems; natural resources.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 —	Localização.....	16
Mapa 2 —	Unidades litoestratigráficas.....	49
Mapa 3 —	Unidades geomorfológicas.	55
Mapa 4 —	Perfil topográfico.....	57
Mapa 5 —	Declividade.....	62
Mapa 6 —	Precipitação anual.....	73
Mapa 7 —	Associação de solos.....	92
Mapa 8 —	Uso e cobertura da terra.....	62
Mapa 9 —	Sistemas ambientais.....	73
Mapa10 —	Susceptibilidade a desertificação	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASD	Áreas Susceptíveis à Desertificação
CAD	Capacidade de Armazenamento Disponível
CCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ESA	Agência Espacial Europeia
FAO	Food and Agriculture Organization
FCPC	Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Global Position System
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGBD	Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação e Uso
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LI	Linhas de Instabilidade
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PAE	Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PAN	Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PNM	Pressão ao Nível do Mar
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLÓGICA.....	18
2.1	Análise sistêmica da paisagem como ferramenta para o Planejamento Ambiental.....	19
2.2	A bacia hidrográfica como recorte espacial para a análise integrada da paisagem.....	24
2.3	A desertificação no contexto do semiárido Nordeste Brasileiro.....	28
2.4	Indicadores Biofísicos de Desertificação.....	36
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	41
3.1	Fases da pesquisa.....	42
3.2	Levantamento Bibliográfico.....	42
3.3	Bases de dados cartográficos e mapeamento temático.....	43
3.4	Trabalho de campo.....	45
3.5	Análise de dados e indicadores de desertificação.....	46
4	CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ.....	49
4.1	Geologia.....	50
4.2	Geomorfologia.....	52
5	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS.....	61
5.1	Aspectos climáticos	61
5.2	Balanco hídrico e corpos hídricos.....	65
5.3	Características morfométricas.....	70
5.4	Características Morfopedológicas e Cobertura Vegetal.....	72
6	DINÂMICA SOCIOECONÔMICA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	82
6.1	Contexto histórico de ocupação.....	82
6.2	Aspectos populacionais e socioeconômicos.....	84
6.3	Uso e cobertura da Terra.....	93
7	SISTEMAS AMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ.....	96
7.1	Sertões Aplainados de Canindé.....	97
7.2	Sertões Dissecados de Canindé.....	97

7.3	Cristas Residuais e Inselbergs.....	99
7.4	Maciço Residual da Serra do Machado (Vertente Oriental).....	100
7.5	Planícies fluviais e Áreas de Inundação Sazonal.....	101
8	SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ.....	106
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
	REFERÊNCIAS	116

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais nas regiões semiáridas associada ao contexto climático tem ocasionado um problema de maior magnitude e difícil reversão conhecido como desertificação (BARBOSA, 2017). Por se tratar de um processo dinâmico, é difícil determinar uma única causa para a desertificação, tendo em vista que esta geralmente resulta da interação de diversos fatores: biológicos, físicos, químicos e ambientais.

A atividade humana tem contribuído para o atual quadro de degradação ambiental em regiões áridas e semiáridas, produzindo alterações significativas na paisagem, levando ao comprometimento dos recursos naturais e à acentuação das desigualdades sociais e consequente redução da qualidade de vida da população afetada.

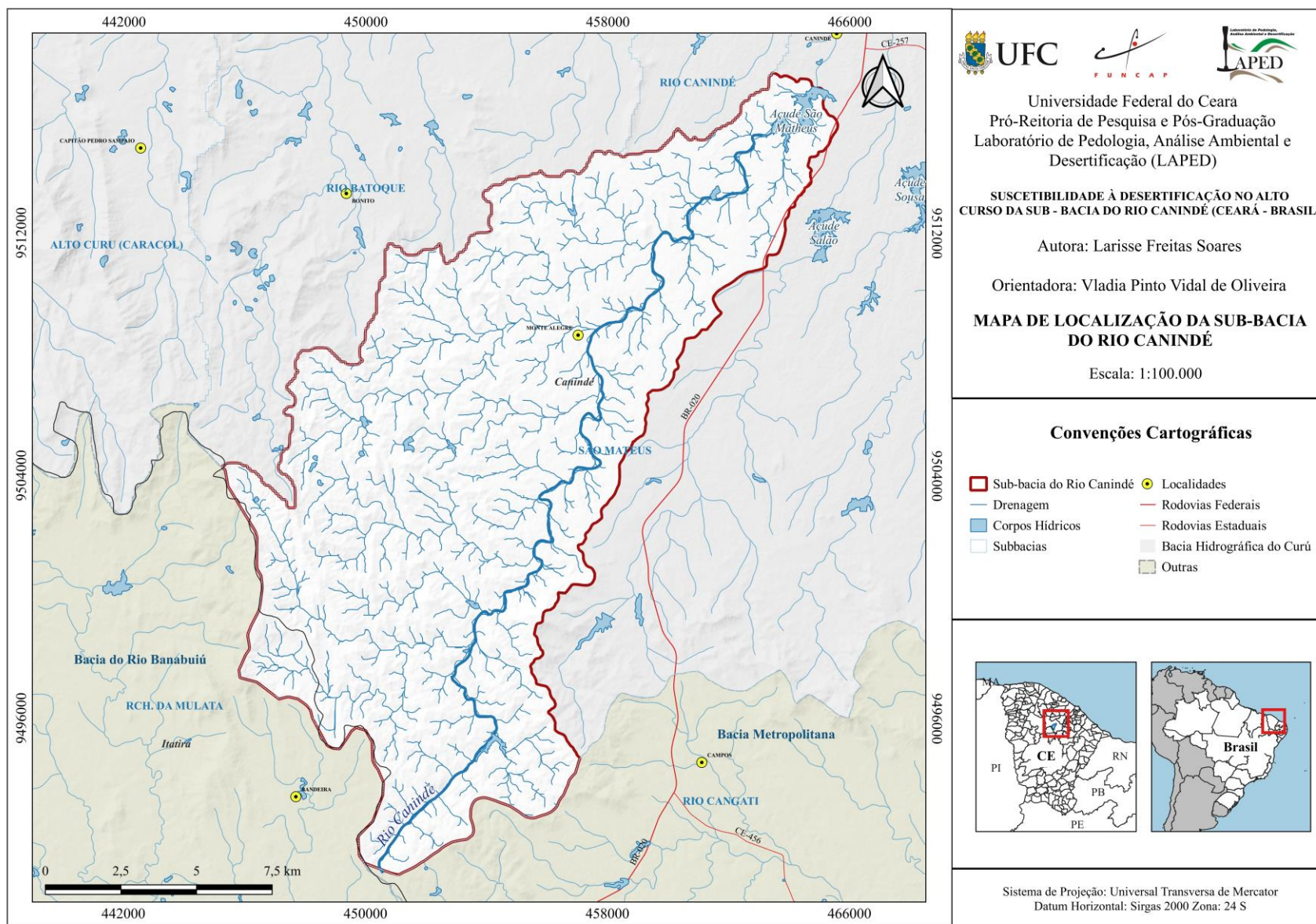
Os sertões cearenses, são exemplos de paisagens semiáridas que podem contribuir, significativamente, para o entendimento da dinâmica ambiental frente aos processos de desertificação. São áreas que possuem suas próprias particularidades, porém estão sujeitas às condições climáticas de semiaridez e sofrem fortes pressões ambientais, gerando assim um quadro progressivo de degradação ambiental, com tendência à desertificação.

O Estado do Ceará possui mais de 92,1% do seu território inserido à porção semiárida nordestina (MIN, 2017), onde a principal causa da degradação pedológica são as atividades antrópicas praticadas em sua extensão territorial. Essa degradação é decorrente do longo processo histórico de uso e ocupação do solo, por meio da expansão da pecuária, principalmente de bovinos e caprinos, o cultivo exaustivo de culturas agrícolas, extrativismo vegetal, além da alta susceptibilidade natural dos solos à erosão.

Neste sentido, conhecer a dinâmica dessas paisagens e suas principais formas de uso e ocupação ajuda a entender o desequilíbrio dos seus sistemas ambientais e as possíveis incidências de desertificação com repercussões na qualidade de vida das populações locais.

A escolha do alto curso da sub-bacia do rio Canindé (mapa 01), bem como o município homônimo para esta pesquisa se deu pelo fato de tal localidade apresentar susceptibilidade à degradação ambiental/desertificação, por sua localização em meio aos sertões semiáridos do Norte do Ceará, e compor como um dos municípios presentes no Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Centro Norte.

MAPA 1 - Localização do Alto curso da sub-bacia do rio



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Esta pesquisa propõe trabalhar com bacias hidrográficas, visto que seu conceito como uma unidade de planejamento possibilita o estudo integrado do ambiente, proporcionando maior clareza quanto aos impactos provenientes dos desequilíbrios ambientais, permitindo o desenvolvimento de ações voltadas ao planejamento ambiental (SOUSA, 2016).

Para diagnosticar a degradação dos solos e consequentemente o avanço do processo de desertificação deve considerar a integração complexa de fatores químicos, físicos e biológicos (MARTINS *et al.*, 2010), obtendo assim uma análise mais completa e confiável.

Desse modo, uma das possibilidades para mensurar a desertificação é o uso da análise sistêmica por meio dos sistemas ambientais. Esses por sua vez são formados pela integração das informações geológicas, geomorfológicas, climatológicas, pedológicas e ecológicas, que possibilitam a delimitação de suas unidades e subunidades, que, posteriormente, são agregadas às informações socioeconômicas e políticas para que se avaliem a conservação e o entendimento de problemáticas ambientais específicas (OLIVEIRA, 2011).

Associando a análise dos sistemas ambientais aos Indicadores geobiofísicos de susceptibilidade a desertificação é possível mensurar o real impacto e o nível da desertificação em áreas e semiáridas. Os indicadores são descritores que possibilitaram o complemento da análise por dados estatísticos, aritméticos e qualitativos (ABRAHAM, MONTAÑA, TORRES, 2006).

O diagnóstico das condições ambientais e de uso da terra é relevante para o conhecimento do atual estado de degradação/desertificação, que incentiva a elaboração de planos e estratégias de desenvolvimento local e regional, dentro de uma visão política sustentável e participativa, favorecendo o aumento da qualidade de vida da população afetada e das gerações futuras. Esses fatos justificam a necessidade do desenvolvimento de estudos que avaliem o uso integrado dos sistemas ambientais e os indicadores geobiofísicos na verificação da susceptibilidade à desertificação em regiões áridas e semiáridas.

Portanto, a presente pesquisa teve por objetivo principal analisar a suscetibilidade à desertificação no alto curso da sub-bacia do Rio Canindé. Para concretização do objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Delimitar e caracterizar os componentes geoambientais os sistemas ambientais da sub-bacia;
- Mensurar o percentual das áreas degradadas e/ou desertificadas presentes nas áreas de estudo;

- Identificar as formas de ocupação e uso da terra, e suas implicações quanto à qualidade de vida da população local;
- Caracterizar a paisagem para definição de suas potencialidades e limitações por meio dos Indicadores geobiofísicos de desertificação.

A estruturação da dissertação foi realizada da seguinte forma: a introdução, apresenta-se a temática de estudo, no caso, degradação ambiental/desertificação, na qual é abordada a questão principal que norteia a pesquisa, os objetivos e a justificativa.

O capítulo 1, tratou das bases teóricas e metodológicas utilizadas na pesquisa, que se referem ao método sistêmico holístico aplicado aos estudos integrados da paisagem, o uso da bacia hidrográfica como recorte espacial e área de planejamento ambiental e os indicadores de desertificação, os procedimentos técnicos e operacionais que serviram para a realização desse trabalho. Nesse capítulo, abordam-se também as dimensões espaciais da desertificação no Nordeste brasileiro com ênfase no estado do Ceará, os conceitos fundamentais para a compreensão da temática desertificação em terras secas.

O capítulo 2, intitulado Caracterização Geoambiental da Sub-bacia do Rio Canindé, contém os estudos setoriais dos elementos da paisagem: geologia, geomorfologia, clima, hidrografia, solos e cobertura vegetal. O capítulo também discute a dinâmica socioeconômica do município inserido nessa sub-bacia que é crucial para identificar as principais atividades produtivas e classificar os tipos de uso e ocupação.

O capítulo 3, discorre sobre o delineamento e caracterização dos sistemas ambientais, seguido da aplicação dos indicadores geobiofísicos desertificação e os parâmetros utilizados para a definição de cada indicador, apresentando como produtos cartográficos os mapas de sistemas ambientais e de susceptibilidade a desertificação do alto curso da sub-bacia do rio Canindé.

Por fim, na conclusão são relatados os pontos fundamentais para a realização dos objetivos deste trabalho, recapitulando-os e colocando o que foi diagnosticado no decorrer da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Discutem-se, neste seguimento os principais conceitos e definições utilizados na pesquisa, enfatizando a desertificação no que concerne às suas causas, prováveis dinâmicas de evoluções, consequências para as populações das áreas de estudo. Espera-se acrescentar a

análise integrada da paisagem, vinculada aos indicadores biofísicos de desertificação como ferramenta de análise e planejamento ambiental.

2.1 Análise sistêmica da paisagem como ferramenta para o Planejamento Ambiental

A paisagem pode ser considerada como uma entidade espacial cuja heterogeneidade é modificada principalmente pelas relações estabelecidas entre a sociedade e a natureza, criando uma configuração caracterizada pela fragmentação ou conexão entre seus elementos. Portanto, conforme sugerido por Turner *et al.* (1998), a estrutura da paisagem é o resultado de complexas interações entre forças físicas, biológicas, políticas, econômicas e sociais que caracterizam uma estrutura articulada para a manutenção do mundo e do seu funcionamento pleno e único.

O significado da paisagem é múltiplo, porque são testemunhas tangíveis de valores ancestrais, simbólicos e cognitivos, contêm a história e as tradições de gestão da terra pouco conhecidas das pessoas comuns, e sua percepção torna-se uma experiência perfeita em torno de todas essas informações registradas (ANTROP, 2005). O mesmo autor aponta ainda que há muita sabedoria e inspiração para uma gestão sustentável das paisagens e que é útil para a tomada de decisões orientadas para as gerações futuras, uma vez que as paisagens do passado não podem ser recuperadas, mas são valiosas e áreas características podem ser conservadas e incorporadas na funcionalidade e aspiração da sociedade urbanizada moderna.

A evolução da categoria paisagem é complicada pela evolução da própria geografia, que em sua definição é uma dicotomia ligada a aspectos naturais e sociais. Christoforetti (1999), apresentando algumas afirmações sobre paisagem, relacionando-as com a palavra francesa *landscape*, que foi associada a imagens da natureza no Renascimento, já no século XVII a coloca relacionada com a palavra francesa *paesaggio*, ligada às pinturas da natureza durante a Renascença, já no século XVII encontram-se as bases para a *Landschaftskund*, considerada sobre uma perspectiva territorial, como expressão espacial das estruturas realizadas na natureza e pelas leis cientificamente analisáveis (Antrop, 2005).

Avançando um pouco mais na história, temos um novo olhar envolvendo esse conceito, onde têm se concentrado mais no lado natural, com Sauer (1975) considerando paisagens naturais e culturais em um contexto geográfico mais único, "objetos coexistentes em uma paisagem estão inter-relacionados" (SAUER, 1975, p. 22). Tal fato foi embasado também por Bertrand (2004), no qual a paisagem:

É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p.141).

Recorde-se que a percepção do todo é um requisito importante para o planejamento através da análise ambiental integrada, onde se assumem mecanismos que agregam harmoniosamente a natureza no que diz respeito à sua complexidade e heterogeneidade. Isso requer a adoção de metodologias e técnicas de pesquisa que visem a compreensão concorrente e integral dos elementos que representam condições potencialmente positivas ou limitantes para o uso dos recursos naturais (LIMA; SILVA, 2015). Essa perspectiva metodológica foi enfatizada por Lima e Silva, (2015) que se debruçaram sobre a teoria sistêmica e quais elementos esta corrobora para sua síntese, visto que:

As bases conceituais teóricas e metodológicas de análise procuram abarcar a integração nos estudos sistêmicos, que atualmente busca-se dentro da geografia física uma análise complexa, holística e integrada do espaço geográfico, bem como uma compreensão e/ou uma análise espacial dos elementos físicos e sociais, seus processos, suas relações e correlações, além de investigar as entradas e saídas de energia e matéria do sistema sociedade natureza. (LIMA; SILVA, 2015, p.10)

Na geografia física, foi com a inclusão de princípios da Teoria Geral dos Sistemas, que se baseia nas inter-relações entre os componentes constitutivos do todo, onde se buscou não somente estudar fatos isolados, mas analisar a conexão entre o meio físico e o homem. No conceito de sistema de Sotchava (1978), inicia-se o conceito de geossistema que “o conceito principal do geossistema é a integração da sociedade com a natureza” (CHRISTOFOLETTI, 1999:42). Bertrand (1972) a constrói como uma unidade de paisagem que se torna uma parte territorial passiva de análise e delineamento. Monteiro (1978) considera-o um sistema complexo e único onde interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, no qual se incluem elementos socioeconômicos.

Deste ponto de vista, o geossistema é concebido como:

(...) sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, as comunidades de seres vivos, a água e as massas de ar, particularmente às diversas subdivisões da superfície terrestre, são interconectadas pela troca de matéria e energia num só conjunto” (RUGERIE; BEROUTCHACHVILI *apud* VEADO, 1995, p. 7).

Assim, ele define a paisagem e demonstra que o Geossistema tem uma ideia muito semelhante de inter-relação.

A paisagem não é a simples adição dos elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1972 p. 2).

Já para Tricart (1977), um sistema é um conjunto de fenômenos que ocorrem através de fluxos de energia e matéria, tais fluxos resultando em inter-relações entre seus componentes. Capra (2000) resume as principais características do pensamento sistêmico nos seguintes critérios: passando das partes para o todo, o todo representa propriedades ou características que não podem ser compreendidas reduzindo-o a partes menores. "As propriedades do sistema são destruídas quando o sistema é cortado em elementos isolados" (CAPRA, 2000, p.46).

Souza (2000) sugere uma leitura do geossistema, representando os sistemas ambientais, pois são capazes de articular melhor as relações entre exploração biológica, potencial ecológico e ação humana. Essas relações dão uma nova perspectiva à análise ambiental. O autor entende que as ações humanas não dependem apenas da natureza, mas são capazes de provocar diversas e complexas mudanças no meio ambiente e na sociedade. Os estudos setoriais da paisagem marcaram a primeira metade do século XX (SOUZA, 2000). Uma base natural para fornecer conhecimento sobre a área foi compilada e descrita. Para Souza (2000), esse tipo de estudo é parcial já que:

Os estudos integrados devem investigar as inter-relações existentes entre os diversos componentes da paisagem, compreendendo os mecanismos de interação e toda a complexidade neles inseridos. Desse modo, esse tipo de estudo não prescindem dos estudos setoriais, apenas busca adquirir o seu próprio campo de ação, de modo a confrontar e analisar os dados da paisagem avaliando a sua complexa dinâmica (SOUZA, 2000, p.23).

A fundamentação teórico-metodológica baseia-se, sobretudo, na abordagem sistêmica dirigida ao estudo da paisagem, na qual tem-se como autores principais Bertrand (1971), Tricart (1977), Christofolletti (1999), Souza (2000), e Souza e Oliveira (2011), que contribuem para o manuseio dos elementos que envolvem a análise sistêmica, pautada em sua grande esfera nos estudos da Geografia física e do planejamento ambiental.

Considerando a análise sistêmica-holística os fatores do potencial ecológico (geologia + geomorfologia + climatologia + hidrologia), da exploração biológica (solos + cobertura vegetal + fauna) e das condições de ocupação e da exploração dos recursos naturais, sendo estabelecidas, delimitadas e hierarquizadas as unidades espaciais homogêneas

configurando, cartograficamente, a Compartimentação Geoambiental em escala compatível com os objetivos, interesses e aplicabilidades práticas da pesquisa (NASCIMENTO, 2013).

A intervenção antrópica traz consigo um enorme problema para a natureza, ocasionando por vezes a transformação da paisagem sem planejamento, significando a perda de parte dos componentes conservadores do ambiente natural. De acordo com Valle *et al.* (2016), a paisagem, como relevo, solo, clima, recursos hídricos e cobertura vegetal, dos sistemas ambientais podem responder às intervenções humanas de diferentes formas.

Desse modo, os sistemas ambientais representam componentes da superfície terrestres organizados, onde sua espacialidade se torna uma característica fundamental e necessária. Segundo Barreto (2018) “Sistemas Ambientais são porções da superfície terrestre que têm a sua organização atrelada às características de suas estruturas e de suas funções exercidas pelos elementos que os compõem, que possibilitam entender a sua evolução em diferentes escalas espaço-temporais” (p. 26).

Desta forma, os sistemas ambientais têm um papel importante na identificação e delimitação hierárquica dos componentes da paisagem. Santos e Souza (2014) apontam esse papel de destaque:

Os sistemas ambientais são identificados e hierarquizados conforme a inter-relação dos seus componentes geoambientais, suas dimensões e características de origem e evolução. Considerando a diversidade interna dos sistemas, são delimitadas as unidades elementares contidas em um mesmo sistema de relações que configura, espacialmente, os subsistemas. Sob esse aspecto, a concepção de paisagem assume significado para a delimitação das subunidades, em decorrência da exposição de padrões fisionômicos uniformes ou de relativa homogeneidade (SANTOS; SOUZA, 2014, p. 222-223).

Para Betiol (2012), a teoria sistêmica é uma nova ferramenta para analisar as interações humanas com o meio, analisando o território brasileiro, e relacionando seus problemas ambientais vigentes poucas ou ausentes políticas públicas ambientais desenvolvidas, que por sua vez não possuem essa visão integrada, como é mencionado no trecho abaixo:

Os sistemas ambientais, no Brasil, enfrentam grandes problemas atualmente, já que as fronteiras políticas não levam em consideração os sistemas. Assim, com o momento em que vivemos, de expansão urbana, a interferência humana vem trazendo uma série de impactos negativos para o funcionamento dos sistemas. Podemos trabalhar com o exemplo das bacias hidrográficas e dos rios. Nesse caso, consideremos uma determinada bacia, com diversos rios que atravessem três cidades. Dificilmente teremos a união dos prefeitos, para definir o que deve ser feito nos rios, e muito menos em toda a bacia. (BETIOL, 2012, p.97)

Segundo Sporl e Ross (2004) e Ross (2010), os sistemas ambientais hoje são mais ou menos frágeis diante das intervenções da sociedade, o que depende de suas características “genéticas”, pois qualquer modificação dos diversos componentes naturais acabaria por perturbar seu equilíbrio e colocando em risco a funcionalidade do sistema. Amaral e Ross (2009) acreditam que todo planejamento deve levar em conta as potencialidades do meio ambiente e sua fragilidade diante das modificações antrópicas.

Segundo estudos realizados por Franco (2001), o planejamento ambiental propõe três princípios básicos da ação humana sobre o meio ambiente. São eles: preservação, recuperação e conservação. O primeiro sugere não interferir em determinados lugares, eles devem permanecer como estão, mantendo assim suas características primárias. O segundo princípio tenta estancar a agressão e restaurar o ambiente degradado. Já o terceiro permite o uso do meio pelo homem, mas com uma ou algumas limitações, permitindo assim que este não sofra nenhuma degradação.

Esse desenvolvimento marcou o fim do século XX, algo constatado por Sousa (2016) que:

A partir desse período, especialmente na década de 1970, eclodem as discussões ambientais devido às grandes proporções que alcançam os processos de degradação por meio da industrialização e do consumo inadequado dos recursos naturais. Esse fato também contribuiu para dar impulso aos estudos das bacias hidrográficas, como uma unidade de análise dos processos de degradação, uma vez que a apreciação da dinâmica existente na bacia pôde evidenciar as alterações, os efeitos ou impactos gerados pela relação sociedade-natureza. Destaque-se que a participação efetiva dos múltiplos usuários é uma das alternativas importantes na gestão dos recursos hídricos. (SOUSA, 2016, p.41).

E é nessa análise que deve existir o planejamento ambiental, ou melhor, “colocado em prática”, e isso é enfatizado por Ibrahim (2014, p. 97);

A crescente diminuição dos recursos naturais do planeta terra faz com seja cada vez mais necessária a existência de levantamentos periódicos sobre o uso, a ocupação e as condições da terra e o mapeamento dos recursos naturais, da diversidade biológica, áreas de preservação ambiental, condições dos recursos hídricos etc. (IBRAHIN, 2014, p. 97)

As diretrizes que o zoneamento busca planejar são baseadas nos aspectos abióticos, bióticos e antrópicos da paisagem com base nas aspirações populares (SANTOS, 2019). Dessa forma, o planejamento pode ser direcionado às áreas de acordo com suas especificidades e necessidades. Compreender a dinâmica espacial do ponto de vista do potencial ecológico e da exploração biológica, que convergem no quadro das atividades

humanas sobre o ambiente, permite identificar a forma como a condição antrópica atua na paisagem (NEVES *et al.*, 2015).

2.2 A bacia hidrográfica como recorte espacial para a análise integrada da paisagem

A concepção da análise sistêmica integrada é de fundamental importância para a identificação e descrição das unidades homogêneas das sub-bacias hidrográficas propostas para esta pesquisa, que possibilitaram a comparação das compartimentações e características naturais das áreas de estudo. As bacias hidrográficas são aceitas inclusive por lei PNRH, como unidades territoriais voltadas para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. O próprio conceito indica as principais razões pelas quais deve ser considerado um espaço adequado para o manejo e gestão dos recursos hídricos.

As definições propostas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001, p. 188) desta forma, a definem como “um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático”. O escoamento superficial forma riachos e rios, sendo que as nascentes e cabeceiras são formadas por águas que brotam em terrenos íngremes das serras, planaltos e montanhas, com o decorrer dessa drenagem o curso principal ganha força por meio de tributários e/ou afluentes até desaguar no oceano.

A bacia hidrográfica pode ser definida também como uma célula básica de análise geoambiental, permitindo caracterizar e avaliar seus diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está contida no emprego desta unidade elementar (BOTELHO; SILVA, 2004).

Em geral, uma bacia hidrográfica é um sistema natural, espacialmente bem delimitado (por subdivisões topográficas) que inclui uma porção de território drenado por um curso d'água principal e seus afluentes, cujas interações são integradas pelo menos na escala física (SANTOS, 2004). Vários outros conceitos de bacias hidrográficas não fogem dessa essência, embora possam existir definições mais amplas ou mesmo disposições que contribuam para o aspecto da gestão ambiental.

Lima e Zakia (2000), acrescentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são:

[...] sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis

interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico. (LIMA; ZAKIA, 2000 p. 35)

Carvalho (2014) e Carvalho (2018) confirmam essa ideia de que as bacias hidrográficas são unidades espaciais com dimensões variáveis, nas quais os recursos hídricos superficiais são organizados de acordo com as relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas do ambiente, nas quais os cursos d'água são complexos sistemas ambientais, que são importantes como elemento constituinte e transformador da paisagem geográfica e como fonte de recursos naturais/ambientais e socioeconômicos no contexto do uso humano.

Segundo Pires, Santos e Del Prette (2005), a bacia hidrográfica é a subdivisão mais adequada para a análise qualitativa e quantitativa dos fluxos de água, sedimentos e nutrientes. Por ser um sistema delimitado, é possível realizar o balanço hídrico, cujos dados são importantes para a gestão de cada unidade. Calasans, Levy e Moreau (2005, p. 68) destacam que “tanto a precipitação quanto a evapotranspiração podem ser vistas como condições externas impostas ao sistema, ou condições de contorno usadas para analisar a disponibilidade de água em uma região”.

Os problemas enfrentados no planejamento dos recursos hídricos, principalmente em regiões de semiaridez, têm estimulado a utilização de abordagens integradas, sendo o uso da bacia de drenagem como área de análise, uma dessas possibilidades. Podemos deste modo, adotar o conceito de bacia hidrográfica para a conservação de recursos naturais com a possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento ambiental e socioeconômico, tendo como objetivo um manejo com o menor impacto ambiental possível (PIRES *et al.*, 2005).

A aceitação de bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão não é uma prática recente (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2005). Segundo Forbes e Hodges (1971), as bacias hidrográficas foram originalmente estudadas para controle de enchentes, irrigação, navegação e abastecimento público e industrial. Segundo Pires, Santos e Del Prette (2005), com o aumento da demanda por recursos hídricos nas últimas décadas, houve a necessidade de incorporar a gestão dos usos múltiplos da água. Essa abordagem concentrou-se em acomodar as consequências sobre o uso dos recursos hídricos que se originam de fatores

naturais, econômicos, sociais e políticos, tornando a água o ponto de convergência de um complexo sistema ambiental.

A delimitação desta área processada a partir da bacia hidrográfica permite uma análise sistemática dos elementos, fatores e relações ambientais, sociais e econômicas a partir das necessidades e ofertas existentes em seu território, mas também externamente. Nesse sentido, esse tipo de recorte espacial tem sido adotado na gestão das águas como “unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação para facilitar o acesso aos recursos hídricos” (VILAÇA *et al*, 2009).

Segundo Rosa (2011), a Alemanha por exemplo, foi pioneira no planejamento de bacias hidrográficas em 1957. No Brasil, o interesse pela gestão dos recursos hídricos naturais iniciou-se com o Código de Águas, ratificado pelo Decreto Federal nº 24.643, de 10 de junho de 1934. No entanto, como afirma Silva (1998), somente em 1963 ocorreu o primeiro empreendimento planos começaram. bacias hidrográficas do Nordeste brasileiro, que foi realizado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, com a cooperação técnica dos franceses. No ano seguinte, a França por sua vez, aprovou sua lei nacional de água, criando o agora famoso e copiado Sistema de Bacias Hidrográficas.

No Brasil, essa restrição territorial foi introduzida pela Política Nacional de Recursos Hídricos após a aprovação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que posteriormente foi utilizada na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007; Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e nas regulamentações derivadas da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Segundo Silva *et al.* (2011), o planejamento ambiental para uso e gestão de bacias hidrográficas é cada vez mais importante atualmente, e as intervenções em bacias hidrográficas vêm ocorrendo em todo o mundo com grande precisão. Estas, por sua vez, são realizadas no domínio do conceito e controle dos processos naturais. Assim, surge a importância do planejamento ambiental para o uso das bacias hidrográficas.

Segundo Schiavetti e Camargo (2002), a Política Nacional de Águas é o documento norteador da gestão de bacias hidrográficas no Brasil desde o final da década de 1990, e neste caso, o planejamento e gestão de bacias hidrográficas também é considerado, conforme Lorandi e Cançado (2008) aponta, com o objetivo segundo os autores: incorporar todos os recursos ambientais da bacia, a partir da integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com foco na qualidade ambiental, a partir da otimização dos recursos naturais para reduzir os impactos e riscos ambientais na bacia.

