



**INSTITUTO
FEDERAL**
Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO**

CAROL THÂNIA OLIVEIRA SOUSA

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM UMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA NA REGIÃO SUDOESTE DO PIAUÍ**

TERESINA

2025

CAROL THÂNIA OLIVEIRA SOUSA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA
NA REGIÃO SUDOESTE DO PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em
Geoprocessamento do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central.

Orientador: Prof. Ma. Amanda Bezerra Matias.

TERESINA
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Carol Thânia Oliveira

S725a Análise da fragilidade ambiental em uma microbacia hidrográfica na região sudeste do Piauí / Carol Thânia Oliveira Sousa. - 2025.

44 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Me. Amanda Bezerra Matias.

1. Sudoeste piauiense . 2. Análise multicritério . 3. Desertificação .. 4. Uruçuí-Vermelho. I.Título.

CDD - 621.3678

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

CAROL THÂNIA OLIVEIRA SOUSA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA
NA REGIÃO SUDOESTE DO PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em
Geoprocessamento do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central.

Orientador: Prof. Ma. Amanda Bezerra Matias.

Aprovada em: 03/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Amanda Bezerra Matias (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Daniel Silva Veras
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Reurysson Chagas de Sousa Moraes
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Dedico este trabalho aos meus pais,
amigos e mestres.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho com gratidão e carinho à minha família, cujos exemplos de amor, apoio e dedicação foram fundamentais para minha jornada. Agradeço aos meus amigos pelo incentivo constante e pela amizade sincera. E, especialmente, aos meus professores, cuja orientação, paciência e conhecimento me impulsionaram a alcançar este objetivo.

"A educação   a arma mais poderosa
que você pode usar para mudar o mundo."

Nelson Mandela

RESUMO

A degradação da terra e a desertificação são problemas ambientais que representam grandes desafios em todo o mundo. No Brasil, especialmente na região semiárida do Nordeste, esses problemas são intensificados pela combinação de fatores naturais e humanos. A desertificação compromete a qualidade do solo e afeta serviços ecossistêmicos essenciais, como a produção de alimentos e água. Para enfrentá-los, é essencial compreender as causas da degradação e a interação entre fatores naturais e antrópicos, permitindo identificar áreas vulneráveis e criar estratégias de mitigação e recuperação eficazes. O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar os níveis de fragilidade ambiental na região sudoeste do estado do Piauí, com foco no Núcleo de Desertificação de Gilbués, entre 1985 e 2015, utilizando uma análise multicritério que integra fatores geoambientais e antrópicos. O intuito foi compreender os processos de degradação ambiental e fornecer subsídios para estratégias de mitigação. Foram aplicadas técnicas de geoprocessamento para avaliar a cobertura da terra na microbacia, utilizando imagens de média resolução para analisar o uso e a ocupação do solo no período analisado. Para o mapeamento da fragilidade, foram utilizadas bases cartográficas de solo, litologia, declividade, vegetação e uso do solo reclassificadas e normalizadas para utilização da análise multicritério. Pesos foram atribuídos com base em estudos semelhantes. Os resultados mostraram um aumento de solo exposto e moderadamente exposto, com diminuição de áreas moderadamente conservadas, além de um crescimento da área com alta vulnerabilidade à erosão.

Palavras-chave: sudoeste piauiense; análise multicritério; desertificação e uruçuí-vermelho.

ABSTRACT

Land degradation and desertification are environmental problems that pose significant challenges worldwide. In Brazil, especially in the semi-arid region of the Northeast, these issues are intensified by a combination of natural and human factors. Desertification compromises soil quality and affects essential ecosystem services, such as food and water production. To address these problems, it is crucial to understand the causes of degradation and the interaction between natural and anthropogenic factors, enabling the identification of vulnerable areas and the creation of effective mitigation and recovery strategies. The main objective of this study was to characterize the levels of environmental fragility in the southwestern region of the state of Piauí, focusing on the Gilbués Desertification Center, between 1985 and 2015, using a multicriteria analysis that integrates geo-environmental and anthropogenic factors. The aim was to understand the processes of environmental degradation and provide subsidies for mitigation strategies. Geoprocessing techniques were applied to assess land cover in the micro-basin, using medium-resolution images to analyze land use and land occupation during the analyzed period. For fragility mapping, cartographic bases of soil, lithology, slope, vegetation, and land use were reclassified and normalized for the use of multicriteria analysis. Weights were assigned based on similar studies. The results showed an increase in exposed and moderately exposed soil, with a decrease in moderately conserved areas, as well as a growth in areas with high vulnerability to erosion.