Para uma melhor caracterização das sub-bacias, utilizadas como foco do estudo as sub-bacias destacadas, priorizando assim uma escala local. Mesmo com essa escala levou-se

como embasamento os dados as descrições e agentes regionais presentes na bacia hidrográficas do Curu.

A vantagem do uso analítico da sub-bacia hidrográfica é defendida por Nascimento (2013) e vários autores como Odum (1988), Beltrame (1994), Morais (1997), Rocha e Kurtz (2001) entre outros, por serem áreas onde o impacto ambiental causado pela sociedade é evidentemente verificado.

As sub-bacias são áreas de drenagem dos afluentes do curso principal de água. Para definir sua extensão, os autores utilizam diferentes unidades de medida. As sub-bacias têm áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km² (SILVA, 2017).

Já para Martins *et al.* (2005), as suas dimensões possuem uma maior variação:

A sub-bacia hidrográfica é a área que drena a água de chuvas por ravinas, canais e tributários para um curso principal, com vazão efluente e o deságüe se dá diretamente em outro rio, tendo dimensões superficiais que variam entre 20.000 ha a 300.000 ha, dando enfoque que estas áreas podem variar de acordo com a região do País (MARTINS *et al.*, 2005 p. 316).

Segundo Santana (2004) e Silva (2017), as bacias podem ser subdivididas em qualquer número de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo de seu curso principal ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação a esta última, uma sub-bacia.

Numa conceituação mais recente, Gomes *et al.*, (2020) traz uma reformulação do termo sub-bacia, ampliando suas características e dialogando com a semântica da palavra e dando a esta um viés mais qualitativo de definição:

A sub-bacia hidrográfica tem sido outra terminologia atribuída às BHs com o intuito de indicar uma hierarquização de seu sistema de drenagem conforme seu nível de complexidade, quantidade de áreas drenadas, ordens dos rios e relações direta que exerce com o rio principal da rede hidrográfica que a engloba. Morfológicamente, é formado pelo prefixo sub- justaposto ao substantivo bacia, modificado pelo adjetivo hidrográfica. Semanticamente, o primeiro designa algo que está abaixo, é inferior ou menor hierarquicamente, enquanto o segundo designa um sistema espacial multidimensional cujas dimensões hidrogeomorfológicas costumam ser seus atributos mais destacados. Portanto, a sub-bacia hidrográfica é entendida como uma BH menos complexa e tributária de outra rede de drenagem que é a principal (GOMES *et al.*, 2020, p.14)

A falta de conhecimento sobre as características da unidade de planejamento pode afetar a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. O uso e ocupação desordenada do solo acarreta a deterioração da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos e de seu entorno, principalmente se constituem o traçado que compõe a malha urbana, pois são

diretamente afetados pelas vazões de ponta, uma vez que constituem a maior parte da área impermeável (SANTOS e HERNANDEZ, 2013).

2.3 A Desertificação no Contexto do Semiárido Nordestino Brasileiro

A desertificação pode ser definida como “[...] a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as atividades humanas e as variações climáticas” (BRASIL, 1998, p.13). Com base nessa concepção, a desertificação representa a expressão dos processos naturais, biofísicos e humanos que perturbam o equilíbrio do meio nas terras secas (BRASIL, 1998).

Esse conceito mostra onde o processo ocorre e quem são suas causas. A localização desse processo é baseada no clima pelo índice de aridez de Thornthwaite (1955 apud MATALLO JUNIOR, 1999). Este índice resulta do quociente de precipitação anual e evaporação anual de uma área específica, como exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Índice de aridez e desertificação

CATEGORIA	ÍNDICE DE ARIDEZ	SUSCEPTIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO
Subúmido úmido	Acima de 0,65	Não susceptível
Subúmido seco	0,65 - 0,51	Moderada
Semiárido	0,50 - 0,21	Alta
Árido	0,20 - 0,05	Muito alta
Hiperárido	Inferior a 0,5	

Fonte: Adaptado de: Thornthwaite, 1948; Conti, 2008; Matallo Junior, 1999; Brasil, 2004.

Entre as diversas tentativas de reconhecer a desertificação como um problema socioecológico, destaca-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, que marcou o primeiro momento de discussão mundial desse processo bem como de uma delimitação da sua situação naquela época. No entanto, foi somente em 1977, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCOD) em Nairóbi (Quênia), que a desertificação assumiu um caráter global e interdisciplinar e foi reconhecida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio

Ambiente (PNUMA) em um problema ambiental que ameaça a biosfera e tem altos custos sociais. (NASCIMENTO, 2013).

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCAD), Eco-92, realizada no Rio de Janeiro em 1992, várias questões ambientais foram discutidas, com foco na influência dos países industrializados com questões como aquecimento global, depleção da camada de ozônio camada e proteção da diversidade biológica, ao mesmo tempo que eclipsam os processos de degradação profunda dos recursos naturais que conduzem à desertificação. A definição oficial de desertificação foi registrada na Agenda 21, principal documento produzido durante a Eco-92 (BRASIL, 1995) que enfatiza o conceito de desertificação nas terras áridas e semiáridas:

Degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas, sendo que por degradação da terra se entende a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas. (BRASIL, 1995, p. 149).

Segundo Matallo Júnior (2009), ainda há um intenso debate sobre as diferenças entre desertificação e desertização, ou seja, a formação de desertos. Ele afirma que os conceitos são distintos, pois a desertização é o processo de formação de desertos, que são resultados das mudanças climáticas, enquanto a desertificação é o resultado de uso inadequado dos recursos naturais em regiões áridas. Essa diferenciação é crucial para estudos integrados e para a questão ambiental.

Abordar o conceito de deserto separadamente da desertificação é um fator importante na compreensão desses dois processos. Conforme consta nos autos do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE – CE (CEARÁ, 2010, p. 28):

O conceito de deserto não conflita com a desertificação. Deserto pressupõe a ocorrência do clima essencialmente árido, onde a evaporação potencial apresenta grande superávit em relação à precipitação anual. Há, por consequência, carência de água e muito baixo desenvolvimento da biosfera. Os processos erosivos são comandados pela evidente primazia da morfogênese mecânica, onde as ações eólicas são exacerbadas. A drenagem, além de rarefeita, possui escoamento esporádico ou intermitente e os solos, além de pouco desenvolvidos ou ausentes, são pedregosos, limitando profundamente a expansão da biosfera. (CEARÁ, 2010, p. 28).

Complementando a problematização e tese anterior, Rodrigues (1987) *apud* Soares (2011) aponta que a desertificação é um processo integrado, possuindo aspectos ambientais e socioeconômicos:

A desertificação deve ser entendida como um fenômeno integrador de processos econômicos, sociais e naturais e/ou induzidos que destroem o equilíbrio do solo, da vegetação, do ar e da água, bem como a qualidade de vida humana, nas áreas sujeitas a uma aridez edáfica e/ou climática. Como causas mais frequentes da existência deste fenômeno, podem ser indicadas algumas atividades humanas: sobrepastoreio, irrigação, desmatamento, mineração e cultivo excessivo, além do sistema de propriedade da terra e da superpopulação. (RODRIGUES, 1987, *apud*, SOARES, 2011, p. 176).

Segundo um documento expedido pela FAO/UNE se distingue desertificação de degradação do solo em suas definições. De acordo com essa peça, a desertificação, ou a possibilidade de sua ocorrência, está confinada nas áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, enquanto a degradação do solo não é contínua, pois acontece em períodos curtos ou de média duração, podendo ocorrer em qualquer tipo de clima ou solos, levando em consideração apenas os fatores antrópicos para o seu surgimento (FAO/UNEP, 1983).

Estas atividades insustentáveis refletem-se hoje em áreas tão vitais para as economias das antigas metrópoles europeias, onde as principais matérias-primas necessárias para o sustento humano, como o milho, a batata e o feijão, são produtos agrícolas provenientes de zonas afetadas pela desertificação, solos secos (MATALLO JÚNIOR, 2001). Esses espaços, tão necessários à lógica mercantil da época e atualmente desvalorizados, refletem processos de mineração passados e presentes. O Nordeste do Brasil é um exemplo disso. Essa realidade é recorrente nas ex-colônias dos países da África, Ásia e América Latina.

A degradação das terras secas e a progressão da desertificação representam uma ameaça real e significativa para a população dos países das regiões áridas, semiáridas e áridas subúmidas do planeta. Esses processos já afetam 33% da superfície da Terra, onde vivem aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas (2% da população total). No Brasil, as áreas propensas à desertificação representam 15,7% da superfície do país e mais de 31,6 milhões de pessoas vivem nelas. (BRASIL, 2005).

Essa predisposição a desertificação em áreas semiáridas não é exclusiva do Brasil, mas, ao contrário, já vem sendo observadas por cientistas de todo o mundo, que estudam há décadas para avaliar os efeitos climáticos dessas mudanças na cobertura do solo. Nessa

mesma linha Oyama e Nobre (2004), já salientavam os aspectos científicos envolvidos no processo de desertificação:

Diversos trabalhos utilizando modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA) têm sido feitos, permitindo aperfeiçoar o conhecimento acerca da sensibilidade climática decorrente de alterações na cobertura vegetal dessas regiões. No geral, os resultados mostraram que esse processo de desertificação levaria a uma redução da precipitação em todos os casos, embora os estudos referentes ao NEB tenham verificado que essa redução não seria tão intensa quanto nos demais locais analisados devido à ocorrência de mecanismos restauradores (OYAMA; NOBRE, 2004, p.56).

O Brasil possui parte do seu território em clima de semiaridez, a região Nordeste é o polo dessa concentração, elencando os principais problemas com o processo de desertificação registrados no país. Esta é composta por nove estados – Ceará, Piauí, Pernambuco, Alagoas, Maranhão, Paraíba, Sergipe, Bahia e Rio Grande do Norte, sendo a região com maior densidade populacional no mundo. A Região Semiárida detém uma extensão total de 980.133, 079 km² de terras inseridas em todo Nordeste e no norte de Minas Gerais (MIN, 2022).

Esta possui características únicas referentes ao seu geoposicionamento em relação a escala mundo e as demais regiões áridas, semiáridas e subúmidas: é mais próxima à linha do Equador, entre 3° e 16° latitude sul; é a região semiárida que possui litoral, em contrapartida de regiões de terras secas que são afastadas dos oceanos, e detém uma grande biodiversidade. (ANDRADE, 2006; REGO, 2012; BARRETO, 2018).

O semiárido nordestino apresenta ainda, várias características que o torna vulnerável a processos de desertificação. Para Sales (2003) citado por Barreto (2018), as condições geoambientais desta porção do Nordeste brasileiro são de predominância do embasamento cristalino do Pré-cambriano e de depósitos sedimentares do Fanerozoico. Na morfoestrutura primária, formam-se feições côncavas e superfícies aplanadas que possuem baixo potencial de armazenamento de água, contribuindo para intensidade da erosão laminar, propiciando uma rede hidrográfica de caráter intermitente. Esses aspectos acabam diminuindo a potencialidade agrícola, mesmos em solos de fertilidade natural.

No quesito climático este denota elevadas taxas de insolação, altas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. As médias pluviométricas são abaixo de 800 mm e expressam alta variabilidade no tempo e no espaço, além das elevadas taxas de evapotranspiração e déficit hídrico (ZANELLA, 2014).

A vegetação dominante é a Caatinga. Essa vegetação foi severamente degradada pelo processo histórico de povoamento, resultando em atividades econômicas que não

correspondem ao potencial da área, pelo contrário, essas ações impactam principalmente em suas limitações. O século XVI foi marcado pela caça dos índios e pela extração vegetal, a criação de gado; o cultivo do algodão no século XVII; no século XIV com plantações de café nos brejos e nas "serras frescas" (BARRETO, 2018).

Todos esses aspectos naturais associados a exploração antrópica desenvolvido no meio, fazem com que o Nordeste brasileiro detenha altas taxas de áreas degradadas ou desertificadas.

Esse cenário propiciou pesquisas voltadas a uma análise do processo de desertificação na região. Como destaque desses estudos, temos as produções científicas de Vasconcelos Sobrinho, (1971) sobre processos de degradação em espaços semiáridos, onde foram identificadas várias áreas em elevado risco de desertificação e posteriormente definidas como núcleos de desertificação. Com isso em um primeiro momento foram destacadas no mapeamento Brasil de 1998, apenas quatro núcleos de desertificação, sendo estes: Gilbués (Piauí), Irauçuba (Ceará), Seridó (Rio Grande do Norte) e Cabrobó (Pernambuco). Para Silva *et al.* (2019) as ASDs destacadas por Sobrinho e pelo mapeamento de 1998, bem como suas causas nos permitem concluir que:

As causas da desertificação, observados nesses quatro núcleos, são variáveis, uma vez que a natureza dos solos e da geologia de cada região são distintos. O processo de ocupação e a utilização antrópica das áreas onde se encontram os quatro núcleos também variam muito de um para outro, muito embora as atividades que neles predominam estejam quase totalmente relacionadas com a agropecuária. (SILVA *et al.*, 2019, p. 396).

As causas desse processo, perpassa como visto anteriormente em dois pontos principais: a instabilidade e sensibilidade do meio que engloba as áreas áridas, semiáridas e subúmidas, temos o fator antrópico como catalisador que caracteriza a desertificação. O histórico de mais de 500 anos uso e ocupação do Nordeste brasileiro fez com que esses dois fatores potencializassem as perdas biológicas, químicas e físicas dos solos da região. Como constata Ma (2005) onde:

Cerca de 10 a 20% das terras secas do mundo (árida, semiárida, subúmida, hiperárida) ou 10 a 20 milhões de Km² encontram-se degradadas. Estima-se que entre 5 a 6 milhões de hectares perdem-se por ano devido à agricultura, pecuária extensiva ou extrativismo, por meio da degradação induzida pelo ser humano. O sobrepastoreio (com 680 milhões de hectares), o desmatamento (com 580 milhões de hectares), a gestão inadequada da agricultura (com 550 milhões de hectares), o consumo de lenha como combustível (com 137 milhões de hectares) e a indústria e urbanização (com 19.5 milhões de hectares) representam as maiores causas provocadas pela desertificação em escala mundial. (GTZ, 2005, apud MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, p.234).

No âmbito nacional, foi criado o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação - PAN (Brasil, 2005). Este trabalho identifica os fatores que contribuem para o surgimento do processo e as ações práticas, governamentais e comunitárias necessárias para combatê-lo e mitigar os efeitos da seca, bem como os recursos disponíveis para esse fim. O referido documento determinou a Área Suscetível à Desertificação (ASD) como um quadro de atuação e estabeleceu precedentes de ação pública e privada para combater o problema. A ASD inclui partes dos nove estados da região Nordeste mais ao norte de Minas Gerais e Espírito Santo, que representam aproximadamente 15% do território nacional.

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação da Seca (PAN) entende que o desempenho deste problema que afeta as zonas secas não é homogêneo, pelo que este programa de nível de ação classifica as ASD em algumas categorias ou níveis:

i) Núcleos de Desertificação; ii) Áreas Semiáridas e Subúmidas Secas; iii) Áreas do Entorno das Áreas Semiáridas e Subúmidas Secas; iv) Novas Áreas Sujeitas a Processos de Desertificação; v) Características Principais das Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD; e vi) Relação das ASD com o Bioma Caatinga, o Polígono das Secas e a Região Semiárida do FNE (BRASIL, 2004 p.14).

Os primeiros trabalhos e levantamentos das áreas desertificadas passaram por um detalhamento desde então, onde cada unidade federativa passou a executar pesquisas de levantamento das suas áreas desertificadas. Dentre esses entes temos o Ceará, dentre os estados com áreas no Semiárido Brasileiro ele é classificado como o detentor de maior parcela do seu território com áreas susceptíveis à desertificação. Com taxas elevadas de áreas susceptíveis ao processo de desertificação e uma taxa elevada já desertificada, cerca de 19, 06% do território cearense (CGEE, 2016).

O semiárido cearense caracteriza-se por acentuada heterogeneidade litológica, com um estrato predominantemente cristalino, com solos de composição variada, cobertos com a presença comum de solos específicos como os Luvisolos, Argissolos, Planossolos, e os Neossolos Litólicos com a presença intensa de afloramentos rochosos associados a solos com alta pedregosidade com natureza fisionômica e florística diferentes, bem como diferentes graus de degradação do ambiente de acordo com suas características químicas, físicas e biológicas do meio (Brandão e Freitas, 2014).

De acordo com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2011), a área é caracterizada por altas temperaturas médias anuais (de 27 °C a 29 °C) e alta taxa de evaporação (2.000 mm), com precipitações de até 800 mm /ano, concentradas de três a cinco

meses irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Estas características, associadas a atividades antrópicas e secas pontuais, ajudam a acentuar a vulnerabilidade dos geossistemas dos sertões secos, favorecendo uma baixa sustentabilidade ambiental e uma elevada vulnerabilidade aos processos de degradação/desertificação.

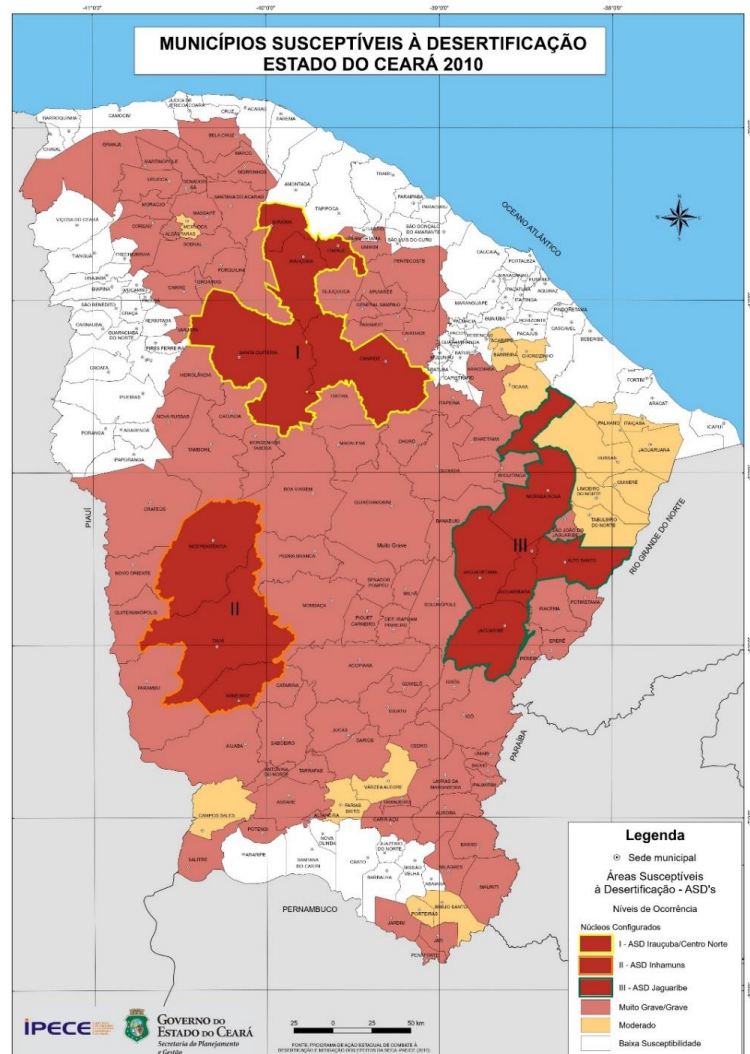
Assim, segundo dados oficiais, o semiárido cearense contém 150 comunidades, o que corresponde a 81,56 comunidades de sua área territorial e onde vivem cerca de 4.724.700 pessoas, ou seja, assustadoramente, podemos dizer que mais de 55% da população do Estado do Ceará vive em áreas expostas à desertificação ou susceptíveis a esse processo (MI, 2005; IBGE, 2010; Medeiros *et al.*, 2012).

Esta perspectiva incentivou a criação de programas de ação nacionais para combater a desertificação e mitigar os efeitos da seca, o intitulado “Programas de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca”, os PAEs, que visam reduzir a desertificação através de estratégias que possam fazer face à vulnerabilidade de cada país. Nessa concepção, esta orientação tem como intuito o estudo de áreas propensas à desertificação no estado do Ceará.

As áreas susceptíveis à desertificação (ASD) são áreas com características que contribuem para o problema, como altos níveis de seca, fatores antrópicos como práticas agrícolas intensivas e insustentáveis e atividades pecuárias de larga escala em solos sensíveis. As ASDs são aquelas que têm potencial para causar problemas devido às suas características, enquanto os núcleos de desertificação são porções territoriais já degradadas e desertificadas que podem apresentar espaços sem vegetação e fortes sinais de erosão (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012).

O Ceará possui três ASDs. Estas estão distribuídos por 14 municípios, sendo estas intituladas de ASDs Irauçuba/Centro Norte, Inhamuns e Jaguaribe (figura 01). As comunidades rurais nessas regiões são mais vulneráveis à seca devido à degradação dos recursos naturais disponíveis. Em termos de área, vale destacar também que essas comunidades representam 19,44 % (28.928,4 km²) da área total do estado, com muita população pobre, saneamento precário e baixa renda per capita (SILVA e OLIVEIRA, 2017).

Figura 1 - Municípios susceptíveis a desertificação do estado do Ceará



Fonte: IPECE, 2010.

Na Universidade Federal do Ceará, também foi criado no final da década de 1990 o Grupo de Análise Geoambiental para o Estudo da Desertificação. As atividades desse grupo de análise geoambiental são realizadas nas regiões de Inhamuns e Irauçuba no Estado do Ceará e no Estado do Piauí no âmbito de um programa de cooperação entre as universidades federais dos dois estados com a participação de pesquisadores da Universidade Estadual do Ceará (SOUZA, 2005; FERREIRA, 2021).

Os núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro (com um dos focos no estado do Ceará neste estudo) permitem uma abordagem intrínseca desse fenômeno e ajudam a entender a dinâmica dessas áreas degradadas, ou seja, nomear o real motivo que leva às causas e problemáticas em escalas regionais e locais desse processo.

2.4 Indicadores Biofísicos de Desertificação

A desertificação é uma questão complexa que inclui fatores humanos e naturais e pode se estender a diferentes escalas a nível global, regional e local, por isso foram selecionados trabalhos importantes usando indicadores para comparar os diferentes métodos usados e os desenvolvimentos da pesquisa em desertificação para monitorar seu avanço em determinadas áreas.

Os impactos causados pelo processo de degradação e degradação dos solos justificaram a utilização dos indicadores biofísicos de suscetibilidade à desertificação (IBFD). Os indicadores biofísicos são comumente utilizados para estimar parâmetros do estágio em que determinadas áreas se encontram em relação a degradação e/ou desertificação. Estes costumam ser usados em diferentes abordagens, ora auxiliando com o planejamento ambiental ora propiciando a recuperação e gestão de áreas desertificadas. (ABRAHAM; BEEKMAM, 2006). De acordo com Abraham, Montaña e Torres (2006, p. 20), um indicador de desertificação é:

Un indicador es esencialmente una descripción simplificada de un fenómeno complejo de la realidad. Los indicadores se desarrollan a partir de parámetros estadísticos, pero deben ofrecer una mayor facilidad para transmitir información que los datos y estadísticas complejos, constituyendo una herramienta útil para comunicar el estado de situación en materia de desertificación a responsables políticos, a técnicos y al público. Constituyen asimismo un compromiso entre la información sinóptica de calidad requerida por los usuarios y la necesidad de exactitud y precisión de los científicos y estadísticos y reducen la cantidad de mediciones necesarias para dar una idea representativa y exacta del estado de situación (ABRAHAM, MONTAÑA, TORRES, 2006, p. 20).

Desta forma os indicadores de desertificação são descritores, que têm como intuito analisar o comportamento da problemática socioambiental das terras secas pelo globo, tendo caráter quantitativo, pois os componentes existentes na paisagem são tabulados e transformados em dados e/ou parâmetros aritméticos e estatísticos. Ao mesmo tempo os indicadores também podem ser qualitativos, pois os dados são classificados segundo os níveis de conservação, possibilitando compará-los em outras regiões (ABRAHAM, MONTAÑA, TORRES, 2006).

Assim, o indicador é uma ferramenta que ajuda a simplificar, quantificar, tabular analisar, compreender e comunicar os problemas ambientais de determinada região no espaço geográfico (ABRAHAM; SALOMÓN, 2006).

Segundo Barreto (2018) para facilitar as dimensões e níveis do processo de desertificação de uma área geográfica os indicadores passam por uma classificação, como é descrito no trecho abaixo:

Os IBFD podem ser classificados em dois tipos: de propensão, em que já se sabe que há ocorrência do processo, exigindo dados em curto período, para se avaliar constantemente, possibilitando o seu monitoramento; e de suscetibilidade, em que a paisagem possui características que podem possibilitar a atuação do processo de desertificação, necessitando de dados com maior periodicidade, podendo ser executada em paisagens de escalas espaciais pequenas e média (BARRETO, 2018, p. 36).

O debate para a metodologia adotada na dimensão e formulação dos indicadores passou por discussões acaloradas entre a comunidade científica. A sistematização de um modelo iniciou-se ainda nos anos 1970, passando por várias décadas com diferentes conferências e simpósios para sua elaboração, visto que almejava-se um modelo internacional a ser adotado. Segundo Sousa (2016), tal processo deu-se de forma escalonada do macro ao micro em termos de pesquisa:

Os esforços internacionais para a formulação do sistema de indicadores demonstraram - através dos trabalhos apresentados nos congressos internacionais, como o *International Symposium and Workshop on Desertification: connecting science with community action*, na Universidade do Arizona, em 1977, e o *International Seminar on Indicators for assessing Desertification in the Mediterranean*, que ocorreu na Itália, em 1998[...]. Quanto aos esforços regionais no trato dos indicadores de desertificação, se destacaram a América Latina e o Caribe, sendo desenvolvidas metodologias minimamente padronizadas. Brasil, Argentina, Bolívia, Chile e Peru desenvolveram um programa de trabalho baseado em quatro itens, a saber: 1. Definição de uma metodologia de indicadores de estudo a ser desenvolvida nos cinco países; 2. Teste e validação da metodologia; 3. Treinamento de equipes em cada país e 4. Realização de estudos e monitoramento em cada país. Esse projeto foi elaborado e apresentado ao Banco Interamericano (BID). Posteriormente, parte desta metodologia foi negociada entre a Universidade do Chile e a Food and Agricultural Organization (FAO), sendo implementada nos cinco países. (SOUSA, 2016, p.50).

Por fim, foram levados em consideração fatores físicos e biológicos do ambiente, totalizando mais de 50 indicadores. Dos indicadores propostos, os únicos “descartados” referem-se a aspectos socioeconômicos visto que estes podem variar de acordo com o nível de desenvolvimento econômico, que envolvem diferentes fontes: podendo ter como origem o capital privado ou o investimento de políticas públicas do Estado (SOUSA, 2016).

O documentário brasileiro referente aos indicadores de desertificação foi coordenado por Matallo Júnior e envolveu diversas instituições como o Instituto Deserto, FUNCEME, IBAMA, IBGE e o Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.

Matallo Júnior (2001) propôs indicadores para identificação e monitoramento dos processos de desertificação na América Latina e Caribe, que serviram de base para o IV Encontro Regional da América Latina e Caribe (RRALC); os indicadores utilizados são divididos em dois grupos: indicadores situacionais, que incluem indicadores climáticos, econômicos e sociais; e indicadores de desertificação, que incluem indicadores físicos, biológicos e agrícolas.

Sampaio *et al.*, (2003) ajustou os indicadores utilizados no RRALC, porém o mesmo enfatizou a importância da morfologia do declive como indicador para os níveis de desertificação. Esta propensão é reforçada pelas características locais, estando a desertificação associada a alterações ao longo do tempo, como a deterioração das condições ambientais, naturais, agrícolas e de cultivo, pecuárias, econômicas e sociais. Aqui já tínhamos uma relação simbiótica entre os aspectos ambientais e humanos no que se diz respeito ao processo de desertificação e seu entendimento.

O método do índice de desertificação brasileiro foi desenvolvido por Vasconcelos Sobrinho (1978) que o utilizou para identificar núcleos de desertificação no Nordeste do Brasil. Os indicadores são divididos em seis categorias: físicos, agrobiológicos, uso da terra, assentamento humano, processos humanos biológicos e sociais (SOUSA, 2016). Essa linha histórica do desenvolvimento dos indicadores é enfatizada por Sousa, 2016 que constata que:

Para Matallo Júnior as principais contribuições relacionadas as metodologias de indicadores no Brasil são de Vasconcelos Sobrinho, do Instituto Desert, e a da proposta regional da América Latina e do Caribe. Vasconcelos Sobrinho além da sua contribuição relacionada com a questão espacial (núcleos de desertificação), trabalhou com 36 indicadores agrupados em 4 categorias: físicas, biológicas, agropecuárias e socioeconômicas. Os principais problemas com essa metodologia dizem respeito à aplicabilidade, por possuir muitas variáveis, à necessidade de uma equipe multidisciplinar especializada, à disponibilidade de dados, trabalhos de campo e à inexistência de algum tipo de ponderação entre os indicadores. (SOUSA, 2016, p. 52)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), sob a tutela do Departamento de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em colaboração com a Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura (FCPC) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) lançou um dos mais recentes estudos sobre degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil, com especial atenção para a delimitação de áreas sujeitas à desertificação (ASD) e áreas em estágio moderado e avançado de desertificação em todo o estado do Ceará.

Este projeto foi desenvolvido com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a partir dos quais o CGEE calculou os indicadores sociais,

econômicos e ambientais para identificar as ASDs no Brasil em nível regional. Os indicadores socioeconômicos selecionados foram: demografia, índice de desenvolvimento humano, educação, saúde, emprego e renda, gestão ambiental, atividade agrícola de pequena, média e larga escala, criação de bovinos e caprinos, apicultura e cultivos diversos (CGEE, 2016).

A utilização desses indicadores de desertificação contribuiu para a padronização de métodos de identificação e monitoramento dos processos de desertificação e para o desenvolvimento de políticas públicas para seu controle em termos regionais e locais no semiárido brasileiro (MATALLO JÚNIOR, 1999).

É importante notar que o uso de indicadores de desertificação vai além da identificação de causas e efeitos, medição de problemas e descrição do estado atual do meio ambiente; portanto, uma das contribuições mais importantes seria o desenvolvimento sustentável das áreas afetadas pelo planejamento ambiental que permitem a convivência da população com aspectos ambientais e naturais adversos.

Desse modo os IBGD costumam ser adotados em estudos brasileiros que levam como áreas de pesquisa bacias hidrográficas, zonas ou municípios do país. Baseando-se em sua maioria nos aspectos físicos e biológicos do meio, e traçando uma ponte com possíveis impactos dos níveis de desertificação nos aspectos sociais e econômicos de uma determinada área. Essa relação é determinada por um levantamento ou perfil socioeconômico, seja num contexto histórico ou um recorte temporal para a análise. Essa concordância pode ser observada em trabalhos recentes de (DE SANTANA; NETO; DE ALENCAR GUEDES, 2021), (DE SOUZA; DE SOUZA; DE SOUSA, 2021) e (ESTEVES, CRUZ, 2022).

Os indicadores utilizados nesta pesquisa são baseados nos Indicadores Geobiofísicos de Suscetibilidade à Desertificação (IBGD) de Abraham e Beekman (2006) e Oliveira (2003, 2011), que selecionam parâmetros segundo os atributos físicos e biológicos (tabela 1).

Tabela 1 – Indicadores biofísicos de desertificação.

INDICADORES BIOFÍSICOS DE DESERTIFICAÇÃO		
Geologia (Litotipos / Permeabilidade) – IBFD1		V.I.
Cobertura não coesas (depósito sedimentar)		(5)
Capeamento arenítico, lateritas (rch sedimentar)		(4)
Litotipos arenitos-basálticos (rocha sedimentar, associada c/ vulcânica)		(3)
Exposições basálticas, granito-gnassificado, (vulcânicas/fissurais, metamórficos)		(2)
Produtos vulcânicos, núcleos granitóides (vulcânicas/plutônicas)		(1)
Geomorfologia (Declividade / topográfico) – IBFD2	Faixa	V.I.
Plano	0 - 3 %	(5)
Suave ondulado	3 - 8 %	(4)
Ondulado	8 - 15 %	(3)
Fortemente ondulado	15 - 45 %	(2)
Montanhoso	> 45 %	(1)
Cobertura vegetal (Estratificação) - IBFD3	Faixa	V.I.
Predominância de estrato arbóreo	+ 5 m	(5)
Predominância de estrato arbóreo médio-alto	3 - 5 m	(4)
Predominância de arbustos médios	1 - 3 m	(3)
Predominância de arbustos baixos	0,5 – 1m	(2)
Pastos / cultivos / sem vegetação		(1)
Cobertura Vegetal Natural – IBFD4	Faixa	V.I.
Cobertura vegetal primária com distribuição alta	+ 75 %	(5)
Com distribuição médio-alta	54 - 75 %	(4)
Com distribuição média	32 - 53 %	(3)
Com distribuição médio-baixa	10 - 31 %	(2)
Cobertura inferior a 10%	< 10 %	(1)
Solos (Espessura) – IBFD5	Faixa	V.I.
Muito profundos	> 200 cm	(5)
Profundos	100 - 200 cm	(4)
Moderadamente rasos	50 - 100 cm	(3)
Raso	25 - 50 cm	(2)
Muito rasos e afloramentos rochosos	Sem solo < 25 cm	(1)
Erosão / Escoamento – IBDF6	Faixa	V.I.
Baixa susceptibilidade		(5)
Erosão em sulcos		(4)

Erosão com ravinas	Profundidade < 100 cm	(3)
Ravinas/voçorocas	100 - 200 cm	(2)
Voçorocas	Profundidade > 200 cm	(1)
Condições Climáticas – IBFD7	Faixa	V.I.
Zona úmida	> 700	(5)
Zona sub-úmida	Pluviometria entre 600	(4)
Zona sub-úmida a semi-árida a árida	pluviometria entre 400 – 600 mm	(3)
Zona árida a semi-árida	pluviometria entre 300 - 400 mm	(2)
Zona árida	pluviometria inferior a 300 mm.	(1)

Fonte: Elaborado por Oliveira (2011).

Os indicadores tem assim por objetivo ter conhecimento mais preciso, proporcionando a previsão, o monitoramento, a minimização, o combate e convivência a desertificação; integrados e complementados pelos Sistemas Ambientais, pois estes buscam integrar os dados físicos e sociais por meio de uma organização, amparando as causas e as consequências existentes na desertificação.

Os indicadores geofísicos de desertificação (IGBD) escolhidos para o estudo seguem os parâmetros dos componentes ambientais da paisagem: geologia, relevo, cobertura vegetal, solos, erosão e condições climáticas (OLIVEIRA, 2011; CEZÁRIO, 2019).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O recorte da sub-bacia é relevante para o estudo da temática das terras secas, pois contribuiu na identificação, na análise, no combate aos problemas associados ao processo de desertificação, sendo esta uma adversidade complexa de atuação global, porém suas causas naturais e antrópicas são diversas, portanto, os planos de ações de combate à desertificação entram em contato com as diferentes situações locais (HARE *et al.*, 1992).

Outro ponto a ser levantado no recorte efetuado, e que este consiste no Alto Curso da sub-bacia do Rio Canindé. Essa opção se deu, como exposto anteriormente nos aspectos operacionais, na necessidade de escala local, para um maior nível de detalhamento das características Geoambientais e dos indicadores de desertificação a serem levantados.

A pesquisa foi desenvolvida em quatro fases principais (figura 01), através da combinação de métodos indutivos e dedutivos, descritas na seguinte forma sequencial e

interrelacionada, a saber: i) Levantamento bibliográfico; ii) Uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento; iii) Trabalhos de campo; e iv) Tratamento de dados. O detalhamento encontra-se adiante.

3. 1 Fases da pesquisa

A abordagem metodológica empregada na pesquisa foi uma adaptação da sequência sistemática aplicada por Souza (2000), que se constitui em três etapas básicas: analítica, sintética e integrativa, sendo esta desenvolvida nas quatro etapas citadas anteriormente e descritas logo abaixo.

Na fase analítica procedeu-se a uma compilação de dados (levantamentos: bibliográficos, cartográficos e censitários) que corroboram para a caracterização geoambiental das áreas investigadas, que correspondem aos componentes naturais da paisagem (geologia, geomorfologia, clima, hidrografia, solo e cobertura vegetal) e o contexto socioeconômico das sub-bacias estudadas.

Na fase sintética, determina-se a conexão dos dados recolhidos na fase anterior, a filtragem dos materiais de acordo com o tema em causa, resultando em produtos com a delimitação dos sistemas ambientais e a descrição do uso e ocupação do solo; neste último caso, são consideradas para avaliação as atividades econômicas e os níveis de degradação da vegetação.

A etapa de integração compreende a fase final da pesquisa, cujo resultado depende das correlações das etapas anteriores, os quais serão utilizados os indicadores de desertificação para cada sistema ambiental e constatados os níveis de suscetibilidade à desertificação da sub-bacia do rio Canindé.

3.2. Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico é geralmente a primeira fase de qualquer pesquisa científica, sendo a base dos dados primários de um estudo. Esses fundamentos teóricos e metodológicos irão influenciar e sustentar todo o desenvolvimento da tese e dos objetivos pré-definidos, desde o embasamento teórico até o processo de conclusão da pesquisa.

De acordo com o tema da dissertação, foi realizada uma revisão bibliográfica dos seguintes tópicos: análise sistêmica da paisagem seguindo os estudos de: (SAUER, 1975), (TRICART, 1977), (CHRISTOFOLETTI, 1999), (BERTRAND, 2004), (SOUZA, 2000),

(SOUZA; OLIVEIRA, 2011), (SANTOS; SOUZA, 2014) (LIMA; SILVA, 2015); a bacia hidrográfica como área de planejamento ambiental desenvolvido por: (ODUM, 1988), (BELTRAME, 1994), (MORAIS, 1997), (ROCHA; KURTZ, 2001), (BARRELLA, 2001), (BOTELHO; SILVA, 2004), (SANTOS, 2004), (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2005), (CARVALHO, 2014) e (CARVALHO, 2018); estudos de degradação/desertificação no Brasil e em Cabo Verde segundo os autores: (MATALLO JÚNIOR, 1999), (BRASIL, 2004), (ABRAHAM, *et al.*, 2006), (OLIVEIRA, 2006, 2011), (CONTI, 2008), (CEARÁ, 2010), (SEMEDO, 2010), (SOUZA; OLIVEIRA, 2012), (CGEE, 2016), (BARRETO, 2018), (CEZÁRIO, 2019);. Essa pesquisa consistiu em dados de meios impressos e digitais, como artigos de periódicos, monografias, dissertações, teses e livros.

Os dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e do Instituto Cearense de Pesquisa e Estratégia Econômica (IPECE, 2010; 2020; 2022), o Censo Agropecuário (2017), dados de cultivos e culturas agrícolas pertencentes aos relatórios da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará – Ematerce (2022;2023). Foram também utilizados os dados secundários e socioeconômicos de Canindé disponíveis nas secretarias do município.

3.3 Bases de dados cartográficos e mapeamento temático

O mapeamento temático da sub-bacia do rio Canindé fundamental para sua caracterização geoambiental, e nos resultados da pesquisa destacando a importância das técnicas de geoprocessamento utilizadas na construção de dados cartográficos e mapas.

A integração dos diferentes componentes ambientais serve de base para a criação do mapeamento dos sistemas ambientais. Os componentes dizem respeito ao suporte (litotipos, geoformas e águas subterrâneas) e cobertura (solos e biodiversidade).

Para a elaboração da cartografia temática da sub-bacia do rio Canindé foram utilizados os seguintes dados: curvas topográficas utilizando as imagens SRTM, O mapa foi elaborado a partir da Carta Geológica, escala 1:250.000, Folha Quixadá – SB. 24 – V – B; Levantamento do mapa de reconhecimento de solos do estado do Ceará na escala 1 : 600.000 (SUDENE, 1972), fornecido pela EMBRAPA; mapa geomorfológico do projeto RADAMBRASIL, escala 1: 1.000.000 (1981); mapa geológico do Ceará, na escala 1:500.000 (CPRM, 2020), publicado pela FUNCEME; imagens da Shulte Radar Topography Mission (SRTM), da National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2022); Imagens de satélite LANDSAT 8, com resolução espacial de 30 metros (2022).

A elaboração dos mapas temáticos seguiu uma padronização, foram confeccionados no *software* ArcGis online. O sistema de projeção utilizado foi Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, fuso 24S/Datum: Sirgas 2000. A escala cartográfica dos mapas aplicada na sub-bacia do Canindé foi 1: 100.000. Com exceção do mapa geológico, que usou-se da escala 1:124.000 devido as escalas usadas nos mapas da CPRM (2020), que foram a base para sua elaboração.

Abaixo segue descrição dos mapas até então elaborados para esta bacia.

As imagens do sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) em uma escala de 30 m foram usadas para o mapa hipsométrico.

No mapa de declividade, foram utilizadas imagens Topodata, que fornece o Modelo Digital de Elevação do MDE e as classes de declividade são embasadas na EMBRAPA (1979) e Oliveira (2011).

No mapa geológico, foram utilizados os dados da Sociedade de Recursos Minerais - CPRM (2020) e o Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará na escala 1: 750.000 (CPRM, 2020), o que permitiu a classificação das unidades estratigráficas e estrutura litológica.

O mapa geomorfológico foi produzido segundo a metodologia de Souza em Atlas do Ceará (1989), CPRM (2003, 2020). Esse mapa deu base para como a delimitação dos sistemas ambientais, pois refere-se à síntese do contexto geoambiental, no que tange à compartimentação topográfica e feições morfoesculturais (Souza, 2015).

Para os dados hidroclimáticos foi elaborado o balanço hídrico climatológico da sub-bacia do rio Canindé foram escolhidas quatro estações meteorológicas e a série histórica a serem utilizadas na pesquisa; em seguida foram adquiridos os dados de precipitação total mensal/anual (mm) e temperatura média mensal/anua (°C), por fim, foi determinada a Capacidade de Armazenamento de Água do Solo (CAD) equivalente ao tipo de solo predominante na estação meteorológica definida (FUNCEME, 2022).

Para estimar as temperaturas mensais foi utilizado o software CELINA Versão 1.0 (UFC/2007), desenvolvido por Costa e Sales (2006), que é um software computacional de estimativa de temperaturas médias mensais.

Com os dados de latitude e precipitação foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico. Para este cálculo empregou-se o método de Thornthwaite & Mather (1955), através do programa “BHnorm” elaborado em planilha EXCEL por Rolim *et al.* (1998).

Os dados necessários para a morfometria da sub-bacia foram extraídos de um MDE, adquirido através do plugin SRTM downloader, na plataforma SIG de código livre

QGIS versão 3.22.14. Em seguida, procede-se a suavização do MDE com auxílio do plugin fill sinks, processo necessário para a remoção de depressões localizadas, que podem interagir com a drenagens na hora da extração. Por fim, é feita a reprojeção do MDE para o sistema de coordenadas UTM; Datum SIRGAS 2000 zona 24S.

Após o tratamento do arquivo raster, foram obtidos os dados fisiográficos da bacia: área; cotas altimétricas; perímetro; drenagens; eixo axial; e comprimento total dos rios da bacia. Com a obtenção desses dados é possível a realização dos cálculos morfométricos da bacia: coeficiente de compactidade, fator de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem. Todos esses dados são obtidos com auxílio das ferramentas: calculadora de campo e estatística zonal.

Para o mapa de solos, foram usados dados do mapa Exploratório de Reconhecimento dos Solos do Estado do Ceará (SUDENE, 1972), EMBRAPA (2013) e Ceará (2013), com objetivo de realizar as associações de solos presente na bacia cearense.

No mapa de uso e cobertura da terra foi realizado a calibração radiométrica e correção atmosférica utilizando-se a correção por Dark-Object Subtraction – DOS (CHAVEZ-JR, 1988). É importante destacar que, segundo a Agência Espacial Europeia (ESA, 2017), as imagens do satélite Sentinel-2 já são fornecidas na reflectância Topo de Atmosfera (Top-Of-Atmosphere - TOA).

Após o pré-processamento, as imagens foram mosaicadas em falsa cor utilizando as bandas B2 azul (490 nm), B3 verde (560 nm) e B4 vermelho (665 nm). As referidas imagens passaram por uma segmentação para a obtenção do mapeamento de cobertura da terra utilizando a classificação supervisionada por máxima verossimilhança, proposta por Hartley e Rao (1967).

A partir destes processos supracitados, obteve-se 03 classes de cobertura da terra, adaptando a as classes com os estudos de uso e ocupação do Projeto Mata Branca (2013) e do zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação (2015), que levam em consideração a cobertura vegetal e o estado de conservação ou degradação do ambiente.

Os mapas de sistemas ambientais consistiram na sistematização dos componentes do geoambiental (geologia, geomorfologia, clima, hidrografia, solos e cobertura vegetal) com base na metodologia (SOUZA, 2000) e (SOUZA e OLIVEIRA, 2011).

3.4 Trabalho de Campo

O campo consiste em uma etapa de pesquisa para detecção de dados primários, confirmação e validação de informações encontradas no levantamento de dados bibliográficos, sendo esta técnica relevante para a consolidação e caracterização geoambiental (aspectos naturais e sociais) do território investigado.

Durante a pesquisa, quatro trabalhos de campo foram determinados e planejados de acordo com o cronograma para atingir os objetivos propostos. Houve a realização de três trabalhos de campo.

O primeiro campo ocorreu em março de 2022, entre os dias 14 a 18, para reconhecer a área da sub-bacia do rio Canindé, para a comparação dos dados levantados no levantamento bibliográfico e cartográfico. Houve ajuste da área da sub-bacia, onde optou-se pelo recorte dela, prevalecendo o alto-curso da mesma. Também ocorreu o aprimoramento da metodologia de análise da desertificação sendo definidos os possíveis indicadores a serem analisados.

O segundo campo, e segundo na área da sub-bacia de Canindé aconteceu em janeiro de 2023. Este possibilitou o levantamento dos componentes Geoambientais da sub-bacia (geologia, geomorfologia, hidrografia, clima, solos e cobertura vegetal).

O terceiro e último campo, foi realizado entre os dias 25 e 28 de julho de 2023. Este campo possibilitou uma melhor análise dos sistemas ambientais, suas potencialidades e limitações, bem como a adequação dos Indicadores geobiofísicos de desertificação aplicados.

Os materiais utilizados em campo para coleta de informações e verificação de dados foram: câmera; GPS; e bloco de anotações.

3.5 Análise de dados e indicadores de desertificação

Já o mapa de suscetibilidade à desertificação foi elaborado a partir da aplicação dos indicadores geobiofísicos de desertificação (ABRAHAM E BEEKMAN, 2006), (OLIVEIRA, 2011) em cada sistema ambiental da sub-bacia estudada, tendo como base os mapas posteriores de uso e ocupação e sistemas ambientais.

Deste modo, houve um diagnóstico geoambiental da área pesquisada, baseando-se na análise integrada, através das devidas correlações entre os componentes naturais (aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos, pedológicos e vegetacionais) e socioeconômicos (ver quadro 2). Essa análise teve como produto cartográfico a espacialização dos indicadores, buscando levantar as potencialidades e limitações de cada sistema, bem como comparar as principais diferenças e similaridades entre as sub-bacias.

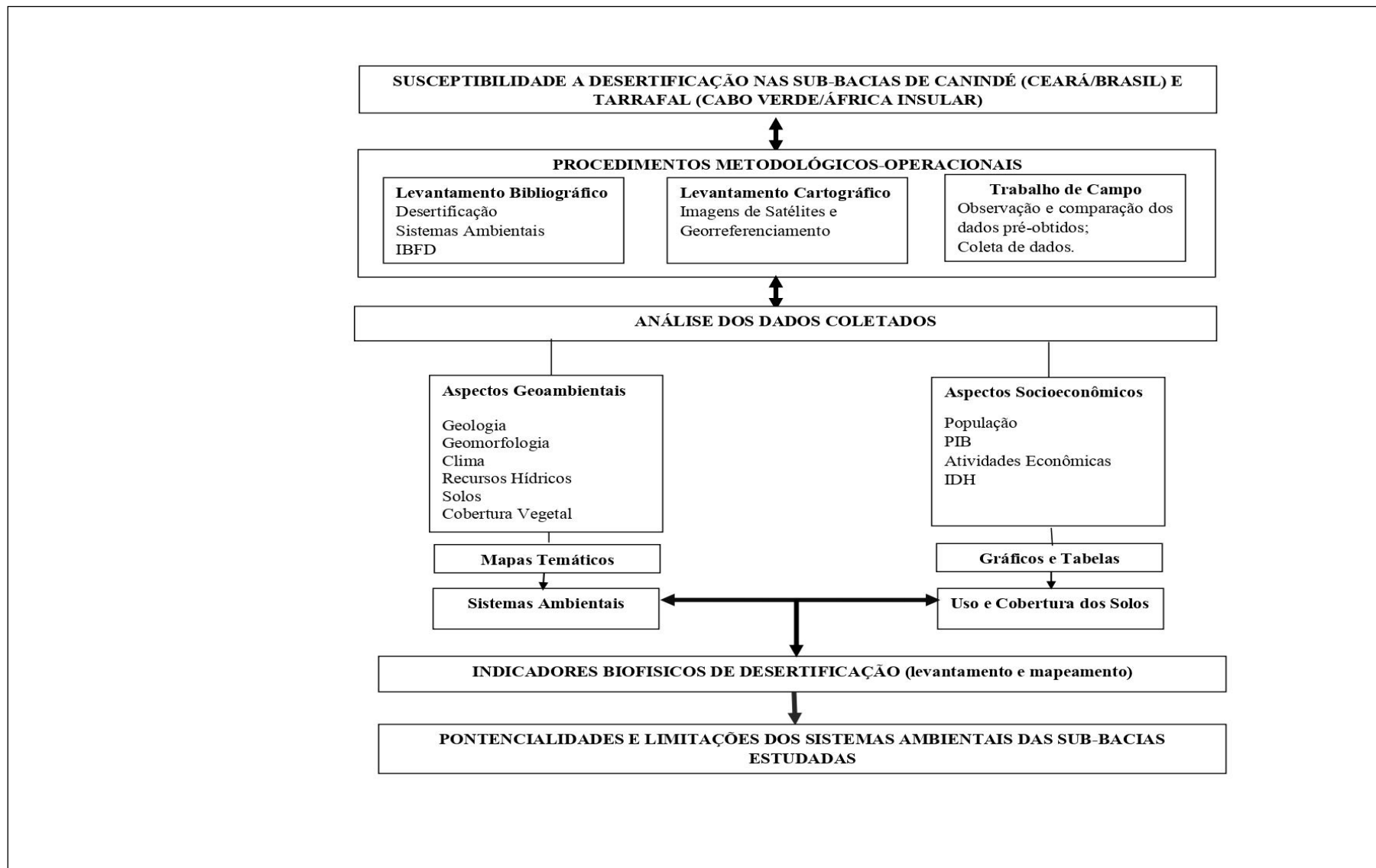
Quadro 2: Indicadores de Desertificação

INDICADORES GEOBIOFISICOS DE DESERTIFICAÇÃO	INDICADOR	DESCRITORES
	GEOLOGIA	PERMOPOROSIDADE
	GEOMORFOLOGIA	DECLIVIDADE
	ASPECTOS CLIMÁTICOS	SETORIZAÇÃO CLIMÁTICA
	SOLOS	ESPESSURA DO SOLO
		GRAU DE EROÇÃO DO SOLO
	COBERTURA VEGETAL	ESTRATIFICAÇÃO

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011;2013).

Em seguida, apresenta-se, na Figura 2, o fluxograma metodológico da pesquisa, especificando todas as três etapas da investigação e o percurso metodológico:

Figura 2 - Fluxograma – metodológico.



Fonte: adaptado de (SOUZA, 2000) e (SOUZA e OLIVEIRA, 2011).

4 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ

A sub-bacia do rio Canindé, está inserida no alto curso da bacia hidrográfica do Curu, drenando a maior porção do município, equivalente a mais de 79,9% do seu território (CEARÁ, 2009). Esta abrange uma área aproximada de 1.275,5 km², constituída por rios e riachos bastante ramificados, ordenados em padrão dendrítico, cujas nascentes são situadas no Serrote Pelado, na porção sudeste de Canindé (BRITO, 2005). O rio Canindé por sua vez se constitui como um dos principais tributários da bacia do Curu, percorrendo toda a sede do município, tendo assim um papel importante para a hidrologia e disponibilidade hídrica do município de Canindé.

No contexto, climático a sub-bacia do Rio Canindé possui características semiáridas, as médias térmicas anuais estão entre 26° e 28°C, com uma precipitação média anual abaixo de 754,9 mm (IPECE, 2020).

As potencialidades turísticas do município no qual a sub-bacia está inserida, são as manifestações culturais, o turismo religioso, como a festa anual de São Francisco das Chagas, o padroeiro da cidade. Já nas potencialidades naturais, destacam-se as atividades de subsistência como agricultura e pecuária e extrativismo de origem vegetal e mineral praticadas tanto na extensão total do município, quanto na área da própria sub-bacia.

Para uma melhor pesquisa foi escolhido em gabinete e como recorte de estudo o alto curso da sub-bacia de Canindé, que corresponde a uma área de possui área de 235,60 km². O recorte começa da nascente do rio Canindé, entre a divisa territorial entre os municípios de Itatira e Canindé e tem como exultório o açude São Mateus, localizado na sede do município homônimo.

As condições ambientais tratadas a seguir, caracterizam o contexto em que a sub-bacia do rio Canindé está inserida, evidenciando que, além dos aspectos naturais já apresentarem suscetibilidade ao processo de desertificação, as atividades antrópicas desenvolvidas de forma desequilibrada com a capacidade de suporte dos sistemas ambientais ao longo dos anos, têm sido sobrecarregada pelos usos intensivos dos recursos naturais, contribuindo diretamente para o desencadeamento do cenário de desertificação.

4.1 Geologia

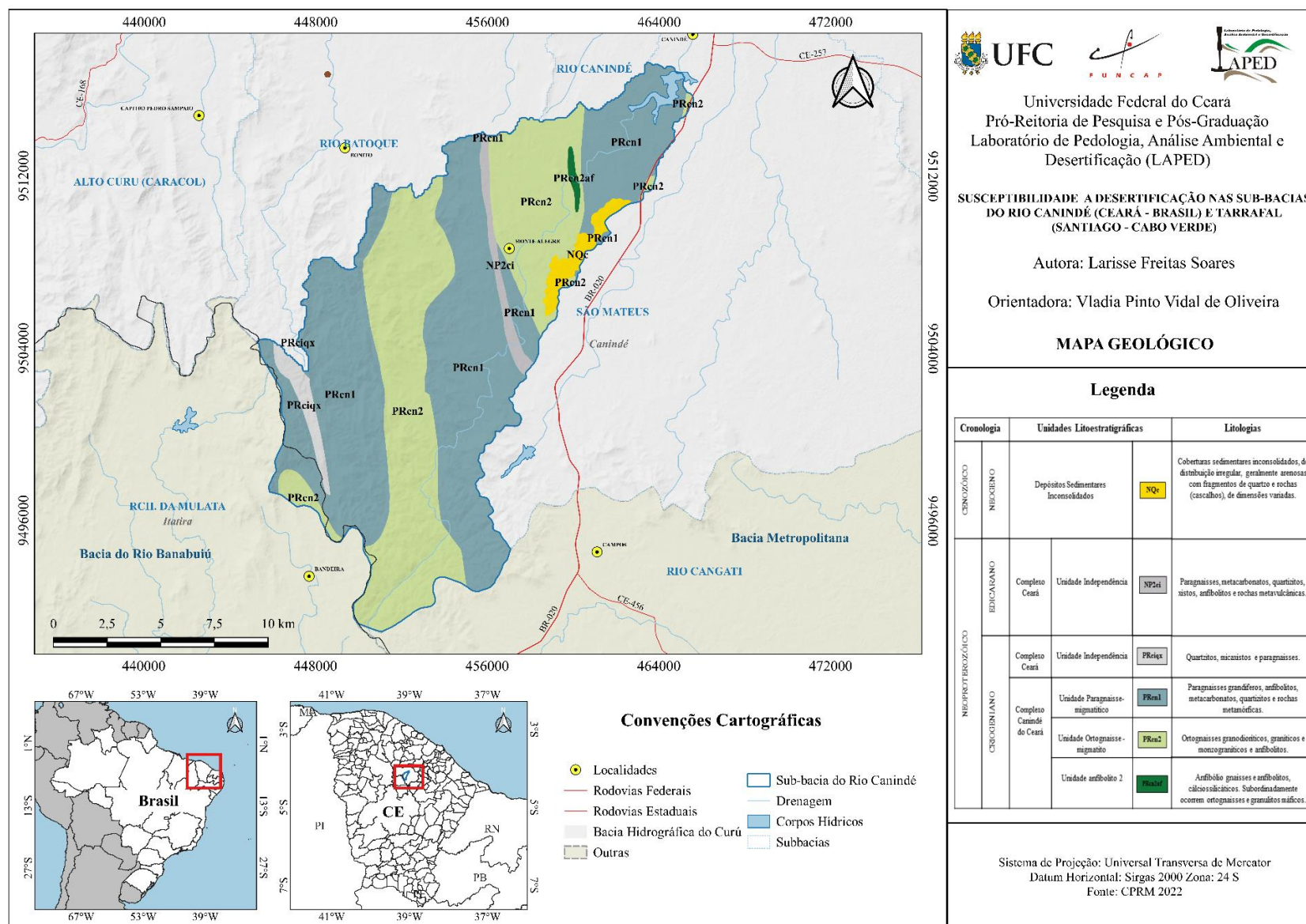
Segundo Souza (2000), as características geológicas têm imensa importância na construção da paisagem, podendo afetar a disposição das rochas, a presença ou ausência de falhas, planos de estratificação, falhas e dobras e a resistência das rochas, susceptibilidade a alterações nas propriedades químicas, permeabilidade ou impermeabilidade dos estratos litológicos. Eles aplicam ainda o fator de controle no desenvolvimento da superfície da terrestre. Isso afeta as características ambientais, como a geomorfologia, a diversidade dos solos, a disponibilidade dos recursos hídricos e condições fitoecológicas.

A área da sub-bacia do rio Canindé está localizada no Domínio Ceará Central da província da Borborema, onde predomina a maior parte das rochas basálticas cristalinas presentes nos sertões, com datação cronológica mais antiga, da era Pré-Cambriana, iniciando-se no Arqueano e no final do Neoproterozóico (ARTHAD, 2007). Apesar da heterogeneidade litológica, principalmente rochas cristalinas em sua maioria de plutônicas e metamórficas (OLIVEIRA, 2002), colaboraram para a formação do relevo, por isso é importante considerar a contribuição dos agentes internos (tectônicas) e externos (rochas climáticas) na formação geológica.

A predominância litológica presente na sub-bacia do rio Canindé corresponde aos escudos cristalinos, com tempo de formação geológica do período Pré-Cambriano, e inserções sedimentares, principalmente, em áreas de planícies fluviais. Esse contexto geológico influencia nas formações geomorfológicas predominantes, bem como nos processos erosivos ativos, tendo um impacto gradual nas atividades antrópicas exercidas na área.

Com base nos dados obtidos pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM, 2020), foi possível identificados os seguintes grupos/formações litoestratigráficas descritos no mapa 2.

Mapa 2 – Unidades Litoestratáficas da sub-bacia do rio Canindé



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

O Complexo Ceará, Unidade Canindé referente à Era Paleoproterozóica está constituído por paragneisses em níveis distintos de metamorfismo e migmatização, incluindo ortogneisses ácidos, e rochas metabásicas, gnaisses dioríticos, metagabros, metaultramáficas quartzitos e metacalcários; paragneisses associados a jazimentos estratóides e diqueformes de granitoides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados e constituído de quartzitos (CPRM, 2020). Em uma melhor descrição dessas subunidades temos:

Unidade Ortogneisses Migmatíticos (PP2 cno) Ortogneisses de composição granodiorítica, granítica, monzogranítica e, mais raramente, tonalítica, por vezes migmatizados e de cor cinza. Contêm anfíbolito e raramente paragneisses migmatíticos (CPRM, 2020).

Unidade Paragneisse Migmatíticos (PP2 cnp): paragneisses e xistos, localmente migmatizados, comumente com granada e silimanita no mesossoma, além de níveis ricos em grafita e manganês (gonditos). Há ainda quartzitos (q), anfíbolitos, metacarbonatos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas. Ortogneisses ocorrem e são subordinados (CPRM, 2020).

Além disso existe a presença da Unidade Independência (NP2 ci) com predomínio de xistos aluminosos e paragneisses, por vezes milonitizados e migmatíticos (granada-biotita gnaiss, biotita-muscovita gnaiss, paragneisse com silimanita e cianita). Ocorrem ainda quartzitos (q), rochas calcissilicáticas e mármore (ca), anfíbolitos e rochas metavulcânicas félsicas. (CPRM, 2020).