Keywords: southwestern piauí; multicriteria analysis; desertification and uruçuí-vermelho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Fluxograma das etapas para obtenção de resultados	20
Figura 2	- Mapa de Localização da área de estudo: Bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, localizada na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.....	22
Figura 3	- Índices pluviométricos mensais dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	23
Quadro 1	- Classes de Declividade.....	24
Quadra 2	- Dados das Imagens.....	25
Figura 4	- Mapa de Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho.....	28
Quadro 3	- Litologia da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho.....	29
Figura 5	- Litologia da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.....	29
Figura 6	- Associações de solos da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.....	30
Figura 7	- Vegetação da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.....	31
Figura 8	- Declividade da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.....	32
Figura 9	- Mapas de Cobertura da terra para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	34
Figura 10	- Mapas de Fragilidade do Solo para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Banco de dados dos produtos cartográficos temáticos da área de estudo.....	21
Tabela 2	- Quadro com as classes de fragilidade atribuídas aos parâmetros Litologia, Vegetação, Declividade do Terreno, Classes de Solos e Uso e Ocupação da Terra.....	26
Tabela 3	- Matriz de comparação par a par para geração dos níveis de importância.....	27
Tabela 4	- Pesos das variáveis utilizadas.....	28
Tabela 5	- Quantificação em hectares das classes de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	33
Tabela 6	- Quantitativa em percentual dos resultados apresentados no mapa de fragilidade do solo para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 respectivamente.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPRO	Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPEPI	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio ambiente e Recursos Hídricos
SEMAR	Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UFPI	Universidade Federal do Piauí

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	GERAL.....	16
2.2	ESPECÍFICOS.....	16
3	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE AMBIENTAL.....	16
3.1	A DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E SUA RELAÇÃO COM O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO.....	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.2	MAPA DE SOLOS.....	23
4.3	MAPA DE DECLIVIDADE	24
4.4	MAPA LITOLÓGICO	24
4.5	MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA	25
4.6	MAPA DE VEGETAÇÃO.....	26
4.7	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1	DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA	28
5.2	LITOLOGIA	29
5.3	CLASSES DO SOLO	30
5.4	VEGETAÇÃO	31
5.5	DECLIVIDADE	32
5.6	CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA.....	32
5.7	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a região Nordeste apresenta aproximadamente 1.156.000 km² de área, e se encontra inserido na faixa de domínio do clima semiárido, constituindo, portanto, uma área suscetível aos processos erosivos e de degradação do solo que podem levar à desertificação (LOPES, 2005).

Atualmente, o planeta enfrenta diversas mudanças ambientais, sendo a desertificação dos solos uma das mais graves. Este processo é considerado um dos maiores desafios ambientais globais, o que levou as Nações Unidas a estabelecer em 1994 a Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD).

A UNCCD (Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação), entende que a degradação da terra é um processo de deterioração da qualidade dos recursos naturais do solo e da vegetação, que resulta na redução de sua capacidade de prover serviços ecossistêmicos, como produção de alimentos, água e biodiversidade. De acordo com a UNCCD (1994), entende-se que a degradação da terra em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas é resultante de vários fatores, como, atividades humanas, desmatamento, uso excessivo de recursos hídricos e as mudanças climáticas.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2005), no Brasil há diversos fatores que contribuem para o processo de degradação como: uso indiscriminado dos recursos naturais, falta de manejo para pecuária extensiva, mineração, interferências humanas diretas e desastres naturais. As regiões brasileiras mais afetadas estão na região nordeste do país, nos Núcleos de Desertificação Gilbués, Seridó, Irauçuba e Cabrobó.