Com o predomínio de rochas de embasamento metamórfico e ígneo a permeabilidade é muito baixa em quase toda a extensão da sub-bacia, uma vez que coexistem uma combinação dos complexos Canindé do Ceará e Ceará, caracterizados por paragneisses, gnaisses, granitos e xistos.

Os depósitos sedimentares inconsolidados do período Cenozoico representam a menor unidade litoestratigráfica, constituídas de sedimentos argilosos, areia (argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas) e cascalhos (2020).

4.2 Geomorfologia

A geomorfologia da sub-bacia do Canindé reflete os aspectos tectônicos e litológicos responsáveis pela modelagem do relevo. Aspectos tectônicos são bem

representados por linhas de falha e ajustes da rede de drenagem. Aspectos litológicos são apresentados através dos tipos de mudanças de superfície e as relações entre morfogênese e pedogênese. (SOUZA, 2000; BRITO, 2005)

Os aspectos geomorfológicos são ainda um reflexo não apenas das condições geológicas, ou fatores internos de modelagem, mas também fatores externos que trabalham juntos na formação da superfície da Terra. A análise das formas de relevo, cobertura superficial, morfogênese e morfodinâmica é, portanto, de necessária importância para o entendimento da formação geomorfológica da sub-bacia estudada.

A disposição do relevo da sub-bacia do Canindé é caracterizada pelo predomínio da depressão sertaneja em suas diferentes feições. Essa abrangência é influenciada pela formação geológica (escudos cristalinos), e pelos agentes erosivos e intempéricos presentes.

Com base nos dados altimétricos e das análises feitas pela CPRM (BRASIL, 2020); Brito (2005); Souza (1988; 2000), foram delimitadas cinco compartimentações geológicas presentes tanto no município de Canindé, quanto na sub-bacia do rio Canindé, estes são dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Compartimentação Geomorfológica do município de Canindé

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS	IDADE GEOLÓGICA	COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS
Depósitos Sedimentares	Cenozóico (Holoceno)	Planícies fluviais e de inundação sazonal
Escudos e Maciços Antigos	Pré-Cambriano Inferior a Médio	Depressão Sertaneja Dissecada
		Depressão Sertaneja Aplainada Suave Ondulada
		Cristas e Inselbergs
	Pré-Cambriano Superior	Maciço Residual do Machado

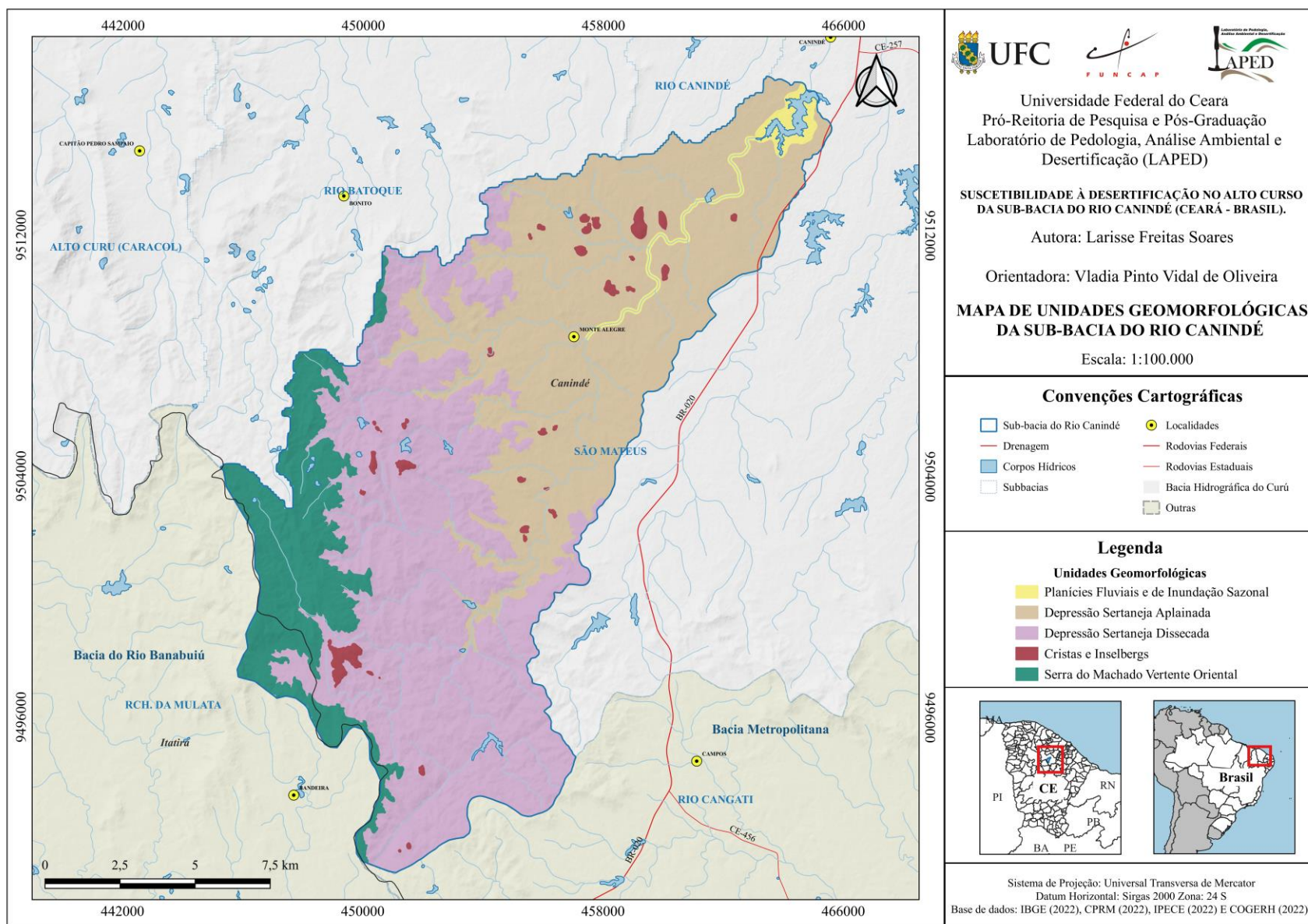
Fonte: Adaptado de Brito (2005).

As mesmas compartimentações foram observadas no mapa de compartimentação geomorfológica da sub-bacia (ver mapa 3), a classificação e levantamento foi baseada nos estudos vistos anteriormente (SOUZA, 2000; Brito, 2005) e as curvas de níveis do mapa hipsométrico.

Uma das formas de distinguir diversas formações de relevo e topografia do terreno é um mapa hipsométrico, e pelo MDE – Modelo Digital de Elevação, que mostra as áreas mais baixas e mais altas da superfície. Nesse contexto, predominam as áreas baixas, ou seja, a depressão sertaneja presente em quase toda extensão da bacia. (ver mapa 4).

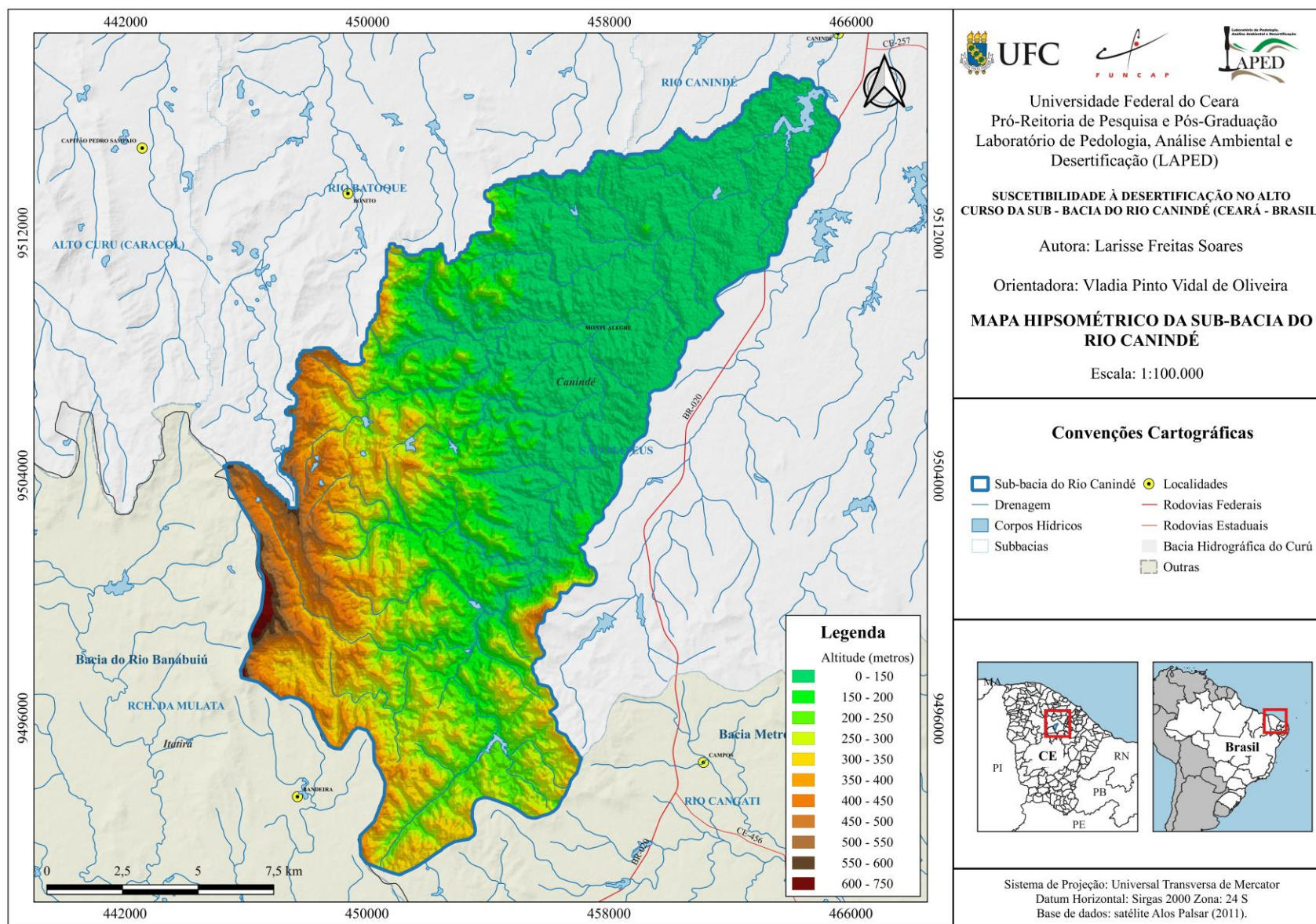
Ambos os mapas foram utilizados para caracterizar as morfoestruturas presentes na área de estudos. As descrições das unidades geomorfológicas, bem como os dados altimétricos podem ser visualizados e lidos logo a diante.

Mapa 3 – Unidades Geomorfológicas da sub-bacia do rio Canindé



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Mapa 4 – Mapa Hipsométrico da sub-bacia do rio Canindé



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

A sub-bacia apresenta feições dissecadas, erosivas e de deposição. As formas dissecadas ocorrem com maior destaque no Maciço Residual do Machado, que varia em relevo de ondulado nas encostas a montanhoso no topo das cumeeiras. A Depressão Sertaneja representa formas erosivas representadas por superfícies pediplanadas, que apresentam relevo achatado ocorrendo em diferentes tipos de litologias. As formas de deposição limitam-se às Planícies Fluviais e de acumulação, com relevo aplainado e sujeito a inundações sazonais (BRITO, 2005).

Essa formação possui entre 470 a 700 metros de altitude, com seu ponto mais alto chegando a 780 metros, como é possível observar no mapa 4. Essa variação possibilita uma maior dissecção do relevo e aumento dos processos erosivos na região. Outro ponto a ser ligado essa variação topográfica, é a sua relação com a retenção de umidade, proporcionando um maior conforto térmico e chuvas no Maciço do Machado.

A Depressão Sertaneja faz parte do Domínio dos Escudos e Maciços Antigos. Estas formas de relevo apresentam reflexos de fenômenos tectônicos (Pré-Cambriano), transmitem a relação entre a morfologia e os fatores geológicos e evidenciam as flutuações e mudanças climáticas do Cenozóico, nas quais se expressa a dominância de depressões periféricas derivadas de processos de denudação (SOUZA, 1988).

A Depressão Sertaneja representa, portanto, uma superfície aninhada entre maciços cristalinos e/ou sedimentares, com cotas variando entre 100 m e 250 m, com topografia acentuadamente plana ou levemente ondulada e coberta por caatingas (SOUZA *et al.*, 1979).

A feição geomorfológica predominante é uma superfície pediplanada, que mostra como os processos erosivos cortam indistintamente os materiais geológicos existentes (SOUZA, 1988). A erosão diferencial também tem atuado sobre esta feição, destacando-se inselbergs e morros que possuem mais rochas resistentes à ação dos processos de intemperismo. O intemperismo, predominante em ambientes semiáridos, é um distúrbio mecânico que atua no leito rochoso cristalino pré-cambriano por meio de processos termoclásticos e esfoliação esferoidal. Termoclasia é uma variação diurna de temperatura que causa expansão e contração de minerais, resultando em trincas no material exposto (POPP, 2010). Quando essas variações produzem formas arredondadas e escamosas, ocorre a esfoliação esferoidal (TOLEDO, OLIVEIRA, MELFI, 2003).

As Depressões Sertanejas (Dissecadas e Aplainadas) cobrem aproximadamente 55% da área total da bacia. Esses compartimentos possuem substrato geológico composto por rochas pertencentes ao cristalino, originárias do Pré-Cambriano Inferior ao Médio, associadas

aos complexos Ceará e Canindé - Ceará (BRASIL; 2020), onde ocorrem gnaisses, migmatitos e núcleos graníticos. Essas formações geomorfológicas estão localizadas em intervalos de altitude de 130 a 280 metros.

Segundo Brito (2005), as depressões são superfícies erosivas típicas dos sertões do semiárido nordestino, que foram trabalhadas especialmente durante o Quaternário através dos processos de pedimentação e pediplanação, responsáveis pelo achatamento do relevo.

De acordo com Souza (1988), o grupo de Inselbergs e Cristas distribui-se ao longo da Depressão Sertaneja e é formado por rochas cristalinas com acentuada dissecação. São áreas geralmente desprovidas de solo ou vegetação e, quando ocorre a pedogênese, leva à formação de Neossolos Litólicos cobertos por caatinga arbustiva (SOUZA *et al.*, 1979). Em relação ao uso e ocupação, são áreas pouco utilizadas devido ao relevo ser íngreme e às já citadas características do entorno.

Já as Cristas e Inselbergs são formados por diversas rochas cristalinas, pertencentes tanto ao complexo Ceará quanto ao complexo Canindé - Ceará (Brasil, 2020), com predominância de gnaisses e quartzitos. São encontrados dispersos no meio dos sertões, onde o relevo varia de suavemente ondulado a fortemente ondulado devido a processos erosivos e dissecação de drenagem, ocorrendo frequentemente em altitude média de 200 a 350 m acima do nível do mar, conforme o mapeamento de detalhe.

Segundo Oliveira (2005) os maciços residuais são morfoestruturas residuais modeladas a partir de diferentes litologias do embasamento rochoso cristalino que resistiu ao processo de erosão diferencial, um antigo relevo que passou pelo desbaste de superfícies até chegar ao seu modelo atual. Apesar da identificação de um processo de dissecação promovido pela drenagem, destaca-se a morfogênese mecânica frente ao clima semiárido e sua variação de temperatura, pouca precipitação e amplitude térmica (SOUZA *et al.*, 1979), resultando em encostas íngremes, solos rasos com vegetação variando de caatinga a mata seca.

Os maciços residuais ou serras secas, formam o segundo maior componente das estruturas geomorfológicas presentes na bacia do rio Canindé. Esses maciços possuem substrato rochoso formado por diversas litologias cristalinas, pertencentes tanto ao Complexo Ceará quanto ao Complexo Canindé - Ceará, que se encontram sob relevo montanhoso, drenagem fortemente fragmentada, com altitude média de 600 metros em relação ao nível do mar.

A Serra do Machado é o maciço residual espacialmente mais proeminente localizado na parte oeste do município de Canindé, que se posiciona quase inteiramente no Sudoeste. Este maciço é constituído principalmente por gnaisse e xistos. A Serra do Machado

tem altitude média de 400 a 750 m, com os maiores níveis localizados na parte sul, próximo aos limites do município de Itatira (BRITO, 2005).

As planícies fluviais e as várzeas sazonais formam o componente geomorfológico de menor abrangência espacial, situado no meio das depressões sertanejas. São superfícies de acúmulo de sedimentos quaternários, processados pela atividade fluvial, depositados nas margens dos leitos dos rios.

As planícies fluviais e de acumulação desempenham um papel importante na formação do relevo por meio da erosão, transporte e deposição de sedimentos, portanto, os rios modificam as morfoestruturas existentes e criam novos modelados geomorfológicos (PETERSEN; SACK; GABLER, 2014). As principais planícies fluviais que se destacam pela extensão e expressão do abastecimento de água no período chuvoso compreendem as margens do Rio Canindé.

Os níveis de declividade determinam de inclinação de um relevo, caracterizando assim o grau de erosão que possa ocorrer no terreno, determinados pelos processos geomorfológicos que ocorrem áreas de vertente e/ou dissecadas (PRADHAN, 2010).

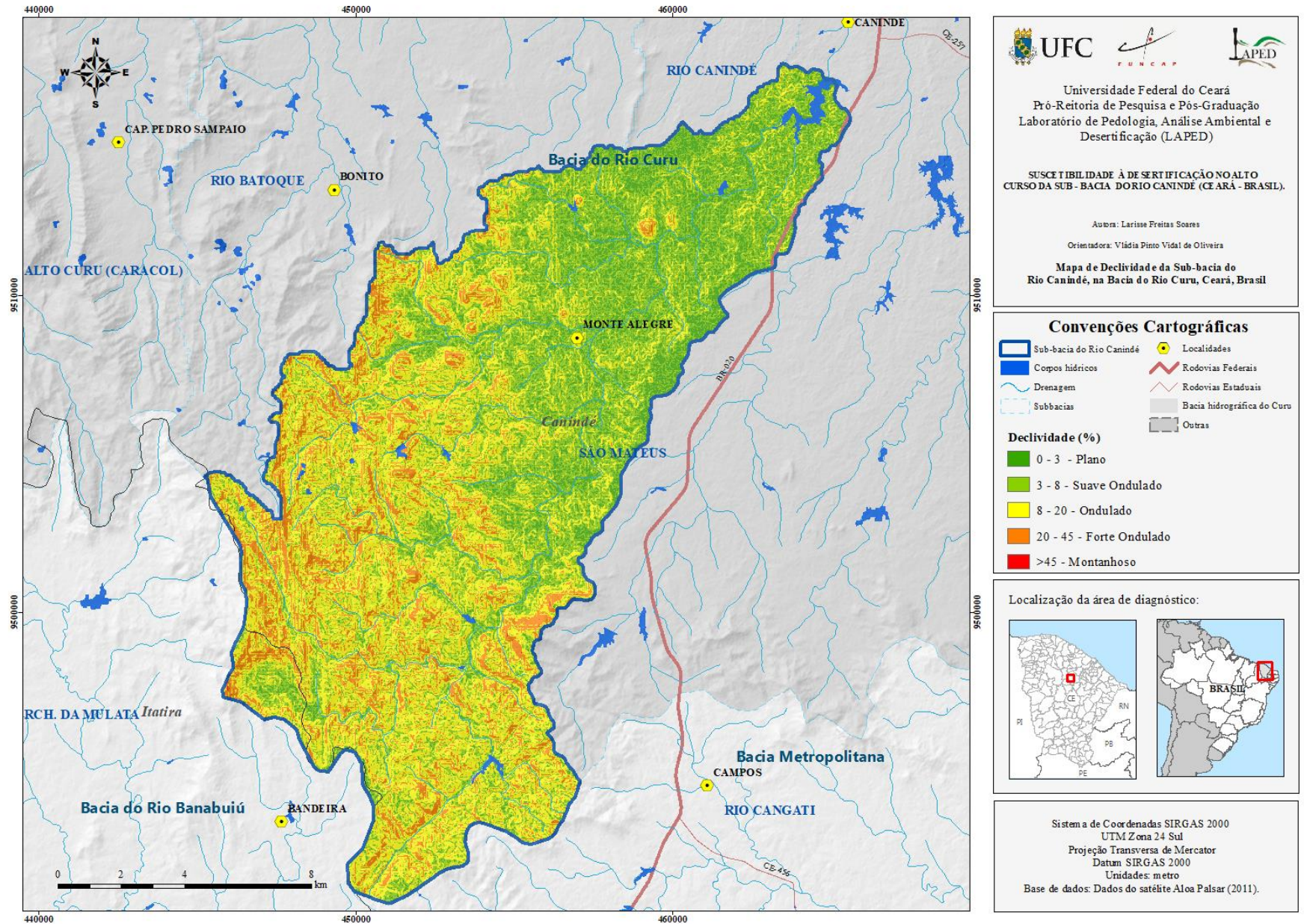
O relevo suave ondulado dos sertões de Canindé é propício ao uso e ocupação, enquanto as declividades fortemente onduladas, como as serras e cristas residuais, podem acarrear maior transporte de sedimentos e riscos de erosão (mapa 05). É possível ver a relação das formações geomorfológicas e suas respectivas declividades com as atividades e ocupações antrópicas desenvolvidas, como retratado no quadro abaixo:

Quadro 3 – Declividade do Alto Curso da sub-bacia do rio Canindé.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	DECLIVIDADE	OCUPAÇÃO HUMANA
Depressão Sertaneja Aplainada	Suave Ondulado	Núcleos urbanos/atividades agropecuárias
Depressão Sertaneja Dissecada	Ondulado a Fortemente ondulado	Pouca presença de núcleos urbanos/extratativismo
Cristas e Inselbergs	Fortemente Ondulado	Extratismo/ocupação humana quase nula
Maciço Residual do Machado	Montanhoso	Extratismo/ocupação humana quase nula
Planícies Fluviais e áreas de inundação sazonal	Plano	Núcleos urbanos/extratativismo/atividades agropecuárias

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Mapa 05: Mapa de declividade da sub-bacia do Rio Canindé.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

5.1 Aspectos climáticos

Para entender o contexto hidroclimático do alto curso da sub-bacia do rio Canindé é preciso perceber que ela está localizada no domínio morfoclimático das Caatingas, ou seja, com clima semiárido. Este tipo de clima tem características muito especiais que se refletem na vegetação, no desenvolvimento e fertilidade dos solos, na evapotranspiração, no regime fluvial, padrão de drenagem e processos morfodinâmicos.

Dentre as principais características desse domínio morfoclimático, podemos citar a vegetação, que é caducifólia, xerófita, esparsa, heterogênea e altamente resistente à seca. Os solos são em grande parte, pouco profundos em resultado dos processos erosivos provocados pelas chuvas torrenciais e pela pouca proteção que lhes confere a vegetação predominante. A evapotranspiração potencial é extremamente alta, acima de 2.000 mm/ano, os rios têm regime intermitente sazonal e drenagem dendrítica devido ao leito rochoso predominantemente cristalino (AB'SABER, 1975, 2003).

O clima com o maior grau de influência na área da bacia do rio Canindé é semiárido. Visto que a bacia está inserida na região nordeste do Brasil caracterizada por baixa pluviosidade, altas temperaturas, com estiagem e secas constantes. Essa predominância é considerada uma descontinuidade com o clima úmido encontrado na mesma latitude, definido por Ab'Sáber (1975) e Souza e Oliveira (2002) como um clima azonal de expressão regional. Pela proximidade com a linha do equador, onde as temperaturas permanecem altas praticamente o ano todo, são as chuvas que marcam a complexidade da semiaridez.

Segundo Ferreira (2017) os principais sistemas atmosféricos atuantes na sub bacia do rio Canindé e no Ceará como um todo são: Eventos El Niño- 45 Oscilação Sul (ENOS); Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Além de sistemas atmosféricos de menor escala, como as linhas de Instabilidade (LI), ondas de leste (OL), e dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), e do efeito das brisas marítima e terrestre na precipitação.

Dentre os sistemas atmosféricos destacados, possivelmente, o principal é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ferreira (2017 apud Ferreira e Mello 2005) enfatiza que a ZCIT:

[...] é o fator mais importante na determinação de quão abundante serão as chuvas no Ceará, normalmente ela migra de posição no decorrer do ano de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14° N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2° a 4° S entre fevereiro a abril. Esse deslocamento desse sistema atmosférico se relaciona com os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM). No Ceará ela determina a quadra chuvosa do estado, que ocorrendo durante os meses de fevereiro a maio. (Ferreira e Mello 2005 p. 67 apud Ferreira, 2017 p. 45).

Um outro sistema atmosférico relevante, mencionado por esses autores são as frentes frias, formadas por nuvens que penetram nas latitudes tropicais, criadas pela confluência de massas de ar frio e quente, responsáveis pelas chuvas que normalmente ocorrem entre os meses de novembro e janeiro. Juntamente com os sistemas mencionados anteriormente, existem redemoinhos ciclônicos de nível superior (VCANs). São conjuntos de nuvens que se formam no Oceano Atlântico, principalmente entre novembro e março, mais frequentemente entre janeiro e fevereiro. Esse fenômeno ocorre no sentido Leste-Oeste e dura em média de 7 a 10 dias (FERREIRA e MELLO, 2005; FERREIRA, 2017).

Outro ponto importante é a influência das Linhas de Instabilidade (LI) no clima presente nessa região. Elas são nuvens organizadas em linhas que se formam de acordo com a quantidade de radiação solar que incide sobre a área tropical. Devido à sua proximidade com a ZCIT, a LI pode afetar a ocorrência de precipitação, principalmente nos meses de fevereiro a março (FERREIRA e MELLO, 2005; FERREIRA, 2017).

Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são outros sistemas apontados por Ferreira e Mello (2005). Segundo os autores, tais complexos se constituem como aglomerados de nuvens que se formam sob determinadas condições de temperatura, relevo e pressão e são responsáveis por chuvas torrenciais, muito comuns no nordeste do Brasil.

As ondas de leste são fenômenos comuns no semiárido do nordeste brasileiro. São ondas que se formam na zona tropical do globo, na zona de influência dos ventos alísios, deslocam-se de leste a oeste e são responsáveis por chuvas principalmente na zona da mata, do recôncavo baiano ao litoral do Rio Grande do Norte.

Ferreira e Mello (2005) citam outros sistemas que influenciam as condições climáticas do Nordeste. No entanto, as brisas marítimas e terrestres os afetam de forma quase imperceptível. Os oceanos Atlântico e Pacífico intervêm mais diretamente. Tal influência está relacionada ao fenômeno do El Niño, quando as águas superficiais do Oceano Pacífico na zona equatorial sofrem superaquecimento, o que promove o movimento dos ventos alísios em direção a essa região e provoca secas no Nordeste brasileiro. O fenômeno La Niña ocorre

quando as águas superficiais do Oceano Pacífico esfriam e podem ser responsáveis pela ocorrência de chuvas normais, anos úmidos ou muito úmidos.

Todos esses sistemas atmosféricos em conjunto a temperatura e a geomorfologia da sub-bacia do rio Canindé é que definem o padrão climático do município. Que segundo o IPECE (2020), é definido como Tropical Quente Semiárido, e Tropical Quente Semiárido Brando, com médias de temperatura entre 26°C a 28°C e média de precipitação em torno de 754,9 (mm), detendo seu período chuvoso de fevereiro a abril.

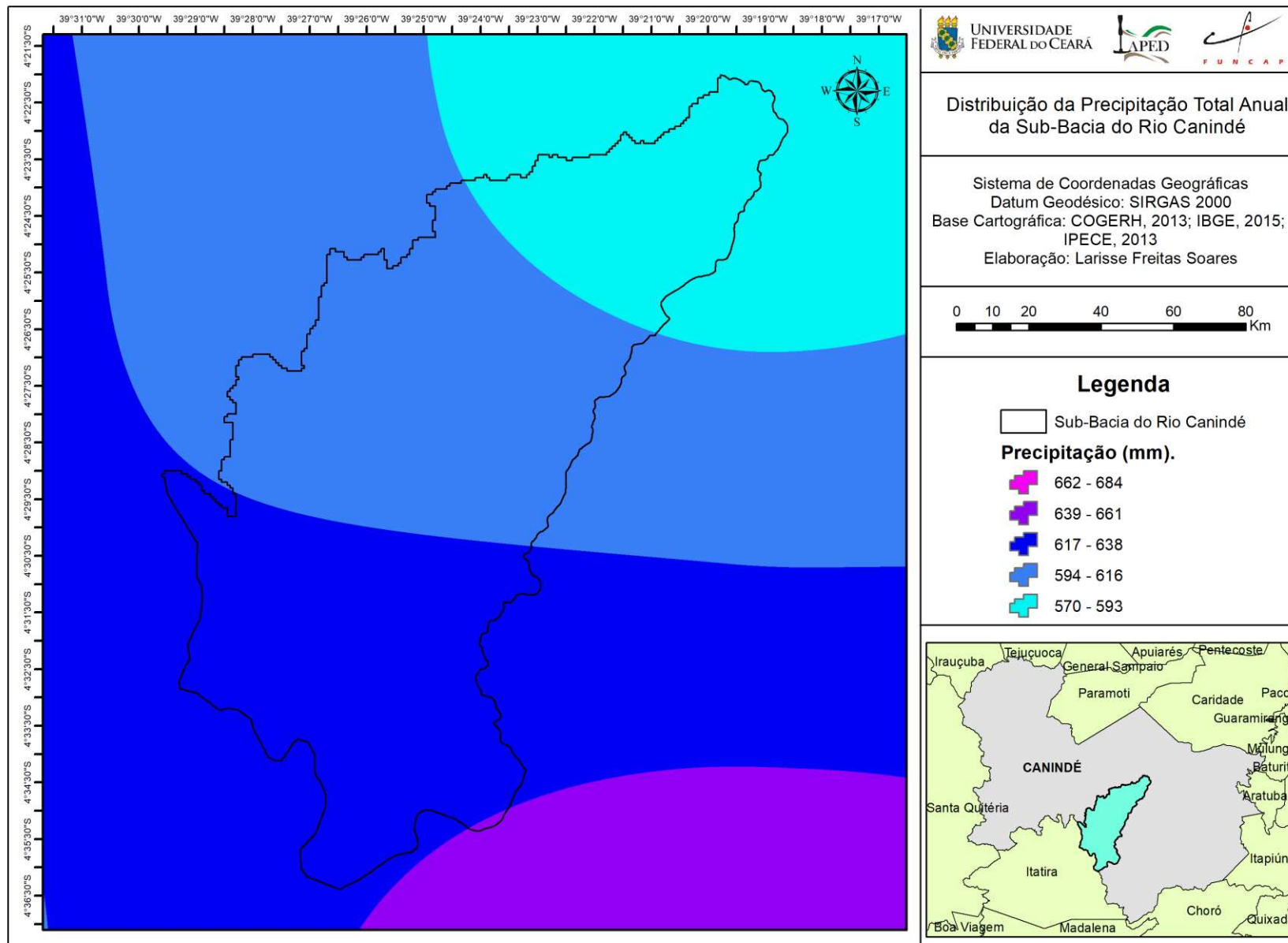
Para uma melhor interpretação das características hidroclimáticas da bacia como médias de precipitação, déficit hídrico e excedentes foram utilizados dados dos seguintes postos pluviométricos (tabela 2):

Tabela 2 - Estações pluviométricas da sub-bacia do rio canindé

LATITUDE	LONGITUDE	OPERADORA	CÓDIGO	MUNICÍPIO	POSTO	SÉRIE DE DADOS
-4,5333	-39,6167	FUNCEME	1	Itatira	Itatira	2001-2015
-4,7555	-39,3167	FUNCEME	372	Canindé	Esperança	2001-2015
-4,61	-39,65	FUNCEME	375	Itatira	Bandeira	2001-2015
-4,3667	-39,3167	FUNCEME	559	Canindé	AC. São Matheus	2001-2015

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Com base nos dados coletados da série de 2001 a 2015 foi elaborado o mapa 6, que buscou caracterizar as médias pluviométricas da área da sub-bacia, buscando destacar as possíveis tipologias climáticas que serão utilizados na caracterização do sistema e dos indicadores de desertificação.



Com a análise do mapa foi possível diferenciar por meio das médias pluviométricas possíveis tipologias climáticas (seguindo os indicadores IGBD) presentes na sub-bacia do rio Canindé e suas relações com as compartimentações geomorfológicas (tabela 3):

Tabela 3 – Média de precipitação anual.

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO	TIPOLOGIA CLIMÁTICA
Maciço Residual do Machado (vertente oriental)	617 – 638 mm	Zona subúmida
Depressão Sertaneja Dissecado; Cristas e Inselbergs.	594 – 616 mm	Zona semiárida a subúmida
Depressão Sertaneja Aplainada; Planícies Fluviais	570 – 593 mm	Zona semiárida

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Analisando o mapa de precipitação é notável a concentração pluviométrica, entre 617 a 638mm, no Maciço residual do Machado, caracterizando a tipologia subúmido seco. Isso se deve a sua topografia, por sua proximidade com outros sistemas, esta altimetria expande a precipitação a depressão dissecada e a grande parte das cristas e inselbergs.

Já as menores médias de precipitação estão entre 570 a 593mm, concentrados nas unidades geomorfológicas da Depressão Aplainada e nas planícies fluviais, configurando as condições climáticas que definem o semiárido.

5.2 Balanço Hídrico e Corpos Hídricos

Um aspecto importante para o estudo do clima é a disponibilidade de água, pois o conhecimento do regime hídrico anual é utilizado para traçar estratégias de otimização dos recursos hídricos, desenvolvimento das atividades agrícolas e proteção do solo. Para Nimer e Brandão (1985), o regime hídrico anual depende diretamente da relação entre a precipitação e a intensidade do processo de evapotranspiração, formando assim um balanço hídrico climatológico que será utilizado pelo método proposto por Thornwaite e Mather (1955; 1957).

A representação do balanço hídrico deve possibilitar a visualização do ritmo anual de precipitação e dos elementos climatológicos, bem como facilitar sua interpretação quanto à determinação de épocas com excesso ou falta de água no solo para planejamento e uso da água. (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

O balanço hídrico climatológico da sub-bacia do rio Canindé foram escolhidas 4 (quatro) estações meteorológicas e a série histórica de 15 anos (2001-2015) a serem utilizadas na pesquisa; em seguida foram adquiridos os dados de precipitação total mensal/anual (mm) e temperatura média mensal/anua (°C), por fim, foi determinada a Capacidade de Armazenamento de Água do Solo (CAD) equivalente ao tipo de solo predominante na estação meteorológica definida (FUNCEME, 2022).

A partir destas informações foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico, onde foram gerados os totais mensais/anuais (mm) de evapotranspiração real, evapotranspiração potencial, déficit e excedente hídrico.

A partir dos dados de latitude, Capacidade de armazenamento de água do solo (CAD), precipitação total média mensal/anual e, temperatura média mensal/anual, da estação meteorológica, foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico empregando-se o método de Thornthwaite & Mather (1955), através do programa “BHnorm” elaborado em planilha EXCEL por Rolim *et al.* (1998). A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). Como resultado de saída, o balanço hídrico climatológico fornece as estimativas da evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP), deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídrico do solo, e o armazenamento de água no solo (ARM) para cada mês do ano.

O balanço hídrico climatológico da sub-bacia do rio Canindé (Figura 1) evidencia que a evapotranspiração potencial da bacia é regular, e segue o padrão anual de distribuição da radiação solar. Como esta sub-bacia está situada próxima a linha do equador, não há grandes variações de incidência de radiação solar, logo, o potencial anual de evapotranspiração pouco se altera.

Pode-se inferir com a análise do balanço hídrico, que a temperatura na bacia varia em relação a sua latitude, longitude e altitude. Quanto menor a latitude maior será a temperatura. E em relação a altitude, quanto maior a altitude menor será a temperatura.

A sub-bacia do rio Canindé apresenta duas estações pluviométricas, uma seca e outra chuvosa. A quadra chuvosa, período de maior volume de precipitação da bacia, recebe este nome devido a sua ocorrência durante os meses de fevereiro a maio (quatro meses), e tem como principal sistema sinótico a Zona de Convergência Intertropical. O mês de janeiro é considerado integrante da pré-estação chuvosa.

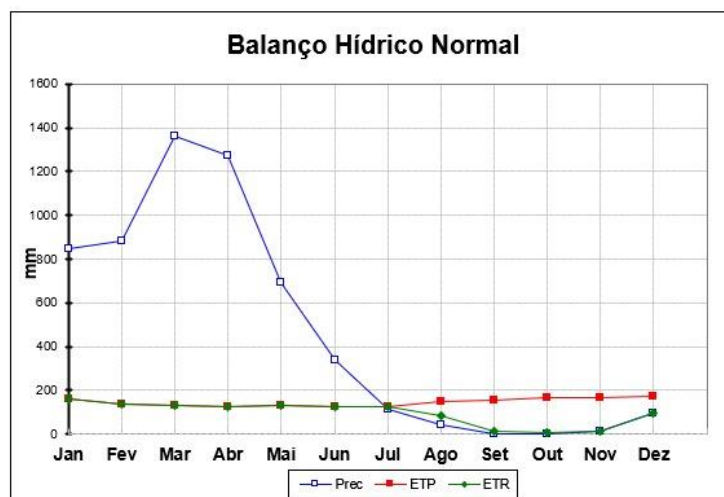
A estação seca ocorre entre junho e dezembro, nesta estação a oferta pluviométrica da bacia se encontra bastante reduzida em razão do principal sistema atmosférico gerador de precipitação da região (ZCIT) não ter mais atuação efetiva neste período do ano.

A precipitação da bacia, como dito anteriormente, é bastante irregular e possui alta variabilidade espaço-temporal. O balanço hídrico climatológico demonstra que o maior volume de precipitação da bacia se concentra preferencialmente entre o mês da pré-estação chuvosa (janeiro), e os meses da quadra chuvosa (fevereiro a maio), enquanto nos demais meses do ano (período seco), a precipitação é ínfima e esporádica.

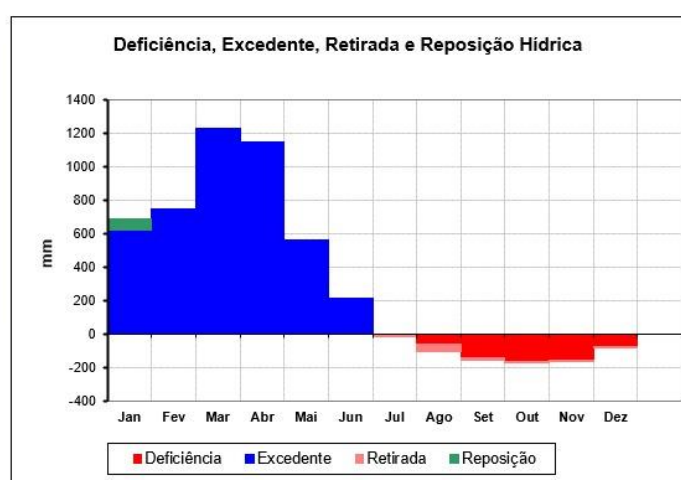
A evapotranspiração real segue o padrão de distribuição das precipitações, sofrendo acréscimo ou diminuição de seu volume, de acordo com a variação pluviométrica anual.

Figura 3 – Distribuição Balanço Hídrico Climatológico (Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Real).

MÊS	Prec	ETP	ETR
Jan	849,00	163,53	163,53
Fev	881,00	137,37	137,37
Mar	1363,00	134,07	134,07
Abr	1274,00	126,49	126,49
Mai	695,00	131,40	131,40
Jun	338,00	124,38	124,38
Jul	116,00	128,33	127,23
Ago	44,00	149,45	87,16
Set	2,00	156,81	11,64
Out	4,00	168,40	4,90
Nov	11,00	169,27	11,07
Dez	97,00	173,61	97,00



(mm)	EXC	DEF	RET	REP
Jan	620,47	0,00	0,00	65,00
Fev	743,63	0,00	0,00	0,00
Mar	1228,93	0,00	0,00	0,00
Abr	1147,51	0,00	0,00	0,00
Mai	563,60	0,00	0,00	0,00
Jun	213,62	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	-1,10	-11,23	0,00
Ago	0,00	-62,30	-43,16	0,00
Set	0,00	-145,17	-9,64	0,00
Out	0,00	-163,50	-0,90	0,00
Nov	0,00	-158,20	-0,07	0,00
Dez	0,00	-76,60	0,00	0,00



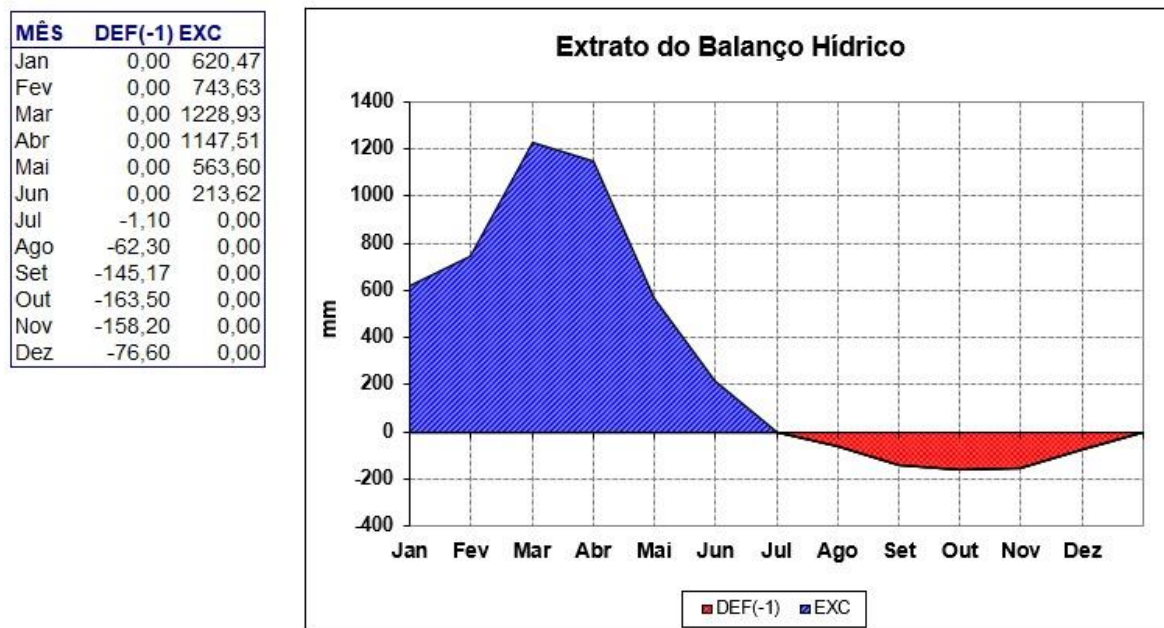
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Podemos observar na (Figura 3) a distribuição do déficit e excedente hídrico da sub-bacia do rio Canindé.

Em decorrência da escassez hídrica e da alta irregularidade espaço-temporal das precipitações da sub-bacia do rio Canindé, o excedente hídrico é presente apenas entre os meses de janeiro a junho. Estes meses pertencem a estação chuvosa do estado, logo, o solo recebe um maior aporte hídrico neste período, e com isso pode armazenar uma maior pluviosidade.

O déficit hídrico é presente entre os meses de julho a dezembro (estação seca), neste período a ZCIT já se afastou da bacia, e com isso o aporte hídrico desse sistema atmosférico se reduziu consideravelmente. Sem chuva o solo não pode armazenar pluviosidade, ficando com isso cada vez mais seco. Paralelo a escassez hídrica a evapotranspiração real continua a ocorrer na região, drenando o já escasso corpo hídrico da bacia.

Figura 4 – Distribuição Balanço Hídrico Climatológico (Excedente e Déficit Hídrico)



Fonte: elaborado pela autora (2022).

O potencial hidrogeológico é baixo devido à forte influência do embasamento cristalino, caracterizado pela hegemonia de baixas vazões e água de qualidade salobra (CPRM, 1998). Devido à predominância dessas rochas, é difícil a infiltração e o acúmulo de águas subterrâneas, porém existem falhas e fraturas que permitem o armazenamento de água utilizável pela população (ZANELLA, 2014), geralmente com alto teor de sais.

As características climáticas representadas pelo clima semiárido guardam, portanto, relação direta com o regime intermitente dos rios e riachos, com a vazão dos rios, com a capacidade de açudes e barragens, e com a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos de todo território composto pelas terras secas (ZANELLA, 2007, 2014).

A sub-bacia possui uma drenagem composta por rios e riachos de regime intermitente, que assumem um padrão dendrítico ou subdendrítico, que se mantêm cheios apenas no curto período chuvoso, ou por ocasião de chuvas excepcionais, permanecendo secos durante a maior parte do ano.

Para tentar suavizar as dificuldades que a população enfrenta para ter acesso à água, são implementadas políticas públicas visando a convivência no semiárido, como a construção de barragens, a perfuração de poços artesianos, a construção de cisternas rurais, a

instalação de barragens, a dessalinização e aproveitamento da água salobra, e o transporte de água (ZANELLA, 2014).

Foram detectados por mapeamento cerca de 13 açudes de diferentes portes na sub-bacia, sendo estes públicos ou privados. O maior reservatório é o Açude São Mateus, inaugurado no ano de 1957, é produto do barramento do Rio Canindé. Possui área de 232,02 m² e capacidade de 10,330 hm³, com volume de 8,02 hm³. Atualmente, possui 77,61% da sua capacidade hídrica e vazão nula (COGERH, 2023).

Figura 5 – Açude São Mateus



Fonte - acervo da autora, 2023.

Durante a pesquisa de campo, foram observadas outras medidas para diminuir os efeitos da seca, como a distribuição de água por caminhões-pipa, a instalação de cisternas e a perfuração de poços artesianos. No entanto, esses investimentos do governo são insuficientes, já que a população ainda enfrenta dificuldades durante o período de estiagem, como a falta de recursos para desenvolver as atividades econômicas típicas da região sertaneja, como a agricultura familiar e a pecuária.

5.3 Características Morfométricas

Os resultados alcançados durante a caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Canindé encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros Morfométricos da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Canindé.

	Resultados
Área (km ²)	235,600
Perímetro (km)	110,520
Extensão do Rio Principal (km)	42,740
Extensão de Todos os Rios (km)	280,406
Comprimento Axial (km)	29,924
Talvegue do Rio Principal	36,054
Altitude Máxima (m)	793,000
Altitude Mínima (m)	161,050
Amplitude Altimétrica (m)	631,950
Altitude Média	316,180
Coefficiente de Compacidade	2,016
Fator de Forma	0,263
Índice de Circularidade	0,242
Densidade de Drenagem (km/km ²)	1,19
Densidade Hidrográfica (canais/km ²)	0,713
Sinuosidade do Rio Principal	1,353

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

A Sub-bacia hidrográfica do rio Canindé possui área de 235,60 km², perímetro de 110,520 km, extensão do rio principal de 42,740 km, comprimento total dos rios de 280,406 km, talvegue do rio principal de 36,054 km e comprimento axial de 29,924 km.

A partir desses dados primários foi possível calcular os demais parâmetros e obter os seguintes resultados: Coeficiente de compacidade de 2,016, Fator de Forma de 0,263, índice de circularidade de 0,242, densidade de drenagem de 1,19, densidade hidrográfica de 0,713 e sinuosidade do rio principal de 1,353.

Com base nos parâmetros Índice de compacidade, fator de forma e índice de circularidade, pode-se concluir que a bacia em estudo tem uma forma alongada e, conseqüentemente, uma baixa propensão a enchentes.

De acordo com Villela e Mattos (1975), bacias alongadas são menos suscetíveis a enchentes, porque é menos provável que ocorram chuvas que abranjam simultaneamente toda a extensão da bacia. Além disso, uma bacia alongada faz com que a contribuição de fluxo de água dos afluentes chegue ao curso principal em vários pontos distintos ao mesmo tempo, resultando em uma ampla distribuição hídrica que desfavorece o acúmulo de água em um único ponto e, por consequência, a ocorrência de inundações.

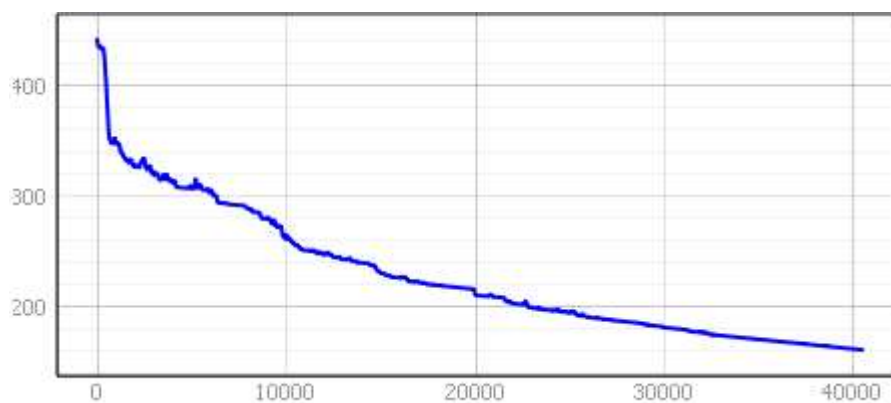
A sub-bacia apresentou uma densidade de drenagem considerada média, de 1,19 km/km², indicando uma boa relação entre a quantidade de água que escoar e que infiltra no solo. Este número também indica um desenvolvimento considerável da rede de rios, já que quanto maior for o número de densidade de drenagem, menor será o desenvolvimento dos

componentes fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1980). Também é importante ressaltar a importância desse parâmetro na representação da topografia de rios elaborados, expressando a quantidade de canais disponíveis para escoamento e o controle exercido pela estrutura geológica. (CHRISTOFOLETTI, 1981; SILVA, DG da; MELO, RFT de; CORRÊA, A. C. B, 2009).

A respeito da densidade hidrográfica, obteve um valor considerado baixo, 0,713, representando uma baixa capacidade de gerar novos cursos d'água. Faz-se importante mencionar que o método usado condiz com a ordenação proposta por Strahler (1957), onde leva-se em consideração apenas os rios de primeira ordem.

Em relação ao rio principal, sua sinuosidade foi de 1,353, consideravelmente baixa, considerando a classificação proposta por Castro e Alves (2003). A sinuosidade do rio está diretamente relacionada com a velocidade, o potencial erosivo e a capacidade de transportar sedimentos. No caso do rio Canindé, há uma queda pronunciada nos primeiros 10 km, nas proximidades da serra do Machado, que se suaviza à medida que o rio se aproxima das regiões mais planas da Depressão Sertaneja como é possível observar no perfil longitudinal do rio Canindé.

Figura 6 - Perfil Longitudinal do Rio Canindé



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Existe ainda uma relação entre declividade e sinuosidade do rio, sendo mais retilíneo nas partes mais declivosas, onde a velocidade de escoamento é maior, e mais sinuoso nas partes aplainadas do relevo, onde há decréscimo na velocidade de escoamento. Esse contexto de declividade x escoamento influencia nos processos erosivos, reverberando no modelado do relevo, sendo áreas declivosas com maior impacto de escoamento do rio e uma

maior dissecação do relevo, e uma menor declividade, menor escoamento e maior o processo de deposição.

5.4 Características morfopedológicas e cobertura vegetal

Os solos do estado do Ceará são diversificados em função de fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e fitoecológicos; embora a maioria esteja sob a influência de um clima semiárido, existem ambientes excepcionais com condições climáticas úmidas e subúmidas, como é o caso das serras úmidas e ou o Planalto Sedimentar da Ibiapaba e a Chapada do Araripe.

Para Pereira e Silva (2007) os solos definem-se como unidades naturais de suporte vegetal, dotadas de propriedades e características únicas, cuja origem e desenvolvimento em determinado local resultam da ação combinada do clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo, que formam os fatores formadores do solo.

Já para Oliveira (2002) os solos predominantes dos sertões cearenses se caracterizam como pouco profundos, pedregosos, com alta de salinidade; desenvolvem-se em sua maioria na depressão sertaneja, sofrem erosão eólica, com erosão laminar no período chuvoso. A vegetação de caatinga é rara, tenaz diante da erosão, associada a rochas impermeáveis que impedem a infiltração e escoamento das águas pluviais, o que favorece restrições às atividades agrícolas nos sertões.

A alta ramificação hidrográfica e o padrão de drenagem refletem a impermeabilidade dos escudos cristalinos (SOUZA, 1988), permitindo a intensificação do escoamento superficial e a dissecação do relevo da depressão sertaneja, na qual a sub-bacia encontra-se inserida. Dessa forma, esses processos erosivos contribuem para a predominância de solos rasos e com alta taxa de erosão como Neossolos Litólicos e Planossolos Háplicos (EMBRAPA, 2006).

Desse modo, identificou-se no município de Canindé, 05 (cinco) classes principais de solos, os quais estão dispostos na superfície através de associações (SEAGRI, 1988). São elas: 1) Luvisolos Crômicos, 2) Neossolos Litólicos, 3) Argissolos Vermelho-Amarelos, 4) Planossolos Háplicos e 5) Neossolos Flúvicos. Essas mesmas associações estão presentes no trabalho de Brito (2005), onde suas associações estão descritas no quadro 2.

As associações de solos descritas, revelam a forte influência dos fatores de formação dos solos, como a rocha de origem, com o embasamento cristalino influenciando

com a presença dos Neossolos Litólicos associados aos Planossolos Hápticos, e o fator relevo na atuação da formação de manchas de Argissolos presentes nos topos de maciços residuais.

Quadro 4 - Condições morfopedológicas do município de Canindé

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	FEIÇÕES	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS
Depressões Sertanejas	Superfície pediplanada	Luvisolos Crômicos + Neossolos Litólicos
	Superfície dissecada	Luvisolos Crômicos + Argissolos Vermelho-Amarelos + Neossolos Litólicos
Cristas e Inselbergs	Superfície dissecada em cristas e inselbergs	Neossolos Litólicos + Argissolos Vermelho-Amarelos
Maciço residual do Machado	Superfície fortemente dissecada	Argissolos Vermelho-Amarelos + Neossolos Litólicos
Planícies fluviais e de inundação sazonal	Superfície plana de acumulação	Neossolos Flúvicos + Planossolos Hápticos

Fonte: adaptado de Brito (2005).

Os apontamentos e levantamentos morfopedológicos podem ser observados no mapa pedológico da sub-bacia de Canindé. Para o levantamento e elaboração do mapeamento foi levado em consideração os dados de Souza, (2000); Brito, (2005); Embrapa, (2006); IBGE, (2022) e IPECE, (2020).

Seguindo a organização e metodologia usada na descrição das associações dos solos por Brito (2005), foi elaborado um quadro com as 4 (quatro) associações de solos encontrados na sub-bacia de Canindé (ver quadro 5).

Quadro 5 – Relação morfológica dos solos na sub-bacia do Rio Canindé

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	FEIÇÕES	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS (PREDOMINÂNCIA)
Depressões Sertanejas	Superfície aplainada	Planossolos Hápticos + Neossolos Litólicos + Luvisolos Crômicos
	Superfície dissecada	Luvisolos Crômicos + Neossolos Litólicos + Argissolos Vermelho-Amarelos
Maciço residual do Machado vertente Oriental	Superfície fortemente dissecada	Argissolos Vermelho-Amarelos + Neossolos Litólicos
Cristas e inselbergs	Superfície dissecada	Luvisolos Crômicos + Neossolos Litólicos + Argissolos Vermelho-Amarelos
Planícies fluviais e de inundação sazonal	Superfície plana de acumulação	Neossolos Flúvicos + Planossolos Hápticos

Fonte: adaptado de Brito (2005), elaborado pela autora (2022)

Essas relações morfopedológicas podem ser visualizadas no mapa de associações de solos (mapa 07).

Os Luvisolos Crômicos (figura 7) são solos pouco profundos, ou rasos, e de difícil mecanização devido a quantidade de pedras no horizonte superfície onde o perfil não ultrapassa de 50 a 60 cm, em média. Compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. Ainda são muito vulneráveis a compactação e a erosão (EMBRAPA, 2006).

Figura 7 - Luvisolo Crômico (Distrito do Bonito)



Fonte: acervo da autora (2023).

Os Neossolos Litólicos (figura 8), em geral, são solos rasos, com menos de 30 cm, que apresentam sequência de horizontes A-R ou A-C. Apresentam pedregosidade, excessiva drenagem, o que compromete a disponibilidade hídrica no perfil e para as plantas. A acentuada declividade do relevo, porém, é a principal limitação desses solos, além da presença constante de afloramentos rochosos.

Figura 8 Neossolo Litólito (Comunidade da Faz. São Bernardo)



Fonte: acervo da autora (2023).

A pecuária e a agricultura de subsistência (milho, feijão) estão presentes nesses solos onde o relevo é plano ou levemente ondulado (SUDENE, 1973). Apresentam grandes limitações para uso agrícola devido a diversos fatores como escassez de água, pedregosidade, rochas, profundidades rasas e declividade do terreno em áreas montanhosas; além disso, os solos tendem a ser mais rasos e mais propensos à erosão com a retirada da vegetação original (PEREIRA; SILVA, 2007). Devido a essas características o seu uso antrópico se configura com o desenvolvimento principalmente para a pecuária extensiva de bovinos, ovinos e caprinos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos pouco profundos com mais de 120 cm, com coloração amarelada ou avermelhada e textura arenosa a argilosa. Têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico (EMBRAPA, 2006). Os Argissolos são solos bem drenados, capazes de armazenar água no perfil, são de profundidade variável, de espessos a imperfeitamente drenados, raramente turvos ou acinzentados (EMBRAPA, 2013).

Atualmente, seu uso agrícola é baseado na pecuária e na agricultura de subsistência, com o plantio do milho, feijão e algodão.

Esses solos estão distribuídos no estado do Ceará nas áreas de tabuleiro litorâneo, Baixo Jaguaribe, serras, planaltos e chapadas. Estes costumam apresentar baixa fertilidade natural quando distróficos; ou predominam os solos de média fertilidade quando eutróficos, propensos à erosão, sendo a principal causa a diferença entre os horizontes de subsuperfície e as vertentes do relevo (PEREIRA; SILVA, 2007).

Na sub-bacia do Canindé predominam os Argissolos Vermelho-Amarelados eutróficos, presentes em áreas de relevo suavemente ondulado e montanhoso, derivados de

rochas pré-cambrianas como gnaisses, migmatitos e granitos. Eles podem ser encontrados principalmente nas vertentes da Serra do Machado e nos topos das cristas.

Os Planossolos Háplicos compreendem a solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (EMBRAPA, 2006). Ocorrem em relevos planos a suaves e ondulados, onde as condições ambientais favorecem o excesso de água, mesmo que por um período curto.

A limitação desse solo são as propriedades físicas e químicas desfavoráveis, além da falta de água, o que leva a grandes limitações para o uso agrícola, utilizado nas atividades agrícolas (PEREIRA; SILVA, 2007).

Estes solos estão presentes em áreas de relevo aplainado ou levemente ondulado, típico de clima semiárido, onde as condições do solo suportam períodos de excesso de água nos meses chuvosos (EMBRAPA, 2013). Na sub-bacia em questão, ocorrem solos de maior escala associados a Neossolos Litólicos na Depressão Sertaneja, derivados da intemperização das rochas, como gnaisses e magmatitos, do complexo cearense da unidade Canindé; eles também estão associados a Neossolos Flúviais nas áreas de inundação sazonal.

Os Neossolos Flúvicos, por sua vez, são solos minerais, derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre camada ou horizonte C e que apresentam caráter flúvico dentro de 150 cm a partir da superfície do solo. São mal drenados, não hidromórficos, com relativa fertilidade que, ao disporem de melhores condições hídricas (EMBRAPA, 2013).

As características morfopedológicas dos estratos do horizonte A variam muito, principalmente devido à textura, que pode variar de arenosa a argilosa dependendo dos depósitos flúviais quaternários (SUDENE, 1973). Além disso, apresentam potencial para a prática da agricultura associada à alta fertilidade natural, mas sofrem limitações nas estações secas devido à escassez de água e dificuldades de irrigação.

Na sub-bacia do Canindé, ocorrem neossolos flúviais principalmente nas várzeas do rio Canindé e seus afluentes, acompanhados por vegetação de mata ciliar que por sua vez, está quase sempre com algum nível de degradação ou perda de cobertura vegetal.

As tipologias vegetacionais do Ceará é muito diversificada em função das condições biofísicas do ambiente, como solos, relevo, geologia, recursos hídricos, principalmente a interferência do clima semiárido. Portanto, na sub-bacia do rio Canindé existem três tipos distintos de unidades fitoecológicas: vegetação de várzea ou mata ciliar, vegetação de caatinga caducifólia e mata seca.

No entanto, a vegetação de caatinga se destaca em áreas de depressão sertaneja e diante de condições climáticas semiáridas. No nordeste brasileiro, o achatamento abrupto e drástico que ocorreu durante o Terciário e continuou com menos intensidade no Quaternário seguiu uma configuração geral da paisagem, onde espaços intermontanos correspondentes a um clima semiárido permitiram o desenvolvimento de vegetação xerófila (LEMOS, 2006).

As caatingas (arbustiva aberta, densa e arbóreas) são a vegetação típica do domínio morfoclimático das depressões sertanejas interplanálticas (AB'SÁBER, 2003), as caatingas apresentam diferentes padrões florísticos e fisionômicos, de acordo com as mudanças nas condições semiáridas. Ao mesmo tempo, caracterizam a paisagem vegetal da sub-bacia estudada (CEZÁRIO, 2019).

Segundo Brito (2005) podemos destacar 4 (quatro) grandes denominações vegetais no município de Canindé, descritas no quadro 5.

Quadro 5 - Formações vegetais presentes no município de Canindé.

TIPO	CARÁTER	DENOMINAÇÃO	ESPÉCIES CARACTERÍSTICAS
C L I M A T Ó F I L A S	Mesófilo Semicaducifólio Arbóreas, Arbóreo-arbustivas.	MATA SECA	Angico (<i>Anadenanthera macrocarpa</i>) Pau-d'arco (<i>Tabebuia serratifolia</i>) Gonçalo Alves (<i>Aspronium fraxinifolium</i>) Mororó (<i>Bauhinia macrostachya</i>) Barriguda (<i>Bombax cearensis</i>) Pau-ferro (<i>Caesalpinia ferrea</i>) Frei-jorge (<i>Cordia trichotoma</i>) Maçaranduba (<i>Manilkara rusula</i>)
	Xerófilo Escleromorfo Caducifólio Arbóreas, Arbóreo-arbustivas, Arbustivas.	CAATINGA	Jurema-preta (<i>Mimosa hostilis</i>) Marmeleiro-preto (<i>Croton sonderianus</i>) Pereiro (<i>Aspidosperma pyrifolium</i>) Catingueira (<i>Caesalpinia bracteosa</i>) Facheiro (<i>Pilosocereus gounellei</i>) Mofumbo (<i>Combretum leprosum</i>).
G E O	Freatófilo Arbóreas, Arbóreo-arbustivas.	MATA CILIAR (Flúvio-Marginal)	Oiticica (<i>Licania rigida</i>) Mofumbo (<i>Combretum leprosum</i>) Mulungu (<i>Erythrina velutina</i>) Pau Branco (<i>Auxemma Oncocalyx</i>)

M O R F Ó L O G I A	Edafo- hidrofítico (Geomorfófilo) Arbóreo- arbustivas.	CARNAUBAIS (Palmeirais Hidrofílicos)	Carnaúba (<i>Copernicia prunifera</i>)
--	--	---	--

Fonte: Oliveira (2002), Oliveira (1989) e Bezerra *et al.* (2003) adaptado por Brito (2005).

Na área que compõe o alto curso da sub-bacia do rio Canindé foram encontradas as seguintes denominações vegetacionais.

Quadro 6 – Denominações vegetações do Alto Curso da sub-bacia do rio Canindé.

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	PREDOMINÂNCIA – VEGETAÇÃO
Maciço Residual da Serra do Machado	Caatinga arbórea/Mata Seca
Cristas e Inselbergs	Caatinga arbórea
Depressão Sertaneja Dissecada	Caatinga arbóreo arbustiva
Depressão Sertaneja Aplainada	Caatinga arbustiva
Planícies fluviais e áreas de inundação sazonal	Mata Ciliar/Carnaubais

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Segundo Maia (2004), a vegetação da caatinga possui características fundamentais para a proteção e o equilíbrio das condições destoantes dos sertões, são elas: alta diversidade e heterogeneidade de espécies, nota-se sucessão ecológica natural entre as espécies; baixa altura da planta para economizar energia e água; proteger o solo da erosão, o que ajuda no abastecimento de água superficial e subterrânea; a adaptação das espécies nativas ao semiárido e, finalmente, a adaptação à falta de água durante vários meses do ano, que se reflete na forma, cor, metabolismo, ciclos de vida e organização de todos os organismos da caatinga (MAIA, 2004).

Do ponto de vista fisionômico, é possível distinguir dois tipos de vegetação da caatinga: a arbórea, que geralmente representa um melhor estado de conservação, e a arbustiva,

que ocorre em áreas já afetadas pelo desmatamento, uso agrícola e pecuária (PEREIRA; SILVA, 2007). Em geral, a caatinga arbórea está em melhores condições, com solos férteis que permitem maiores portes de plantas, enquanto na caatinga arbustiva as condições de solo e semiárido limitam o desenvolvimento das espécies, logo possuindo uma vegetação de médio e pequeno porte.

A vegetação da caatinga se desenvolve na sub-bacia do Canindé nas áreas da depressão sertaneja, maciços residuais, cristas e inselbergs. Nela predominam as sucessões ecológicas secundárias, fruto do histórico de uso e ocupação do Estado do Ceará, principalmente das consequências das atividades do binômio gado-algodão. A acentuada degradação ambiental nesse bioma promove a expansão de espécies tolerantes à escassez hídrica, tais como: jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth), mamoeiro (*Croton sonderianus* Muell) e mildio (*Combretum leprosum*).

A vegetação de mata seca tem o caráter de semicaducifolia, em que algumas de suas espécies perdem as folhas como forma de proteção contra as condições do semiárido (PEREIRA; SILVA, 2007). Na área de estudo, essa vegetação cobre serras secas de altitude que retêm a umidade e favorecem espécies maiores. A preservação dessa vegetação está ameaçada pelo desmatamento e queimadas para cultivo, pecuária e extração de lenha. Quando a mata seca é retirada, a caatinga ocupa esses espaços por estar mais adaptada às condições do clima semiárido.

A preservação dessa vegetação está ameaçada pelo desmatamento e queimadas para cultivo, pecuária de gado solto e extrativismo vegetal e mineral. Quando a mata seca é retirada, a caatinga ocupa esses espaços por estar mais adaptada às condições do clima semiárido. No campo foi observado um estrato arbóreo-arbustivo.

A mata ciliar atua como uma barreira natural que retém o fluxo de água; quando removida, é substituída por mata secundária, o que permite o transporte de partículas sólidas que se depositarão em áreas mais rasas e causam assoreamento que ameaça a sustentação do leito do rio e facilita a ocorrência de enchentes, além de afetar a persistência de espécies (GONÇALVES; OLIVEIRA; BEZERRA, 2008).

Quanto ao uso dessa vegetação, são as atividades de extrativismo vegetal, agricultura de subsistência e pecuária extensiva (PEREIRA; SILVA, 2007). A ocorrência de carnaúba foi identificada em área de inundação sazonal e próximos a riachos que são tributários do rio Canindé.

6 DINÂMICA SOCIOECONÔMICA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

A sub-bacia hidrográfica do rio Canindé está inserida no município de nome homônimo. O recorte de estudo utilizado compreendeu distritos e a sede do município. Abaixo constaram os contextos socioeconômicos, e o uso e cobertura da terra do município de Canindé, bem como um detalhamento desses descritores na área da sub-bacia.

6.1 Contexto histórico de ocupação

Para uma melhor compreensão do contexto socioeconômico de Canindé, é necessário entender como a região Nordeste do Brasil e o Estado do Ceará têm sido ocupados. Nos sertões cearenses e em outras áreas do Nordeste, a ocupação tem historicamente sido vinculada à pecuária e às lavouras temporárias e permanentes. Essas são culturas que se adaptaram às condições geoambientais do semiárido.

Esses ambientes precisam de atenção e relevância, devido à sua extensão territorial, à alta concentração populacional e à fragilidade natural desse ecossistema, que se torna vulnerável diante das atividades humanas (OLIVEIRA, 2002). O uso de técnicas rudimentares na utilização dos recursos naturais condiciona desequilíbrios ambientais (SOUZA, 2007), como a degradação e a desertificação do solo.

A colonização tardia do Ceará pelos portugueses, em comparação com outros estados do Nordeste, está relacionada com a semiaridez e a natureza guerreira dos índios, os quais atrasaram as expedições e criaram dificuldades para a sua consolidação durante quase três décadas após o descobrimento (DANTAS, 2003).

A ocupação do município de Canindé assemelhou-se à colonização da maioria das cidades no semiárido, com o estabelecimento de colonos portugueses há mais de dois séculos. O início ocorreu em terras doadas por meio de sesmarias, onde praticavam a criação de gado e utilizavam a terra para cultivos de subsistência.

O povoado foi oficialmente fundado pelo sargento-mor português Francisco Xavier de Medeiros em 1775, nas margens do Rio Canindé, um pequeno rio que atravessa a cidade atualmente. Em 1796, a construção de uma pequena capela dedicada a São Francisco das Chagas, o santo padroeiro da cidade, foi concluída. Mais tarde, em 1925, a capela foi elevada à condição de basílica menor. Canindé foi elevada à categoria de vila em 29 de julho de 1846, e tornou-se cidade em 2 de agosto de 1914 (VIEIRA, 1997).

Conforme mencionado por Sampaio (op. cit), essas áreas do interior teriam sido ocupadas anteriormente por assentamentos indígenas. Daí a menção aos índios Canindé como uma das versões etimológicas para a toponímia do município (IPECE, 2021).

De acordo com o IPECE (2022), a agricultura de Canindé era dividida entre dois setores: a agricultura de subsistência e o cultivo de algodão. Historicamente, a criação de gado e o cultivo de algodão eram comuns nos sertões cearenses, como descreve Cezário (2019):

Não se pode desassociar o processo de colonização do Ceará dos ciclos econômicos da pecuária e cultivo de algodão. As áreas escolhidas, inicialmente, para as plantações e pecuária eram próximas aos rios, devido ao abastecimento de água. O desenvolvimento dessas atividades está relacionado com as condições naturais semiáridas e de solos, o que favoreceu o aumento das pastagens de gado, e as secas constantes contribuíram para o avanço da cotonicultura (CEZÁRIO, p.87,2019).

Conhecido como "ouro branco", o algodão é responsável por uma parte significativa da renda regional, servindo como um impulso financeiro importante no Ceará. No entanto, no final dos anos 1980, a indústria algodoeira de Canindé foi devastada pela infestação do bicudo. Embora o governo tenha feito esforços para revitalizar a produção regional de algodão entre 1998 e 2001, no final, o baixo preço de venda do algodão não compensava os custos de produção, e os empreendimentos fracassaram.

De acordo com Vieira (1997), o declínio do algodão resultou em uma notável falta de fontes de renda na região. Houve algumas tentativas recentes de substituir a economia algodoeira em decadência pelo cultivo de mamona, uma planta usada na produção de biodiesel. No entanto, até agora, essa troca ainda não trouxe um crescimento econômico semelhante.

A cidade de Canindé é um importante centro religioso do Nordeste brasileiro, para onde peregrinos de todo país dirigem-se para cumprir suas promessas a São Francisco na Basílica de São Francisco das Chagas. A cada ano, milhares de romeiros viajam a Canindé para participar da celebração da Festa de São Francisco. Esses festejos movem a economia do município, principalmente o setor terciário.

De acordo com Silva (2007), Canindé é mundialmente reconhecida como o foco da segunda maior peregrinação de fiéis no mundo, dedicada à devoção de São Francisco de Assis, também conhecido como São Francisco das Chagas (de Canindé).

Essa peregrinação traz benefícios financeiros não apenas para Canindé, mas também para os outros municípios do Ceará e até mesmo para outros estados do país. Aproximadamente dois milhões de pessoas se deslocam pela área urbana do município durante as festividades do padroeiro e nos meses seguintes. A festa ocorre tradicionalmente do dia 30

de setembro ao dia 4 de outubro, dia de São Francisco (GOMES, 2012).

6.2 Aspectos populacionais e socioeconômicos

Em questões demográficas foi verificado que a população do município de Canindé deixa de ser majoritariamente rural nos anos 90 para torna-se predominantemente urbana nas décadas subsequentes, conforme mostra a figura 8.

Figura 8- População residente 1991, 2000, 2010.

Discriminação	População residente					
	1991		2000		2010	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Total	61.827	100,00	69.601	100,00	74.473	100,00
Urbana	30.115	48,71	39.573	56,86	46.875	62,94
Rural	31.712	51,29	30.028	43,14	27.598	37,06
Homens	30.898	49,97	34.881	50,12	36.912	49,56
Mulheres	30.929	50,03	34.720	49,88	37.561	50,44

Fonte: IPECE, 2021.

O crescimento da população urbana em Canindé não se deve apenas ao processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas, mas também é explicado pelo seu caráter religioso, o que resulta em várias oportunidades nos setores de comércio e serviços. Isso ocorre porque o município de Canindé, onde mais de 97% da sub-bacia em estudo está localizada, é o maior santuário franciscano da América Latina.

Segundo os dados do censo de 2010 foi verificado que a população de Canindé era de 74.473, sendo 62,94% desses de residentes na área urbana. Esse dado revela um crescimento de 14,23% num espaço de duas décadas. Abaixo segue a proporção da população em relação a sede (Canindé) e os demais distritos.

Tabela 5 – Distritos do município de Canindé.

Distrito ^[1]	Habitantes ^[1]			Área (km²) ^[1]	Data de criação ^[2]
	Homens	Mulheres	Total		

Distrito ^[1]	Habitantes ^[1]			Área (km²) ^[1]	Data de criação ^[2]
	Homens	Mulheres	Total		
Bonito	1 007	951	2 058	109,2	22 de novembro de 1951
Caiçara	1 866	1 752	3 618	221,5	13 de abril de 2004
Campos	1 069	1 013	2 082	109,2	20 de maio de 1931
Capitão Pedro Sampaio	1 017	960	1 977	136,1	7 de julho de 1992
Esperança	419	419	838	80,2	12 de dezembro de 1953
Iguaçu	731	717	1 448	109,7	28 de abril de 1992
Ipueiras dos Gomes	501	475	976	118,3	14 de janeiro de 1964
Monte Alegre	792	735	1 527	103,4	14 de janeiro de 1964
Salitre	3 783	3 460	7 243	1 069,86	15 de julho de 1999
Canindé (distrito-sede)	23 762	25 400	49 162	655,5	19 de agosto de 1817
Targinos	1 865	1 679	3 544	405,4	24 de abril de 1935

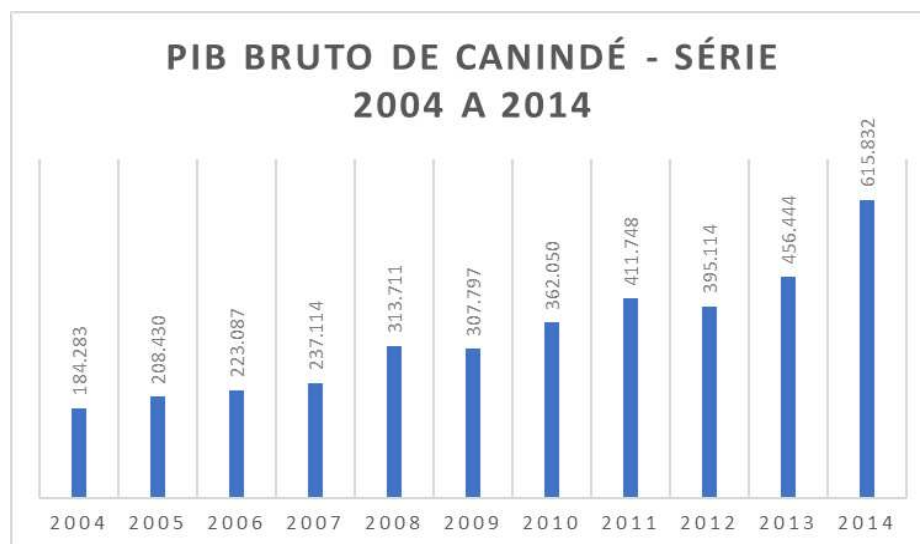
Fonte: IBGE (2010); IPECE (2021).

Em relação ao recorte da área de estudo, estão presentes nele o distrito de Monte Alegre, parte do distrito do Bonito e o distrito Sede do município de Canindé. A distribuição

populacional se concentra na Sede municipal e nas comunidades e povoados que formam o distrito de Monte Alegre. Já o distrito do Bonito por está parcialmente inserido na sub-bacia apresenta vazios populacionais.

O Produto Interno Bruto (PIB) do município de Canindé, que seria a soma dos lucros das atividades econômicas exercidas dentro do município dos 10 anos analisados (de 2004 a 2014), é possível observar uma oscilação de crescimento no ano de 2012, que coincide com um ano de seca no município, já os demais anos, apresentaram um crescimento lento e contínuo do PIB (IBGE, 2014).

Figura 9 – PIB bruto de Canindé – Série 2004 – 2014.



Fonte: IBGE (2010); IPECE (2021).

Já o IDH do município de Canindé, no ano de 2020 correspondeu de 0,612 (IBGE,2020).

Tabela 6- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de Canindé.

Discriminação	Índice
	Município
Global	0,612
Educação	0,526
Longevidade	0,765

Fonte: IBGE (2020); IPECE (2020).

O investimento em políticas públicas nos municípios menos desenvolvidos é o fator que pode influenciar diretamente os valores do IDH. É importante ressaltar que nem todas as áreas do sertão são igualmente valorizadas, sendo favorecidas aquelas localidades que têm projetos de irrigação, agricultura para exportação, entre outros.

É perceptível que, em alguns municípios, pode ocorrer um crescimento econômico, mas isso não implica necessariamente na redução das desigualdades sociais. Pelo contrário, o fortalecimento da privatização de terra e água pode intensificar a concentração de poder no campo, dificultando o acesso desses recursos à maioria da população, que depende deles para as atividades agropecuárias (ELIAS, 2007).

Em termos econômicos, vemos a organização do PIB de Canindé com os seguintes setores: Agropecuária, Indústria e Serviços. Abaixo consta o percentual de contribuição de cada setor na economia do município:

Tabela 7 – Setores econômicos de Canindé.

Discriminaç..	Município
Total	100,00
Agropecuária (%)	6,97
Indústria (%)	9,69
Serviços (%)	83,34

Fonte: IBGE (2020); IPECE (2020).

A terceira parcela de contribuição para o PIB é atribuída às atividades agropecuárias, devido à uma pequena parte da população viver no campo e obter sustento através da criação de animais, agricultura de subsistência e extração vegetal. Em segundo, temos as atividades industriais, que contribuem quase na mesma proporção para o PIB.

Historicamente, as atividades agropecuárias têm desempenhado um papel central na vida no sertão nordestino, isso se manifesta tanto econômica quanto culturalmente. Um exemplo disso é a relação dual entre gado e algodão. Também é importante mencionar as culturas de milho e feijão, que são mais representativas desse sistema quando se trata de subsistência.

Entre as lavouras temporárias, destacam-se expressivamente as culturas de milho e feijão, somando mais de 5.647 toneladas de grãos e arrecadando mais de R\$ 5.788.419.

Em menor escala, também são encontradas culturas como abóbora, fava, mamona, mandioca, melancia, melão, cana-de-açúcar e algodão, totalizando uma produção de 740 toneladas, com um valor acumulado de cerca de R\$ 714.463.

Tabela 8- Produção agrícola no município de Canindé.

Tipos de Cultivo	Número de Estabelecimentos	Quantidade Produzida (toneladas)	Área Colhida (hectares)	Valor da Produção (x1000) R\$
Milho	5585	4275	6281	3106,766
Feijão	6275	1372	5307	2681,653
Cana de Açúcar	74	250	13	102,738
Jerimum	1708	307	58	364,999
Algodão (herbáceo)	32	7	13	11,350
Fava	420	34	82	48,506
Mamona	33	7	21	6,788
Mandioca	87	48	6	61,233
Melancia	524	81	6	110,828
Melão	45	6	0	8.021

Fonte: IBGE (2010); IPECE (2021).

Nos últimos quinze anos, devido à período de estiagem (2011-2018), houve uma diminuição na produção agropecuária do município. Sendo o setor industrial um dos setores a receber parte da população ociosa das atividades agrícolas.

Nos últimos três anos, houve uma retomada da produção de grãos em sequeiro, devido ao aumento da precipitação na quadra chuvosa, tal produção está descrita na tabela abaixo:



Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará - EMATERCE
RELATÓRIO DA SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO Ano - 2022 - Sequeiro Categoria: Grãos

DISTRITOS	PRODUTOS	Área colhida e/ou a colher no ano (ha)			Rendimento Médio (kg/ha)			Produção esperada e/ou obtida (t)			Valor da Produção (R\$ 1.000,00)				
		Inicial (a)	Atual (b)	Varição (%) (b/a)	Inicial (c)	Atual (d)	Perda (%) (d/c)	Inicial (e)	Atual (f)	Varição (%) (f/e)	Preço (R\$1,00) (g)	Inicial (h)	Atual (i)	Diferença (h-i)	
REGIÃO : 08 - Sertão de Canindé - CEAT : CANINDÉ - MUNICÍPIO : Canindé															
Canindé	Feijão Consorciado	2.550,00	2.550,00	0,00	300,00	120,00	60,00	765,00	306,00	-60,00	3,50	2.677,50	1.071,00	-1.606,50	
	Mamona Consorciada	35,00	35,00	0,00	450,00	202,50	55,00	15,75	7,08	-54,99	1,50	23,62	10,63	-12,99	
	Milho Consorciado	2.550,00	2.550,00	0,00	800,00	360,00	55,00	2.040,00	918,00	-55,00	1,40	2.856,00	1.285,20	-1.570,80	
Bonito	Feijão Vigna	350,00	350,00	0,00	300,00	120,00	60,00	105,00	42,00	-60,00	3,50	367,50	147,00	-220,50	
	Milho Variedade	420,00	420,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	504,00	226,80	-55,00	1,40	705,60	317,52	-388,08	
	Feijão Consorciado	750,00	750,00	0,00	300,00	120,00	60,00	225,00	90,00	-60,00	3,50	787,50	315,00	-472,50	
	Mamona Consorciada	15,00	15,00	0,00	450,00	202,50	55,00	6,75	3,03	-54,99	1,50	10,12	4,55	-5,56	
	Milho Consorciado	750,00	750,00	0,00	800,00	360,00	55,00	600,00	270,00	-55,00	1,40	840,00	378,00	-462,00	
	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	180,00	60,00	54,00	21,60	-60,00	3,50	189,00	75,60	-113,40	
Campos	Milho Variedade	170,00	170,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	204,00	91,80	-55,00	1,40	285,60	128,52	-157,08	
	Feijão Consorciado	420,00	420,00	0,00	350,00	140,00	60,00	147,00	58,80	-60,00	3,50	514,50	205,80	-308,70	
	Mamona Consorciada	10,00	10,00	0,00	450,00	202,50	55,00	4,50	2,02	-55,00	1,50	6,75	3,03	-3,71	
Caiçara	Milho Consorciado	420,00	420,00	0,00	800,00	360,00	55,00	336,00	151,20	-55,00	1,40	470,40	211,68	-258,72	
	Feijão Vigna	130,00	130,00	0,00	450,00	180,00	60,00	58,50	23,40	-60,00	3,50	204,75	81,90	-122,85	
	Milho Variedade	220,00	220,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	264,00	118,80	-55,00	1,40	369,60	166,32	-203,28	
	Feijão Consorciado	450,00	450,00	0,00	350,00	140,00	60,00	157,50	63,00	-60,00	3,50	551,25	220,50	-330,75	
	Milho Consorciado	450,00	450,00	0,00	800,00	352,00	56,00	360,00	158,40	-56,00	1,40	504,00	221,76	-282,24	
	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	180,00	60,00	54,00	21,60	-60,00	3,50	189,00	75,60	-113,40	
Capitão Pedro Sampaio	Milho Variedade	220,00	220,00	0,00	1.200,00	528,00	56,00	264,00	116,16	-56,00	1,40	369,60	162,62	-206,97	
	Feijão Consorciado	610,00	610,00	0,00	350,00	147,00	58,00	213,50	89,67	-58,00	3,50	747,25	313,84	-433,40	
	Mamona Consorciada	20,00	20,00	0,00	450,00	207,00	54,00	9,00	4,14	-54,00	1,50	13,50	6,21	-7,29	
Esperança	Milho Consorciado	630,00	630,00	0,00	800,00	376,00	53,00	504,00	236,88	-53,00	1,40	705,60	331,63	-373,96	
	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	189,00	58,00	54,00	22,68	-58,00	3,50	189,00	79,38	-109,62	
	Milho Variedade	450,00	450,00	0,00	1.200,00	564,00	53,00	540,00	253,80	-53,00	1,40	756,00	355,32	-400,68	
	Feijão Consorciado	330,00	330,00	0,00	350,00	140,00	60,00	115,50	46,20	-60,00	3,50	404,25	161,70	-242,55	
	Mamona Consorciada	10,00	10,00	0,00	450,00	202,50	55,00	4,50	2,02	-55,00	1,50	6,75	3,03	-3,71	
	Milho Consorciado	330,00	330,00	0,00	800,00	360,00	55,00	264,00	118,80	-55,00	1,40	369,60	166,32	-203,28	
Iguaçu	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	180,00	60,00	54,00	21,60	-60,00	3,50	189,00	75,60	-113,40	
	Milho Variedade	260,00	260,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	312,00	140,40	-55,00	1,40	436,80	196,56	-240,24	
	Feijão Consorciado	340,00	340,00	0,00	350,00	140,00	60,00	119,00	47,60	-60,00	3,50	416,50	166,60	-249,90	
	Mamona Consorciada	20,00	20,00	0,00	450,00	202,50	55,00	9,00	4,05	-55,00	1,50	13,50	6,07	-7,42	
	Milho Consorciado	360,00	360,00	0,00	800,00	360,00	55,00	288,00	129,60	-55,00	1,40	403,20	181,44	-221,76	
	Feijão Vigna	90,00	90,00	0,00	450,00	180,00	60,00	40,50	16,20	-60,00	3,50	141,75	56,70	-85,05	
Ipueiras Dos Gomes	Milho Variedade	120,00	120,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	144,00	64,80	-55,00	1,40	201,60	90,72	-110,88	
	Feijão Consorciado	320,00	320,00	0,00	350,00	147,00	58,00	112,00	47,04	-58,00	3,50	392,00	164,64	-227,36	
	Mamona Consorciada	30,00	30,00	0,00	450,00	207,00	54,00	13,50	6,21	-54,00	1,50	20,25	9,31	-10,93	
Monte Alegre	Milho Consorciado	350,00	350,00	0,00	800,00	376,00	53,00	280,00	131,60	-53,00	1,40	392,00	184,24	-207,76	
	Feijão Vigna	80,00	80,00	0,00	450,00	189,00	58,00	36,00	15,12	-58,00	3,50	126,00	52,92	-73,08	
	Milho Variedade	120,00	120,00	0,00	1.200,00	564,00	53,00	144,00	67,68	-53,00	1,40	201,60	94,75	-106,84	
	Feijão Consorciado	660,00	660,00	0,00	350,00	140,00	60,00	231,00	92,40	-60,00	3,50	808,50	323,40	-485,10	
	Mamona Consorciada	30,00	30,00	0,00	450,00	198,00	56,00	13,50	5,94	-56,00	1,50	20,25	8,91	-11,34	
	Milho Consorciado	690,00	690,00	0,00	800,00	360,00	55,00	552,00	248,40	-55,00	1,40	772,80	347,76	-425,04	
Targinos	Feijão Vigna	100,00	100,00	0,00	450,00	180,00	60,00	45,00	18,00	-60,00	3,50	157,50	63,00	-94,50	
	Milho Variedade	120,00	120,00	0,00	1.200,00	540,00	55,00	144,00	64,80	-55,00	1,40	201,60	90,72	-110,88	
	Feijão Consorciado	960,00	960,00	0,00	350,00	157,50	55,00	336,00	151,20	-55,00	3,50	1.176,00	529,20	-646,80	
Salitre	Milho Consorciado	960,00	960,00	0,00	800,00	320,00	60,00	768,00	307,20	-60,00	1,40	1.075,20	430,08	-645,12	
	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	202,50	55,00	54,00	24,30	-55,00	3,50	189,00	85,05	-103,95	
	Milho Variedade	200,00	200,00	0,00	1.200,00	480,00	60,00	240,00	96,00	-60,00	1,40	336,00	134,40	-201,60	
	Feijão Consorciado	1.500,00	1.500,00	0,00	350,00	140,00	60,00	525,00	210,00	-60,00	3,50	1.837,50	735,00	-1.102,50	
	Mamona Consorciada	50,00	50,00	0,00	450,00	193,50	57,00	22,50	9,67	-57,00	1,50	33,75	14,51	-19,23	
	Milho Consorciado	1.550,00	1.550,00	0,00	800,00	320,00	60,00	1.240,00	496,00	-60,00	1,40	1.736,00	694,40	-1.041,60	
Salitre	Feijão Vigna	240,00	240,00	0,00	450,00	180,00	60,00	108,00	43,20	-60,00	3,50	378,00	151,20	-226,80	
	Milho Variedade	350,00	350,00	0,00	1.200,00	480,00	60,00	420,00	168,00	-60,00	1,40	588,00	235,20	-352,80	



Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará - EMATERCE

RELATÓRIO DA SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO Ano - 2022 - Sequeiro Categoria : Grãos

DISTRITOS	PRODUTOS	Área colhida e/ou a colher no ano (ha)			Rendimento Médio (kg/ha)			Produção esperada e/ou obtida (t)			Valor da Produção (R\$ 1.000,00)			
		Inicial (a)	Atual (b)	Varição (%) (b/a)	Inicial (c)	Atual (d)	Perda (%) (d/c)	Inicial (e)	Atual (f)	Varição (%) (f/e)	Preço (R\$1,00) (g)	Inicial (h)	Atual (i)	Diferença (i-h)
Vazante do Curú	Feijão Consorciado	450,00	450,00	0,00	350,00	164,50	53,00	157,50	74,02	-53,00	3,50	551,25	259,08	-292,16
	Mamona Consorciada	50,00	50,00	0,00	450,00	216,00	52,00	22,50	10,80	-52,00	1,50	33,75	16,20	-17,55
	Milho Consorciado	500,00	500,00	0,00	800,00	320,00	60,00	400,00	160,00	-60,00	1,40	560,00	224,00	-336,00
	Feijão Vigna	120,00	120,00	0,00	450,00	211,50	53,00	54,00	25,38	-53,00	3,50	189,00	88,83	-100,17
	Milho Variedade	220,00	220,00	0,00	1.200,00	480,00	60,00	264,00	105,60	-60,00	1,40	369,60	147,84	-221,76
Canindé	Feijão	11.050,00	11.050,00	0,00	345,79	142,18	58,88	3.821,00	1.571,01	-58,88	3,50	13.373,50	5.498,55	-7.874,94
	Mamona	270,00	270,00	0,00	450,00	203,67	54,74	121,50	54,99	-54,73	1,50	182,25	82,48	-99,76
	Milho	12.410,00	12.410,00	0,00	892,51	390,02	56,30	11.076,00	4.840,72	-56,29	1,40	15.506,40	6.777,00	-8.729,39
TOTAL GERAL DO MUNICÍPIO:		23.730,00	23.730,00	0,00			57,00	15.018,50	6.466,72	-56,94	0,00	29.062,15	12.358,04	-16.704,10

Fonte: EMATERCE (2022).

Dentro do recorte do Alto Curso do rio Canindé, temos três distritos em sua área (Sede; Bonito e Monte Alegre). A sede municipal possui a maior produção em toneladas, cerca de 6467t, levando em consideração as culturas do feijão, milho e mamona. O distrito de Monte Alegre, que se encontra em sua totalidade na sub-bacia, contou com uma produção de aproximadamente 431t, e por fim o distrito de Bonito contou com uma produção de aproximadamente 476t (EMATERCE, 2022)

Vale ressaltar que todos os distritos tiveram uma colheita menor do que as projeções realizadas pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará para a safra do ano de 2022.

Apesar de a agricultura ter uma importância maior, a pecuária desempenha um papel complementar ao garantir o sustento e fomentar a renda de várias famílias.

Em Canindé os principais tipos de rebanho são asininos, bovinos, caprinos, equinos, muares e os suínos, somando mais de 72.230 animais.

Tabela 9 – Número de indivíduos por rebanho e disposição nos estabelecimentos agropecuários.

	Asininos	Bovinos	Caprinos	Equinos	Muares	Ovinos	Suínos
Efetivo do Rebanho	2.101	16.048	17.922	1.579	826	21.447	12.307
Número de Estabelecimentos Agropecuários	1.656	1.745	1.284	848	621	1.338	2.544

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

As atividades agropecuárias em Canindé refletem uma estrutura agrária tradicional, semelhante àquela encontrada em grande parte do Nordeste brasileiro, onde predominam os minifúndios e as pequenas propriedades (BRITO, 2005).

É importante ressaltar a relevância da agricultura familiar no município, uma vez que, dos 5.847 estabelecimentos agropecuários, 4.510 são de agricultura familiar, sendo esta a principal responsável por um manejo mais adequado do solo e uma relação mais sustentável entre o homem e o meio ambiente. No que diz respeito às atividades relacionadas ao

extrativismo, destacam-se a extração de madeira para lenha, carvão vegetal, produtos da carnaúba, umbu e alimentos. Entre essas atividades, as relacionadas à extração de madeira ganham maior destaque, tanto para lenha quanto para a produção de carvão vegetal.

Por fim, há ainda a atividade de mineração, que se mostra incipiente, limitando-se à extração de rochas ornamentais, britas, areias e argilas.

O setor de serviços é o mais significativo na economia de Canindé, representando 78,12% do PIB municipal, sendo o setor com maior crescimento entre 2002 e 2011. Por outro lado, o setor industrial teve uma significativa redução, passando de 12,12% para 9,21% em 2011 (LIMA, 2015).

De acordo com Lima (2015), podemos concluir que a expansão do setor de serviços está fundamentada na criação de novos empregos, devido à diminuição do setor industrial e à estagnação do setor agropecuário, causada por técnicas inadequadas de manejo do solo, escassez de recursos hídricos e planejamento governamental insatisfatório.

Entretanto, é válido ressaltar que, apesar da intensa urbanização ocorrida nos últimos anos, foi constatado que, com exceção do centro da cidade, a maioria da população de Canindé ainda reside em áreas rurais, desempenhando atividades intrinsecamente ligadas a esta realidade, tais como agricultura, pecuária e extrativismo. Isso evidencia a importância, até mesmo a dependência, da população de Canindé nessas atividades primárias, seja como fonte de renda ou para sua subsistência (BRITO, 2005).

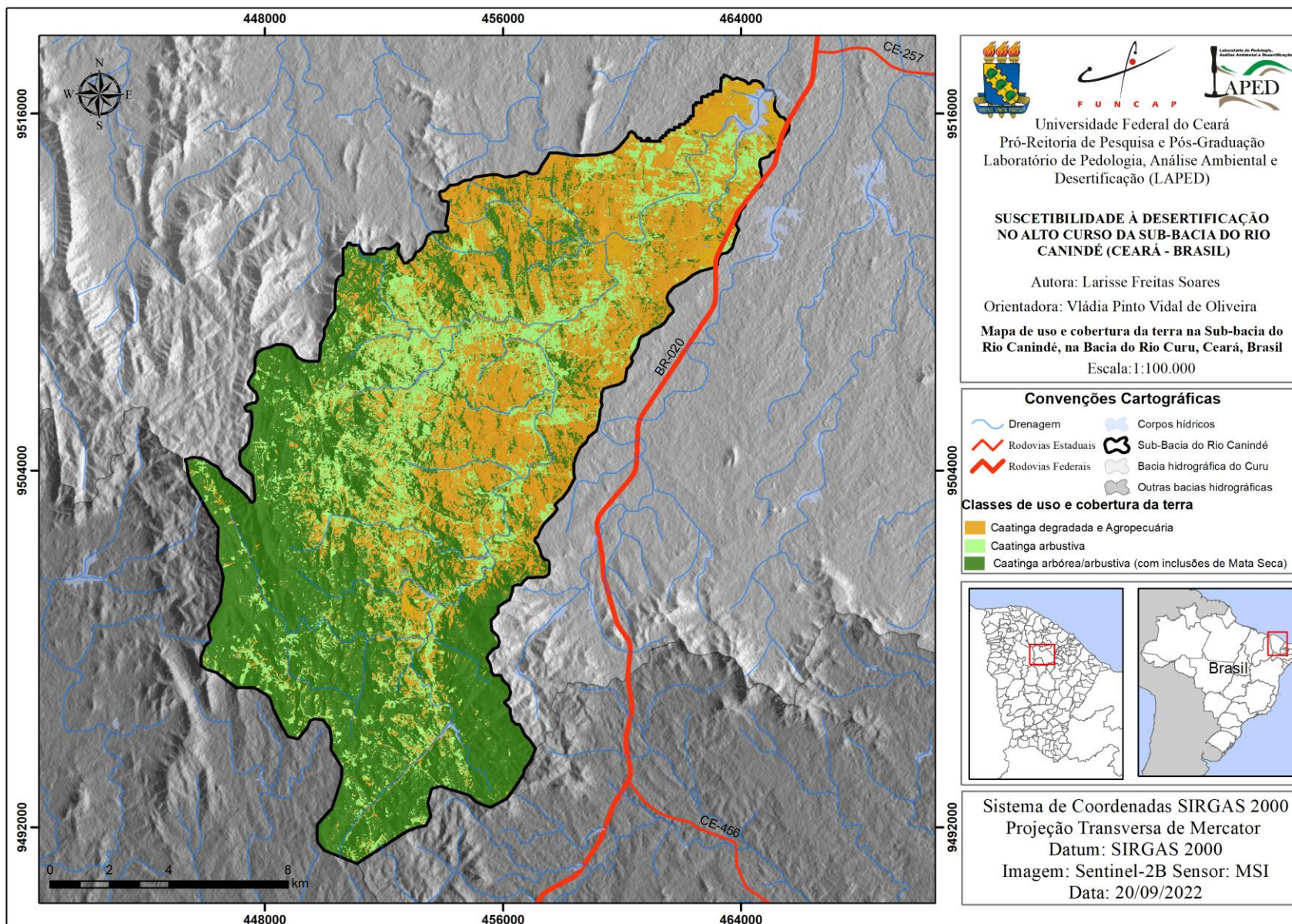
6.3 Uso e cobertura da Terra

Por meio dos dados socioeconômicos do município de Canindé foi possível observar as principais formas de uso e ocupação, que estão ligadas às atividades econômicas de exploração, agricultura e criação de gado. Conforme a intensidade dessas atividades em relação aos recursos naturais, é possível identificar diferentes graus de degradação da vegetação.

De acordo com a intensidade dessas atividades sobre os recursos naturais, é possível observar diferentes graus de degradação da vegetação. Para sistematizar os dados de uso, ocupação e os impactos causados à vegetação, foi produzido o mapa 6, que apresenta o uso e cobertura da terra. Os dados utilizados para elaborar esse mapa foram obtidos do IBGE, além de trabalhos de campo e análise de imagens de satélite. Essas informações permitiram identificar os diferentes usos do solo e o estado de conservação da cobertura vegetal.

No município, as principais formas de uso e ocupação foram causadas pelos agentes que moldam o espaço, sendo a base econômica produtiva dos sertões, as atividades de agroextrativismo, como o corte e queima da vegetação, e a agropecuária que dificulta a regeneração da caatinga, além dos impactos urbanos, que exercem pressão sobre os recursos naturais e resultam em degradação ambiental, principalmente afetando a cobertura vegetal e os solos.

Dessa forma, com base nas observações de campo e por meio do mapeamento do uso e ocupação, constata-se que as principais atividades com maior impacto no município envolvem as atividades agropecuárias. A classificação das formas de uso foi adaptada do zoneamento ecológico-econômico das áreas suscetíveis à desertificação (2015), que considera a cobertura vegetal e o estado de conservação ou degradação do ambiente.



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

As matas ciliares estão associadas a diferentes níveis de conservação, dependendo do tipo de uso e sua proximidade com núcleos humanos. Quando estão degradadas, com vegetação secundária, alteradas pelas atividades de exploração, criação de gado extensiva e agricultura de subsistência, quando menos degradadas aparecem com uma maior conservação da cobertura vegetal e dos seus recursos minerais.

A caatinga degradada está associada as atividades agropecuárias desenvolvidas nos solos, estando localizada nas áreas dos sertões aplainados e agrupamento de inselbergs. Possui atividades de agricultura de subsistência, pecuária extensiva e extração vegetal, apresentando exposições rochosas e erosão do solo devido ao intenso uso dessas terras.

A caatinga arbórea-arbustiva é a cobertura vegetal melhor preservada. Ela se encontra em toda extensão do Maciço Residual do Machado e dos sertões dissecados. Isso se deve ao difícil acesso dessas áreas devido a alta declividade e a maior presença pluviométrica.

As inclusões de mata seca, apresentam diferentes níveis de conservação, são áreas com resquícios de mata seca e caatinga. Geralmente, quando apresenta uma mata seca secundária, a caatinga tende a se sobressair, impulsionada pela exploração extrativista, pecuária extensiva e agricultura. A mata seca preservada está concentrada em áreas com declives acentuados e de difícil acesso, como serras e alguns maciços residuais, o que lhe confere uma cobertura vegetal próxima à mata nativa primária.

7 SISTEMAS AMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ

Os sistemas ambientais são compostos por conjuntos de elementos interdependentes, que trocam matéria e energia entre si, sendo responsáveis por suas formas e funcionalidades, assim como pelos seus estados de equilíbrio ecológico.

A delimitação dos sistemas ambientais na área de análise foi feita com base nos critérios adotados por Souza (2007) e Oliveira (2011). Segundo esses autores, a delimitação dos sistemas ambientais tem natureza geomorfológica, pois sintetiza todos os componentes do ambiente. Essa delimitação, além de ser menos arbitrária que outras, é fundamentalmente prática, pois os limites do relevo e as características da paisagem podem ser determinados de forma mais precisa; isso tornou o mapeamento dos sistemas ambientais mais objetivo. (SOUZA, 2007; OLIVEIRA, 2011).

Souza (2007), destaca, ainda, que:

[...] a compartimentação geomorfológica é parte de uma herança evolutiva natural quaternária. Desse modo, cada compartimento tem aspectos próprios de drenagem superficial, arranjos de solos e padrões fisionômicos da vegetação. O uso e a ocupação da terra têm também características muito específicas. (SOUZA 2007).

Foram identificados os seguintes sistemas ambientais na bacia estudada: 1. Vertente Oriental da Serra do Machado; 2. Cristas residuais e inselbergs; 3. Sertões dissecados de Canindé; 4. Sertões Aplainados de Canindé; 5. Planícies fluviais e áreas de inundação sazonal.

7.1 Sertões Aplainados de Canindé

Esse sistema possui área aproximada de 99,23 km², sendo o segundo de maior extensão dentro da área de estudo. Possui substrato rochoso constituído por litologias pertencentes ao Complexo Canindé Ceará, com estreitas coberturas sedimentares aluviais; litologias em superfície pediplanada da depressão sertaneja; relevo com cotas altimétricas de 200 a 250 m, em topografia aplainada e suave ondulada.

Figura 9 - Sertões de Canindé aplainados (vista panorâmica da sede – Canindé)



Fonte: acervo da autora, 2023.

As superfícies planas e erodidas são drenadas por rios e riachos intermitentes em um padrão ramificado, que formam a parte alta e média do rio Canindé. Apesar da capacidade limitada dos vales fluviais em se aprofundar, a água da chuva causa sulcos de erosão na superfície.

Essas áreas são cobertas por solos pouco desenvolvidos, com predominância de Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólicos. Embora sejam solos férteis, apresentam uma quantidade significativa de pedras e são frequentemente marcados por afloramentos rochosos.

A vegetação que reveste esses solos é composta principalmente caatinga arbustiva, porém encontra-se fortemente degradada, em um estágio de sucessão secundária, além de cactáceas e áreas extensas sem vegetação. Essa devastação é resultado do desmatamento e das queimadas para abrir espaço para criação de gado e agricultura de subsistência.

7.2 Sertões Dissecados de Canindé

A área desse sistema está em torno de 102,83 km², sendo o de maior expressão espacial dentro do alto curso do rio Canindé. Este é caracterizado por rochas cristalinas metamorfizadas do Complexos Ceará e Canindé - Ceará, com o predomínio de gnaisses, migmatitos e núcleos granitoides; relevo suave ondulado a parcialmente dissecado da depressão sertaneja, parcialmente dissecado em colinas rasas; cotas entre 300 a 500 m de altitude.

Figura 10 - Sertões Dissecados de Canindé



Fonte: acervo da autora, 2023.

Os solos que revestem as depressões parcialmente dissecadas são as associações de Luvissolos Crômicos e Neossolos Litólicos, que apresentam texturas média ou argilosa, com alta pedregosidade e boa frequência de afloramentos rochosos.

São revestidos pela vegetação de caatinga arbóreo-arbustiva, que se apresenta moderadamente degradada pela exploração agropecuária, através do estabelecimento de áreas para pastagem e do cultivo de culturas de subsistência e do algodão.

Ademais, a exploração dos recursos naturais também é feita através do extrativismo vegetal e mineral. O extrativismo vegetal é praticado com a retirada de espécies da caatinga para a produção de lenha e de carvão vegetal, como matriz energética e fonte alternativa de renda para os pequenos produtores, sobretudo, durante o período de estiagem.

Ecodinâmica do ambiente: de transição.

7.3 Cristas Residuais e Inselbergs

As cristas e inselbergs possuem área aproximada de 2, 77 km², sendo o sistema ambiental de menor expressão (figura 11). Estes possuem litologias diversas pertencentes tanto ao Complexo Ceará, quanto ao Complexo Canindé – Ceará; sobressaindo-se, porém, gnaisses variados e quartzitos; relevo forte ondulado, ou mesmo montanhoso, variando entre cotas altimétricas de 250 a 450 m.

Figura 11 - Inselbergs (limite entre os municípios de Canindé e Itatira)



Fonte: acervo da autora, 2023.

O relevo apresenta uma característica de elevações acentuadas, podendo até ser considerado montanhoso quando a drenagem é mais intensa. Em geral, os solos são rasos e pedregosos, com exposições rochosas frequentes, representados principalmente pelos solos chamados Neossolos Litólicos, que estão associados também aos Argissolos Vermelho-Amarelos. Esses solos são cobertos por uma vegetação arbórea de caatinga, mas que se encontra degradada devido à exploração excessiva.

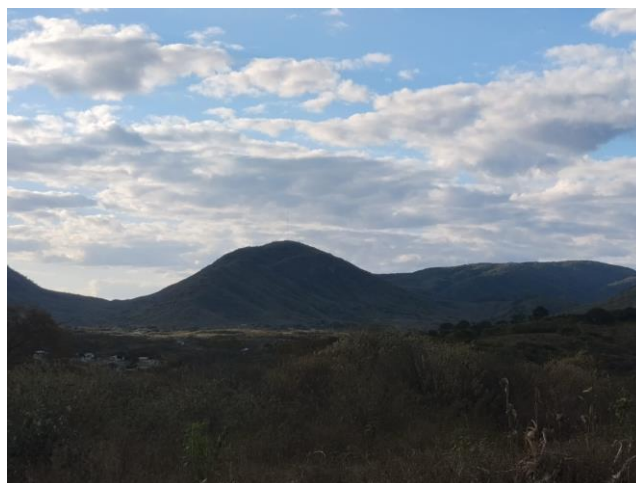
Ecodinâmica do ambiente: instável.

7.4 Maciço Residual da Serra do Machado (Vertente Oriental)

Localizado na porção ocidental de Canindé, o Maciço Residual do Machado (figura 11) é caracterizada principalmente por rochas metamórficas cristalinas, com predominância de gnaisses, migmatitos e xistos do complexo Canindé do Ceará. Essas rochas estão distribuídas na superfície através de falhas orientadas e dobramentos antigos.

A porção que corresponde a vertente oriental, possui uma área de aproximadamente 28,91km² dentro da sub-bacia. O relevo montanhoso deste maciço é fortemente erodido, com feições afiadas e convexas, com altitude média entre 400 e 600 metros.

Figura 12: Maciço residual do Machado (vertente Oriental)



Fonte: acervo da autora, 2023.

No relevo, encontram-se solos profundos, com uma associação de Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos, com afloramentos rochosos. Nas áreas mais baixas, há a presença da caatinga arbórea, enquanto a Mata Seca está situada acima dos 600

metros. A retirada da vegetação para uso extrativista e agrícola é observada desde as encostas até o topo da Serra do Machado.

Na face norte, a vegetação está em processo de regeneração, enquanto na face voltada para o município de Itatira ainda é amplamente utilizada para a plantação de milho e feijão. Isso vai contra as limitações naturais e as leis federais e municipais de proteção ambiental (SDU/SEMACE, 1990), que estabelecem que as áreas de encosta íngreme e nascentes de rios e riachos são áreas de proteção permanente (APPs).

Ecodinâmica: transição tendendo à estabilidade.

7.5 Planícies fluviais e Áreas de Inundação Sazonal

Esse sistema possui aproximadamente 2,89km² de área dentro do alto curso da sub-bacia. As planícies fluviais (figura 13) são formadas por sedimentos aluviais do período Quaternário, em depósitos estreitos, quando localizados nas nascentes dos rios, alargando-se à medida que chegam ao curso médio e baixo. Essas áreas de acumulação são niveladas, cobertas por solos profundos, arenosos ou argilosos, compostos principalmente por associações entre Neossolos Flúvicos e Planossolos Háplicos (BRITO, 2003).

Figura 13 - Planície fluvial do rio Canindé



Fonte: acervo da autora, 2023.

Por vezes esse sistema está associado a áreas de inundação temporária, resultante da retenção periódica de água na superfície pelos Planossolos, favorecida pela topografia

plana do terreno. As planícies estão ligadas a áreas de inundação temporária, cobertas pela mata ciliar e pela vegetação de carnaúbas.

Essa planície ainda sofre degradação devido à prática da extração vegetal, com a retirada de espécies para a criação de áreas agrícolas e pastagens, além da extração mineral, com a remoção de areia de seu leito para abastecer cerâmicas (olarias) e a construção civil.

Ecodinâmica: transição tendendo à instabilidade.

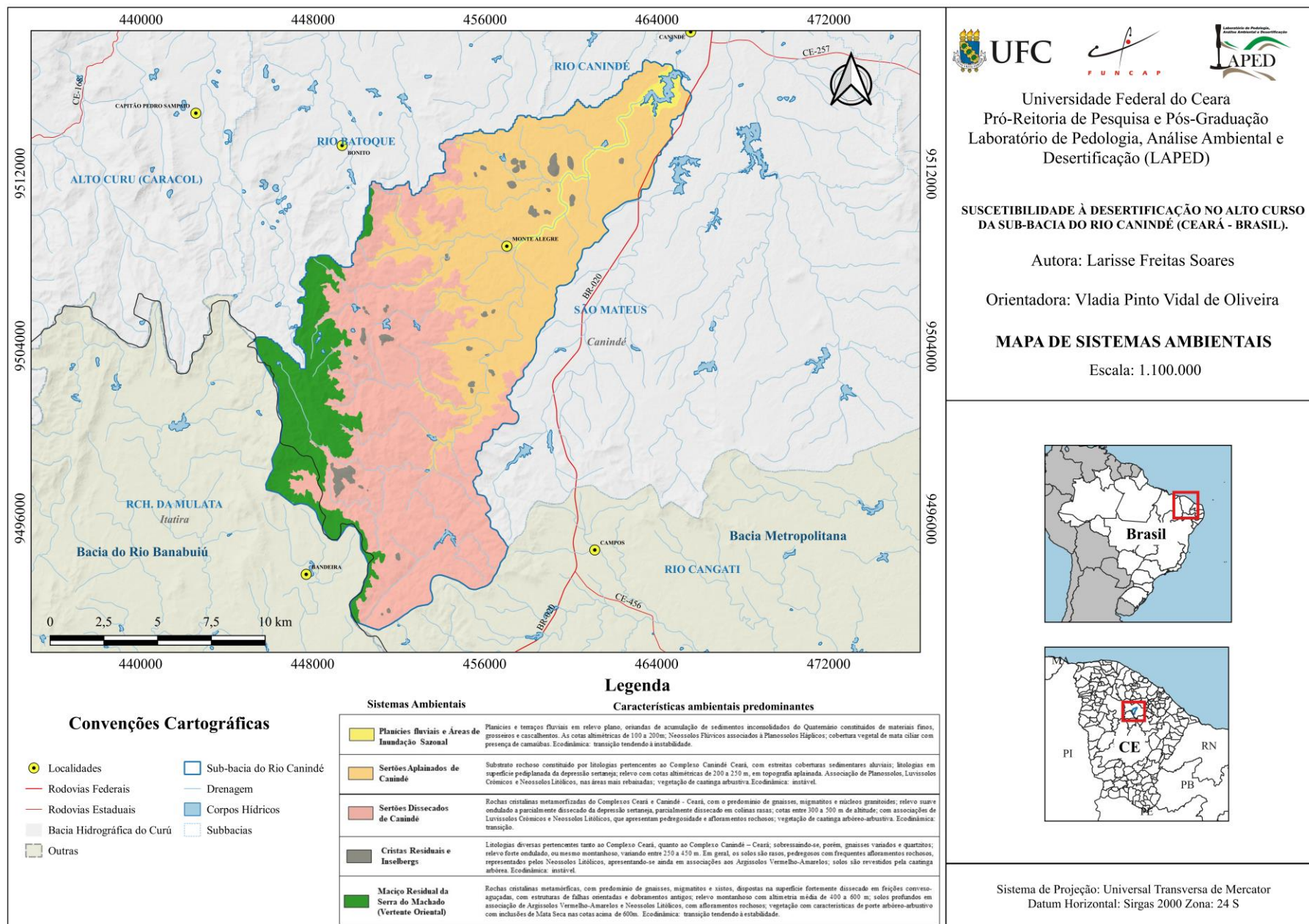
Quadro 7 – Sistemas Ambientais do Alto curso do rio Canindé

Sistemas ambientais	Potencialidades	Limitações	Problemas ambientais configurados	Recomendações
Planícies fluviais e áreas de inundação sazonal: Planícies e terraços fluviais em relevo plano, oriundas de acumulação de sedimentos inconsolidados do Quaternário constituídos de materiais finos, grosseiros e cascalhentos. As cotas altimétricas de 100 a 200m; Neossolos Flúvicos associados à Planossolos Háplicos; cobertura vegetal de mata ciliar com presença de carnaúbas. Ecodinâmica: transição tendendo à instabilidade.	Cultivos diversificados de irrigação e sequeiro.	Salinização dos solos, riscos de inundação, indisponibilidade hídrica.	Intensificação da salinização dos solos por consequência das irrigações; uso intensivo através da agricultura; perturbação (causada pelo extrativismo mineral) da linha de escoamento dos rios e riachos com o desvio das cheias para áreas cultivadas ou habitadas; aumento do risco de contaminação da água subterrânea; criação de instabilidade nas infra-estruturas de correção torrencial, degradação ambiental.	Recuperação ambiental, através do reflorestamento, práticas de educação ambiental e recuperação de águas subterrâneas; Controle do extrativismo vegetal e mineral.
Sertões dissecados de Canindé Rochas cristalinas metamorfizadas do Complexos Ceará e Canindé - Ceará, com o predomínio de gnaisses, migmatitos e núcleos granitoides; relevo suave ondulado a parcialmente dissecado da depressão sertaneja, parcialmente dissecado em colinas rasas; cotas entre 300 a 500 m de altitude; com associações de Luvissolos Crômicos e Neossolos Litólicos, que apresentam pedregosidade e afloramentos rochosos; vegetação de caatinga arbóreo-arbustiva. Ecodinâmica: transição.	Solos férteis; material mineral para indústria de construção.	Escassez hídrica; pouca espessura dos solos com acentuada pedregosidade e afloramentos rochosos.	A vegetação se apresenta moderadamente degradada pela exploração agropecuária, através do estabelecimento de áreas para pastagem e do cultivo de culturas de subsistência e do algodão; Processos erosivos no solo pela perda de cobertura vegetal; assoreamento dos rios e riachos pelo extrativismo mineral.	Recuperação ambiental, através do reflorestamento, práticas de educação ambiental; Controle das atividades de extrativismo vegetal e mineral.

Sertões de Canindé Aplainado: Substrato rochoso constituído por litologias pertencentes ao Complexo Canindé Ceará, com estreitas coberturas sedimentares aluviais; litologias em superfície pediplanada da depressão sertaneja; relevo com cotas altimétricas de 200 a 250 m, em topografia aplainada. Associação de Planossolos, Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólicos, nas áreas mais rebaixadas; vegetação de caatinga arbustiva. Ecodinâmica: instável.	Desenvolvimento de atividades agrícolas em vales adjacentes, pastoreio e extrativismo mineral.	As limitações estão relacionadas à alta predregosidade, escassez hídrica.	Degradação do solo e cobertura vegetal; compactação do solo por pecuária extensiva.	Controle das atividades de mineração; recuperação dos solos; ações de contenção da desertificação, práticas de educação ambiental.
Cristas residuais e inselbergs: Litologias diversas pertencentes tanto ao Complexo Ceará, quanto ao Complexo Canindé – Ceará; sobressaindo-se, porém, gnaisses variados e quartzitos; relevo forte ondulado, ou mesmo montanhoso, variando entre 250 a 450 m. Em geral, os solos são rasos, pedregosos com frequentes afloramentos rochosos, representados pelos Neossolos Litólicos, apresentando-se ainda em associações aos Argissolos Vermelho-Amarelos; solos são revestidos pela caatinga arbórea. Ecodinâmica: instável.	Clima com condições favoráveis ao turismo e ao cultivo de sequeiro controlado, além de fontes de águas e ressurgências.	Condições montanhosas do relevo, solos rasos e desnudos associados com afloramentos.	Desmoronamento de blocos; erosão dos solos; perda de matéria orgânica; desmatamento; degradação da biodiversidade.	Recuperação ambiental, através do reflorestamento; contenção das encostas; práticas de educação ambiental e pesquisas científicas.
Maciço Residual da Serra do Machado (vertente oriental): Rochas cristalinas metamórficas, com predomínio de gnaisses, migmatitos e xistos, dispostas na superfície fortemente dissecado em feições convexo-aguçadas, com estruturas de falhas orientadas e dobramentos antigos; relevo montanhoso com altimetria média de 400 a 600 m; solos profundos em associação de	Clima favorável ao turismo sustentável; Legislação ambiental federal e municipal	Declives acentuados e solos pouco desenvolvidos.	Extrativismo vegetal e o uso agrícola é verificada desde o sopé ao topo; na vertente voltada para o município de Itatira ainda é amplamente utilizada para o cultivo de milho; feijão e fava	Recuperação ambiental, através do reflorestamento; contenção das encostas; práticas de educação ambiental e pesquisas científicas; turismo rural

Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos, com afloramentos rochosos; vegetação com características de porte arbóreo-arbustivo com inclusões de Mata Seca nas cotas acima de 600m. Ecodinâmica: transição tendendo à estabilidade.	(SDU/SEMACE, 1990), que estabelecem as áreas de declive acentuado e as nascentes de rios e riachos como áreas de proteção permanente, as APPs.			controlado.
--	---	--	--	--------------------

Fonte: adaptado de Adaptado de Souza (2007); Souza Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014); Araújo (2016).



8 SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ

Para analisar os efeitos da degradação ambiental dentro do cenário de suscetibilidade à desertificação em que se configura a área de estudo, Oliveira (2011, 2012) e tabela 1 dinâmica dos sistemas ambientais frente aos problemas da desertificação. Tal sistematização permitiu que fossem realizadas outras aplicações, tanto em outras áreas em escala de detalhe internacional, como em Cabo Verde (OLIVEIRA, 2011; SOUSA, 2016) como também em território brasileiro (COSTA, 2014; SOUSA, 2016; BARRETO, 2018; CEZÁRIO, 2019).

Durante o decorrer da pesquisa, foram sendo desenvolvidas e refinadas propostas metodológicas para uma melhor compreensão do processo de desertificação na área. Assim, para escolher e analisar os Indicadores Geobiofísicos de Desertificação, foram levados em consideração alguns atributos da paisagem (geologia, geomorfologia, clima, solo e vegetação) juntamente com as suas respectivas funções dentro do sistema de funcionamento da paisagem em cada ambiente, além de outras variáveis como tipos de uso, problemas ambientais existentes, ecodinâmica e recomendações de uso.

No fim, foram estabelecidas seis variáveis, que foram divididas em cinco valores, presumindo que os valores mais altos correspondem às melhores potencialidades para a conservação ambiental (quadro 06). Desta maneira, um valor mais alto no Índice Geobiofísico de Desertificação indicará um estado de conservação mais elevado (OLIVEIRA, 2011, 2012, 2013).

Assim, para selecionar e analisar os indicadores de desertificação do alto curso da sub-bacia do rio Canindé, foram conduzidas pesquisas e análises de materiais bibliográficos e geocartográficos; foram feitas análises da importância de cada parâmetro no contexto geoambiental das áreas de estudo; e realizou-se a identificação e análise dos sistemas ambientais como uma delimitação espacial para a aplicação dos indicadores.

Quadro 8 - Indicadores Geobiofísicos de Desertificação aplicado nas áreas de estudo

Geologia (Litotipos/Permeabilidade) IGBD 1		Valores	Relevância do Indicador
Sedimentos não coesos (arenosos)		5	Em função da composição litológica do substrato, destacando a permoporosidade da rocha, o que indica a capacidade de infiltração e armazenamento da água.
Sedimentos não coesos (areno-argilosos)		4	
Litotiposareníticos-basálticos (rocha sedimentar, associada c/ vulcânica)		3	
Exposições basálticas, granito-gnasificados (volcânicas/fissurais, metamórficos)		2	
Produtos vulcânicos, núcleos granitoides (vulcânicas/plutônicas)		1	
Geomorfologia (Declividade/topografia) - IGBD 2	Faixa	Valores	Relevância do Indicador
Plano	0-3%	5	A declividade limita certas atividades humanas; aspectos a considerar com relação à formação dos solos e processos de erosão; influência no escoamento superficial e nos processos erosivos; influência gravitacional com força direcional.
Suave ondulado	3-8%	4	
Ondulado	8-15%	3	
Fortemente ondulado	15-45%	2	
Montanhoso	>45%	1	
Zonação Climática – IGBD 3	Faixa (mm)	Valores	Relevância do Indicador
Zona úmida	> 700	5	As condições climáticas, e os processos morfodinâmicos, podem contribuir para a indicação da ecodinâmica do ambiente bem como nas condições de uso da terra.
Zona subúmida	600-700	4	
Zona semiárida a subúmida	400 – 600	3	
Zona árida a semiárida	300 - 400	2	
Zona árida	< 300 mm	1	
Solos (Espessura) – IGBD 4	Faixa	Valores	Relevância do Indicador
Muito profundos	>200 cm	5	Os parâmetros como espessura e erosão implicam no maior desenvolvimento e maturidade dos solos e na maior capacidade de resistência à erosão.
Profundos	100-200 cm	4	
Moderadamente rasos	50-100 cm	3	
Raso	25-50 cm	2	
Muito rasos e afloramentos rochosos	< 25 cm	1	
Solos (Erosão/escoamento) – IGBD 5		Valores	Relevância do Indicador
Baixa susceptibilidade		5	O grau de erosão pode indicar a ecodinâmica do ambiente, suas principais limitações e o avanço da degradação ambiental.
Erosão em sulcos		4	
Erosão com ravinas		3	
Ravinas/voçorocas		2	
Voçorocas		1	
Cobertura Vegetal (Estrato de vegetação/Padrão fisionômico)– IGBD 6		Valores	Relevância do Indicador
Predominância de estrato arbóreo		5	A cobertura vegetal com referência aos estratos fisionômicos pode indicar sobre a maturidade das espécies. O padrão fisionômico influencia a intensidade das ações erosivas.
Estrato arbóreo – arbustivo		4	
Estrato arbustivo		3	
Estrato herbáceo		2	
Pasto/cultivos/sem vegetação		1	

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2011, 2012,2013); COSTA (2014) e SOUSA (2016).

Através da aplicação desses indicadores, é possível estabelecer uma análise qualitativa e quantitativa dos parâmetros geoambientais da sub-bacia, além de identificar os sistemas que apresentam susceptibilidade à desertificação, as áreas em conservação e equilíbrio.

Nesse sentido, os estudos na bacia do rio Canindé utilizaram os 5 sistemas ambientais presentes no alto curso como recorte espacial para aplicar o IGBD e mensurar o nível de susceptibilidade à desertificação de cada sistema.

Com o IGBD 1 Litotipos/Permoporosidade, averiguou-se a composição litológica, e sua permoporosidade, vendo como esta interfere no processo de erosão e na capacidade de armazenamento de água do solo.

Analisando a constituição litológica presente na sub-bacia, observou-se que a maior parte do seu território é composta por rochas metamórficas nos sertões dissecados e aplainados de Canindé, nas cristas e inserlbergs e na Serra do Machado; há inclusões de rochas magmáticas nesses sistemas; sendo essa litologia advinda das unidades geológicas do Complexo Ceará e Complexo Canindé do Ceará. Podemos concluir que devido a essa composição prevalece a impermeabilidade do material litológico, que favorece o escoamento superficial e processos erosivos e diminui a permoporosidade dos sistemas, ou seja, influência na baixa capacidade de infiltração de água nas rochas.

As melhores condições de permoporosidade encontram-se nas planícies fluviais e áreas de inundação sazonal devido aos depósitos sedimentares do Quaternário, que devido a sua composição predominante de materiais arenosos e areno-argilosos, aumentam a capacidade de armazenamento de água no solo.

O IGBD 2 Declividade/Topografia avalia a declividade do relevo: quanto mais íngreme a vertente, maior a incidência de processos erosivos e quanto menor a declividade menor incidência da erosão. As maiores declividades estão relacionadas ao relevo fortemente ondulado com declividade entre 15% a 45 %, presentes nos sistemas ambientais das em porções dos sertões dissecados, no Maciço residual do Machado, cristas residuais e inserlbergs. Há porções do Maciço residual do Machado que se encaixam na topografia montanhosa, com declividade >45%. As menores declividades variam entre 3% a 8%, com relevo suave ondulado estão presentes nos sistemas dos Sertões de Canindé; planas nas áreas de planícies fluviais e áreas de inundação temporária.

O relevo suave ondulado dos sertões e suas planícies são propícios ao uso e ocupação, isso é constatado pela distribuição dos núcleos urbanos do município de Canindé que estão inseridos no recorte pesquisado. Enquanto as declividades fortemente onduladas,

como os sertões dissecados, cristas residuais e inselbergs, podem acarrear maior transporte de sedimentos e riscos de erosão e por consequência possuem vazios populacionais.

O IGBD 3 que corresponde a zonação climática está relacionada aos níveis de precipitação e tipos climáticos presentes, variando do subúmido seco, semiárido ao árido.

Na sub-bacia do rio Canindé, o IGBD 3 obteve os valores 2, 3 e 4, o que indica as condições climáticas do semiárido a subúmido seco. A maioria dos sistemas ambientais apresenta o clima semiárido, com exceção de grandes partes das cristas residuais e sertões dissecados, onde o clima é subúmido seco, pois estão próximos ao maciço residual da Serra do Machado.

O IGBD 4, referente à espessura dos solos, pode ser classificado conforme suas características, no caso foi levado em consideração as associações e predominância dos solos referente ao mapa 6 desta pesquisa. Esses aspectos pedológicos possibilitam o estudo da formação dos solos e como estes reagem aos processos de degradação, dando fomento ao IGBD 5.

Os solos dos sertões aplainados são caracterizados por serem solos rasos, com predominância de Planossolos e Neossolos Litólitos, o que favorece a compactação dos solos e sua degradação. Já os sistemas dos sertões dissecados, cristas e inselbergs possuem solos rasos devido a declividade e diversos afloramentos rochosos favorecendo também os processos erosivos.

Por último O IGBD 6 refere-se à cobertura vegetal (Estrato de vegetação/Padrão fisionômico). Seu indicador foi baseado no mapa do uso e cobertura da terra, usando as tipologias vegetacionais do projeto Mata Branca e do Zoneamento do Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Centro Norte.

Tabela 10 - indicadores geobiofísicos de desertificação do alto curso da sub-bacia do rio Canindé.

SISTEMAS AMBIENTAIS	INDICADORES GEOBIOFÍSICOS DE DESERTIFICAÇÃO (IGBD) DO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO CANINDÉ						
	Geologia (Litotipos/Permeabilidade) IGBD 1	Geomorfologia (Declividade/topografia) - IGBD 2	Zonação Climática - IGBD 3	Solos (Espessura) – IGBD 4	Solos (Erosão/escoamento) – IGBD 5	Cobertura Vegetal (Estrato de vegetação/Padrão fisionômico)– IGBD 6	Índice
Planícies Fluviais	4	5	2	4	5	2	3
Sertões de Canindé Aplainados	2	4	2	3	3	2	2,66
Sertões de Canindé Dissecados	2	3	3	3	4	4	3,16
Cristas e Iselbergs	2	2	3	2	2	3	2,33
Maciço Residual do Machado (vertente oriental)	2	1	4	4	3	4	3
Média	2,4	2,7	2,9	3	3,3	3,3	3,09
desvio padrão	0,8	1,41	0,74	0,75	1,02	0,74	0,5

Conforme a adaptação de Oliveira (2011, 2012, 2013), o intervalo dos índices de desertificação está distribuído em 5 (cinco) categorias presentes no quadro abaixo:

Quadro 7 - Categorias do índice de desertificação

Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD)	Intervalos
Muito baixo	>3,36
Baixo	3,20 – 3,36
Moderado	2,80 – 3,19
Alto	2,64 – 2,79
Muito Alto	>2,64

Fonte: OLIVEIRA (2011, 2012, 2013).

O Maciço residual do Machado atingiu o índice: 3, estando na categoria moderada do IGBD. Isso se deve ao tipo climáticos subúmido seco, e uma vegetação de porte arbóreo o que influencia positivamente o sistema, porém seguido de um substrato pouco permoporoso, uma alta declividade e topografia, com solos moderadamente rasos possibilitando maiores processos erosivos.

Os Sertões de Canindé Dissecados tiveram o índice de: 3,16, também caracterizados como moderados. Assim como o Maciço do Machado, estes possuem características propícias ao sistema como influência de uma tipologia subúmido seco e uma vegetação arbóreo-arbustiva, muito por influência da proximidade com o próprio maciço. Seguidos de indicadores de alta instabilidade como solos moderadamente rasos, com afloramentos rochosos e uma declividade fortemente ondulada.

Já os Sertões de Canindé Aplainados atingiram o índice: 2,66, caracterizado como alto. Apesar de possuir uma baixa declividade, esse sistema possui substrato rochoso pouco permoporoso, solos rasos, e uma zonation climática semiárida. Devido a sua topografia suave ondulada as atividades antrópicas como pecuária, cultivos e extrativismo vegetal ocorreram de forma mais incisiva, contribuindo para o aumento dos processos erosivos e degradação da vegetação.

Cristas Residuais e Inselbergs obteve o valor mais baixo de índice: 2,33, o que significa que é muito alta a suscetibilidade ao processo de desertificação deste ambiente. Tal

valor encontra-se associado a condicionantes geológico-geomorfológicos que imprimem no ambiente uma maior tendência aos processos erosivos graças a uma baixa permoporosidade das rochas associadas a uma elevada declividade do relevo.

As planícies fluviais e áreas de inundação sazonal apresentaram o índice de 3, enquadrando-se na categoria de baixa suscetibilidade ao processo de desertificação. Tal valor encontra-se associado a condicionantes hidrológicos e geológico geomorfológicos que imprimem no ambiente condição de boa permeabilidade e baixa declividade.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização geoambiental do alto curso da sub-bacia do rio Canindé demonstrou a fragilidade dos elementos naturais, especialmente sob a influência da semiaridez, verificado através da análise temporal e espacial das precipitações pluviométricas dos últimos quinze anos.

A grande instabilidade climática é responsável pela formação de sistemas de drenagem intermitentes, que se ajustam à estrutura geológica do substrato cristalino do Pré-Cambriano, sobre extensas áreas de erosão e relevos residuais, características marcantes da paisagem da sub-bacia.

Dessa forma, em face dessas condições, é possível entender a formação de solos superficiais, que ocasionalmente são pedregosos e predominantes na área territorial do município, como os Neossolos Litólicos, sendo naturalmente suscetíveis à erosão, principalmente pelos processos de desagregação mecânica e escoamento superficial, este último ocorrendo durante a estação chuvosa.

Ao analisarmos as intervenções antrópicas no ambiente, observamos que a terra é utilizada principalmente para atividades agropecuárias, como a criação de gado e o cultivo de algodão e culturas de subsistência. Essas práticas são realizadas de forma rudimentar, através de ciclos de desmatamento, queimadas, plantio e colheita, sem períodos de repouso. O gado, por sua vez, é criado solto nas áreas de pastagem, que também abrangem as caatingas.

Com base na caracterização geoambiental, foram identificados e classificados cinco sistemas ambientais, de acordo com critérios geomorfológicos e morfopedológicos. É evidente a predominância dos sertões, que representam a paisagem característica dos sertões de Canindé.

Nas características de cada sistema, são propostas as potencialidades e limitações quanto ao uso e gestão dos recursos naturais através da aplicação de matrizes de parâmetros e valores e observações de campo, o que permite a quantificação do estado de susceptibilidade a desertificação dos sistemas ambientais.

A susceptibilidade a desertificação é observada em todos os sistemas ambientais em diferentes níveis, variando do baixo, como é o caso das planícies fluviais ao alto índice (sertões aplainados e cristas e agrupamento de inselbergs).

Com isso, o processo de desertificação dos recursos naturais na sub-bacia se reflete na qualidade de vida da população que depende diretamente da exploração da terra

para garantir renda e subsistência. A evidência baseia-se na baixa contribuição da atividade agrícola para o PIB municipal, apesar da ocupação tradicionalmente setorial da economia; O aumento do número de hectares de terras improdutivo e assentamentos rurais, devido as questões relacionadas com uma estrutura fundiária de concentração de terras.

Neste contexto, há necessidade de mais investigação científica focada no processo da desertificação, as suas causas e consequências através de avaliações diagnósticas. Planejar e implementar medidas de recuperação ou mitigação.

Daí a importância de desenvolver esta pesquisa para a sociedade, ou seja, chamar a atenção de todas as esferas do poder público para a necessidade do avanço contínuo da reforma agrária, da agricultura sustentável e da educação ambiental como medidas conservacionistas.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza do Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, [s. l.], 2003. 159 p.
- AB'SABER, A. N. A problemática da desertificação e da savanização no Brasil. In: **Geomorfologia**, nº 53. USP: São Paulo, 1977, 20 p.
- ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la desertificación para América del Sul**. IICA-BID ATN JF. Mendoza, Argentina: LaDyOT / IADIZA / CONICEF / IICA, 2006.
- ABRAHAM, E. M; MONTAÑA, E.; TORRES, L. Procedimiento y marco metodológico para la obtención de indicadores de desertificación en forma Participativa. In: ABRAHAM, E. M. e BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**, [s. l.], Editorial Martín Fierro. Mendonza: 2006.
- ABRAHAM, E. M; SALOMÓN, M. A. Indicadores y puntos de referencia de la desertificación utilizados em Argentina por diversos usuários. In: ABRAHAM, E. M. e BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**, [s. l.], Mendonza: Editorial Martín Fierro, 2006
- ALVES, Júlia Maria de Paula; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- ANDRADE, M. C. A problemática da utilização econômica da caatinga. In: SIMPOSIO SOBRE CAATINGA E SUA EXPLORACAO RACIONAL, 1984, Feira de Santana, BA. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT / Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 1986. p.27-36.
- Antrop M 2005. Why landscapes of the past are important for the future. **Landscape Urban Plan**, [s. l.], 70 (1): 21- 34.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozóica do grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Fortaleza, 2016.
- ASSESSMENT, **Millennium Ecosystem**. [s. l.], Millennium ecosystem assessment. 2005.
- BARBOSA, P. A. C. **Qualidade física do solo submetido à prática de pousio em área sob processo de desertificação**. 2017. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- BARRELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares**: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARRETO, L. L. **Indicadores geobiofísicos de suscetibilidade à desertificação nas serras de Uruburetama, da Meruoca e nos sertões do Centro Norte – Ceará – Brasil**. 2018. 176f. Tese (Doutorado em Geografia) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

BELTRAME, A. V. da. Uma aplicação do sensoriamento remoto no planejamento físico das bacias hidrográficas. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 37-41, mar. 1994.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global**: esboço metodológico, [s. l.] Caderno de ciências da terra, n.13, 1971.

BETIOL, V. M. Sistemas, complexidade, e os sistemas ambientais na prática no Brasil. **Revista GeoNorte**, [s. l.], v. 1, p. 91-101, 2012.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, Antônio C.; GUERRA, Antônio J. T. (orgs). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 2004.

BRITO, E. G. **Sistemas Ambientais Semi-Áridos e as Evidências de Degradação/Desertificação no Município de Canindé - Ceará – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2005.

Brandão, R. L. Freitas, L. C. B., 2014. **Geodiversidade do estado do Ceará. Fortaleza: CPRM**. 214 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113296/1/Geodiversidade-p37.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. 2.ed. Brasília: MMA/PNUD/FGEB, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. PAN-BRASIL. Edições MMA. Brasília, 2004

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T; MOREAU, M. Interrelações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas**:teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005, p. 67-90.

CAPRA, F. **A Teia da Vida**. Cultrix, São Paulo, 2000.

CARVALHO, A. T. F. Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios). Tese (Doutorado) - **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018. 155f.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, [s. l.], n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da bacia do Curu** / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. SANTANA, E.W. de (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos, **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE – CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente Secretaria dos Recursos Hídricas, 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. CGEE. **Desertificação, degradação de terra e secas no Brasil**. Brasília: CGEE, 2016.

CEZÁRIO, Ana Rosa Viana. **Degradação ambiental e suscetibilidade à desertificação no município de Tejuçuoca Ceará–Brasil**. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1999.

CPRM - **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, Ceará. CPRM, 2003.

CPRM - Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2010. Escala: 1:750.000.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Reservatórios**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br>. Acesso em: 15 set. 2021.

COSTA, L. R. F. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia), - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CONTI, J. B. Conceito de desertificação. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n. 2, p.39-52, 2008.

COSTA FILHO, João da. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do Estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá**. 2019. In: Repositório da Universidade Federal do Ceará.2019.

DANTAS, E.W.C. Sistema de cidades em terra semi-árida. In: ALMEIDA, M.G; RATTIS, A.J.P (orgs). **Geografia – leituras culturais**. Goiânia: Alternativa, 2003.

DE LIMA, Jäder Ribeiro. Uma proposta de delimitação da área de degradação/desertificação de Canindé, Ceará. **Revista GeoUECE**, [s. l.], v. 4, n. 7, p. 215-215, 2015.

DE SANTANA PEIXÔTO, Maria Carolina; NETO, Manoel Cirício Pereira; DE ALENCAR GUEDES, Josiel. Sistemas ambientais e susceptibilidade à desertificação a partir de indicadores biofísicos no município de Assú/RN. **Ateliê Geográfico**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 108-129, 2021.

DE SOUZA, Sérgio Domiciano Gomes; DE SOUZA, Anny Catarina Nobre; DE SOUSA, Maria Losângela Martins. Na interface do embasamento, solos e cobertura: a suscetibilidade à desertificação da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 31, n. 66, p. 682-682, 2021.

ELIAS, D. Reestruturação produtiva da agricultura cearense: rumo a desintegração competitiva e à fragmentação do espaço agrário. In: SILVA, J. B.; CALVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C (Orgs.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª edição. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ESTEVES, Poliana Maria da Silva Valdevino; CRUZ, Fabiano Santiago. Avaliação dos impactos do processo de desertificação no Seridó Ocidental a partir de indicadores biofísicos e sociais. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. e1411326082-e1411326082, 2022.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista brasileira de climatologia**, [s. l.], v. 1, p. 15-26, 2005.

FERREIRA, Y. B.; OLIVEIRA, V. P. V. **Balanço hídrico climatológico como ferramenta de análise hidroclimática de núcleos de suscetibilidade a desertificação**. Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado em Geografia: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 197 f. 2021

FERREIRA, Y. B. **Uso do balanço hídrico climatológico como ferramenta de gestão dos recursos hídricos em Canindé - CE** / Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geografia, Fortaleza, 2018. Orientação: Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales.

FORBES, F. J.; HODGES, R. C. New approaches to comprehensive planning in Canada. **Water Resources Bulletin**, [s.l.], v. 7, n. 5, 1971. <http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1971.tb05026.x>

FRANCO, M. de A. R. **Planejamento Ambiental** para a Cidade Sustentável. 2ª ed. São Paulo: AnnaBlume: FAPESP, 2001.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Base de **dados pluviométricos...** Fortaleza: 2022. Disponível em: www.funceme.br. Acesso em: 28 set. 2022.

FUNCEME. **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação do núcleo I – Irauçuba/Centro-Norte**. Fortaleza: Expressão Gráfica

e Editora, 2015.

GOMES, Lucintha. **Começa em Canindé, peregrinação pelo santo milagreiro**. O Povo, 11 out. 2012. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/app/opovo/ceara/11/10/12noticiasjornalceara,2935057/co>. Acesso em: 19 Agost. 2023.

GOMES, Raul Carneiro; BIANCHI, Christina; DE OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal. Análise da Multidimensionalidade dos Conceitos de Bacia Hidrográfica. **GEOgraphia**, [s. l.], v. 23, n. 51, 2021.

HARE, F. K *et al.* O problema da desertificação. In: Hare, F. K *et al* (Org.). **Desertificação: causas e consequências**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de Indicadores Sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 317p. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 19 Agost. 2022.

IBRAHIM, F.I.D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. São Paulo: Ed. Érica/Saraiva, 2014.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica. **Anuário Estatístico doCeará**. IPECE, Fortaleza: 2001.

IPECE. **Anuário Estatístico do Ceará**. IPECE, Fortaleza: 2020-2021.

IPECE. **Perfil Básico Municipal Canindé**. IPECE, Fortaleza: 2020. Disponível em: www.ipece.ce.gov.br. Acesso em: 28 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Área de notícias**. Disponível em: <http://www.insa.gov.br>. Acesso em: 23 nov. 2022.

INSA-Instituto Nacional do Semiárido. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande, 2011. 209p

LE MOS, J. R. **Florística, estrutura e mapeamento da vegetação de caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LIMA, Ernane Cortez; DA SILVA, Edson Vicente. Estudos geossistêmicos aplicados à bacias hidrográficas. **Revista Equador**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 03-20, 2015.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LORANDI, R & CANÇADO, C. J. **Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002. cap.2. OU 2008?

MARTINS, F.B. *et al.* Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MAIA, G. N. **Caatinga: Árvores e Arbustos e suas utilidades**. 1 ed. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004.

MATALLO JÚNIOR, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C.S; JÚNIOR, H.M. (org.). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 1999

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

MEDEIROS, S.S. *et al.*, 2012. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA (Instituto Nacional do Semiárido).

MI, 2005. Ministério da Integração Nacional (MI). **Nova delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília: Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional (SDR) / MI.

MORAIS, S. M. J. de. **Diagnósticos quantitativos mínimos de ambiência para o manejo integrado da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Município de Santa Maria – RS**. 1997. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1994.

NEVES, S. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J.; KREITLOW, J. P.; GALVANIN, E. A. S. **Susceptibility of soil to hydric erosion and use conflicts in the microregion of Tangará da Serra, Mato Grosso, Brazil**. Environmental Earth Science, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 813-827, 2015.

NIMER, E; BRANDÃO, A.M. **Balanço hídrico anual a partir de valores normais e tipologia climática**. Rio de Janeiro: Rev. Bras. Geogr./IBGE, 1985.

ODUM, P. E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. p. 434.

OLIVEIRA, V. P. V. de; PRINTZ, A. ; SCHMIDT, S. ; BEZERRA, C. L. F. . Sustainability of Natural Resource use in the Municipality of Tauá. In: Thomas Gaiser, Maarten Krol, Horst Frischkom, José Carlos Araújo and Frieder Graef. (Org.). **Global Change Regional Impacts**. Berlin: Spring-Verlag, 2003, v. 1, p. 305-322.

OLIVEIRA, V. P. V. de. Indicadores biofísicos de Desertificação, Cabo Verde/ África. **Revista Mercator (UFC)**, [s. l.], v. 10, p. 147-168, 2011.

OLIVEIRA, V. P. V. de. Sistemas Ambientais de Santiago-Cabo Verde (África): Indicadores Biofísicos de Desertificação. In: Vlândia Pinto Vidal de Olivera; Isildo Gonçalves Gomes; Isaurinda Baptista; Laudemira Silva Rabelo. (Org.). **Sistemas Ambientais de Santiago-Cabo Verde (África): Indicadores Biofísicos de Desertificação**. Fortaleza: Edições UFC, 2012, p. 37-89.

OLIVEIRA, V. P. V.; SEMEDO, J.M; OLIVEIRA, H. P. V. Análisis comparativo de los indicadores geobiofísicos de desertificación de la isla de Santiago-Cabo Verde (África) y en la región de los Inhamuns (Ceará-Brasil). **Zonas Áridas**, Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina, n.15, v.2, p. 226-243, 2014.

OYAMA, Marcos Daisuke; NOBRE, Carlos Afonso. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: A GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, n. 16, p. 3203-3213, 2004.

PEREIRA, R. C. M; SILVA, E. V. Solos e Vegetação do Ceará: Características Gerais. In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Orgs.). **Ceará: Um Novo Olhar Geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007, V. Único, p. 189 -210.

PEREIRA, R.C.M; SILVA, E.V. **Solos e Vegetação do Ceará**: características gerais. In: SILVA, J.B; DANTAS, E.W.C. e MEIRELES, A.J.A. (org.). Litoral e Sertão: Natureza e Sociedade no Nordeste Brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

PERREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS. Edição Revista Ampliada. **Meteorologia Agrícola 306**, 1º semestre, p. 92-101, 2007.
PETERSEN, James F.; SACK, Dorothy; GABLER, Robert E. **Fundamentos de geografia física**. Cengage Learning Edições Ltda., 2014.

PEREZ-MARIN, A. M; CAVALCANTE, A. M. B; MEDEIROS, S. S; TINÔCO, L. B. M; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v.17, n. 34, p.87-106, jan/jun. 2012.

PIRES, J. S. R; DEL PRETTE. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. (editores). **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus – BA: Editora da UESC, 2005.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005, p. 17-35.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2015**: O Trabalho como Motor do Desenvolvimento Humano. Washington DC: PNUD, 2015.

PNUD. **Linking Poverty Reduction and Environmental Management. Policy Challenges and Opportunities**. Washington: Banco Mundial, 2002.

PRADHAN, B. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 45, p. 1244-1256, 2010.

RÊGO, A.H. **Os sertões e os desertos**: o combate à desertificação e a política externa brasileira. Brasília: FUNAG, 2012.

ROCHA, J. S. M. da; KURTZ, S. M. J. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM, 2001. 302 p.

Rodrigues, V. (1987). Desertificação: As relações entre suas causas e as atividades humanas. **Interciência**. v. 12, n. 2, Caracas.

ROSA, L. A. S. **A Bacia Hidrográfica como Unidade Territorial de Gestão Ambiental no Programa de Revitalização**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. 91p.

ROSS, J. S. L. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios Para o Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

Geomorfologia, Ambiente e Planejamento. 8ª ed – São Paulo: Contexto, 2005.

DEL PRETTER, M. E. Recursos hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento e gestão Ambiental. Revista do Departamento de Geografia. FFLCH/USP. Nº 12, 1998.

SAMPAIO, E. V. B.; YONY, S.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil**: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. In: BARRETO, L. L; Indicadores geobiofísicos de suscetibilidade à desertificação nas serras de Uruburetama, da Meruoca e nos sertões do Centro Norte – Ceará – Brasil. 2018. 176f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

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

SALES, M. C. L; OLIVEIRA, J. G. B. Analise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: SILVA, J.B; DANTAS, E.W.C. e Meireles, A.J.A. (org.). **Litoral e Sertão**: natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, Gilmar O.; HERNANDEZ, Fernando BT. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 17, p. 60-68, 2013.

SANTOS, J.O; SOUZA, M.J.N. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. In: **Boletim Goiano de Geografia**. [s. l.], v.34. n. 2, 2014.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.184p.

SAUER, C. O. **A morfologia da paisagem**. Publicado originalmente como "The morphology of landscape", University of California, publications in Geography, vol. 12, nº 2, 1925, pp. 19-54. Traduzido por Gabriele Corrêa Braga, bolsista CNPq/UERJ. Revisão de Roberto Lobato Corrêa, Departamento de Geografia, UFRJ.

SEAGRI. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária. **Zoneamento agrícola do Ceará**. Mapa de Solo, Escala 1: 800.000. Fortaleza: 1988.

SILVA, E. R. **O Curso da Água na História**: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos. 1998. 201.f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998.

SILVA, DG da; MELO, RFT de; CORRÊA, A. C. B. A influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de tanques do município de Brejo da Madre de Deus–Pernambuco, nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 294-306, 2009.

SILVA, EGB; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Identificação das áreas susceptíveis à desertificação no estado do Ceará: antecedentes cartográficos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1269-1280, 2017.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental**. com aplicação de três modelos. **Espaço e Tempo**, [s. l.], n. 15, p. 39-49, 2004.

SOARES, A.M.L. *et al.* **Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará**. In: Desenvolvimento Sustentável no Nordeste. S.L, IPEA, 1995.

SOARES, D. B.; MOTA FILHO, F. de O.; NÓBREGA, R. S. Sobre o processo de desertificação. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, 01, 174-188. 2011.

SOTCHAVA, V.B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia (14)**. Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia: São Paulo, 1978.

SOTCHAVA, V. B. **Método em questão**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977.

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

SOUZA, M. J. N; OLIVEIRA, V. P. V. Análise ambiental – uma prática da interdisciplinaridade no ensino e na pesquisa. 2011. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 7, n. 2, nov. 2011. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/168>. Acesso em: 20 abri. 2023.

SOUZA, M. J. N. Mapeamento de sistemas ambientais e aplicações práticas para a conservação da natureza e o ordenamento territorial. **Revista Equador**. Vol. 4, n. 3,

p.141-153, 2015.

COMPARTIMENTAÇÃO GEOAMBIENTAL DO CEARÁ. In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE; T. DANTAS, E. (Org). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

OLIVEIRA, V.P.V. de; GRANGEIRO, M.M.G. **Análise Geoambiental**. In: ELIAS, Denise (Org.) O novo espaço da produção globalizada – o baixo Jaguaribe. Fortaleza: Funece, 2002.

SOUZA, Marcos. J. N. de. Bases geoambientais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In LIMA, Luiz Cruz. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNCME, 2000.p.104

SOUZA, M.J.N. **Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará**. Fortaleza: Rev. Geol.(1), Edições UFC, 1988.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, p. 913-920, 1957.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical Review, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

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

TURNER M.G.; BAKER W.L.; PETERSON C.J.; PEET R.K. (1998) Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. **Ecosystems**, v. 1, n. 6, p. 511– 523.

VALLE, C. I.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ**. Revista Floresta e Ambiente, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. de. **Metodologia para Identificação de Processos de Desertificação**. Recife, Sudene, 1978.

VASCONCELO SOBRINHO, J. **O processo de desertificação do Nordeste**. Brasília, Senado Federal. Brasília. 1976.

VEADO, R. A. **O Geossistema**: Embasamento Teórico e Metodológico (Relatório de qualificação). UNESP: Rio Claro, 1995.

VIERA, Hélio Pinto. **Cronologia Canindé**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 1997.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão**: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Viçosa. Anais...Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, M. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill , Berkeley, 45p.1975.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido. Caderno **Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, v. especial, n.36, p.126-142, 2014.

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.