O Núcleo de desertificação de Gilbués está situado no sul do Piauí, uma área semiárida com baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação, favorecendo a desertificação. O Núcleo de Desertificação de Seridó abrange áreas do interior do Rio Grande do Norte e da Paraíba; a área é caracterizada por um clima semiárido, com longos períodos de seca. O Núcleo de Desertificação de Irauçuba está no estado no Ceará, uma das regiões mais áridas do Brasil, com predomínio de clima semiárido. O Núcleo de Desertificação de Cabrobó, em Pernambuco, está no Sertão do São Francisco, uma área com escassez de água e altas temperaturas, favorecendo a desertificação.

Segundo Marín e Foreno (2021), estudar a degradação da terra no Brasil é crucial devido à grande área suscetível à desertificação, especialmente no semiárido nordestino. A degradação do solo é um problema sério e os impactos da degradação no Brasil são imensos, principalmente diante das mudanças climáticas. O conhecimento sobre esses processos ainda é limitado e exige atualização constante para mitigar os danos e promover a sustentabilidade.

De acordo com Aquino (2012), a degradação na região pode ser causada por processos naturais e humanos, sendo que tais ações podem originar o fenômeno de erosão do solo criando condições materiais para o estabelecimento do processo de desertificação e consequente degradação dos recursos naturais (solo, água e vegetação).

A área do presente estudo está localizada na região sudoeste do estado do Piauí, abrangendo os municípios de Gilbués, Barreiras do Piauí, Monte Alegre do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia. Essa região faz parte do Núcleo de Combate à Desertificação de Gilbués, dentro da área fitogeográfica Caatinga – Cerrado, o que torna o local com grande relevância ambiental.

Segundo Marín et al. (2012), a origem do processo de desertificação nessa porção do Piauí está relacionada aos processos de erosão, que tem sua origem na formação, gêneses e morfologia de seus solos, bem como a relação solo-paisagem. Na concepção do autor, essa degradação ocorre de maneira natural devido as características geológicas que a região possui, sendo agravado pelas ações antrópicas.

Nesse contexto, torna-se cada vez mais recomendável o uso de ferramentas que ofereçam um suporte mais robusto para análises em diferentes estudos, especialmente em relação a questões ambientais. As técnicas e ferramentas de geoprocessamento, por sua vez, destacam-se por sua capacidade de monitorar e avaliar a vulnerabilidade erosiva de uma região em escala espaço-temporal, além de possibilitar a análise integrada de diversos fatores que contribuem para esse processo.

O estudo visa analisar a fragilidade ambiental no sudoeste do Piauí, focando no Núcleo de Desertificação de Gilbués, entre 1985 e 2015. Utilizando uma abordagem multicritério, o objetivo é entender os processos de degradação ambiental

e ajudar a subsidiar tomada de decisões, tais como medidas de prevenção e recuperação das terras atingidas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Caracterizar os diferentes níveis de fragilidade ambiental em uma microbacia na região sudoeste do estado do Piauí, com foco na área do Núcleo de Desertificação de Gilbués, no período de 1985 a 2015, utilizando uma abordagem de análise multicritério para indicar os processos de degradação ambiental e subsidiar estratégias de mitigação.

2.2 ESPECÍFICOS:

- Organizar um banco de dados com os critérios ambientais relevantes, como tipo de solo, declividade, litologia, uso e cobertura da terra, e tipo de vegetação, para elaboração do mapa de fragilidade;
- Delimitar a microbacia para a região em estudo;
- Avaliar as mudanças na cobertura da terra ao longo do período analisado, usando a Classificação supervisionada.

3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE AMBIENTAL

Geoprocessamento e suas técnicas demonstram uma grande importância em estudos ambientais, pois permitem realizar mapeamentos temáticos das características ambientais, integrando e relacionando diversas variáveis, possibilitando a identificação e monitoramento de fenômenos ambientais e auxiliando a tomada de decisões.

Dentre os fenômenos que podem ser monitorados pelo geoprocessamento, podemos citar os processos erosivos, no qual é possível realizar estudos para analisar quais as variáveis ambientais de caráter natural ou antrópico contribuem para a ocorrência das erosões, assim como buscar medidas mitigadoras de controle para esses eventos (Silva, 2014).

Existem diversas ferramentas em geoprocessamento que auxiliam em estudos ambientais, dentre elas o Sistema de Informação Geográfica – SIG, que possui um

grande potencial em para tomadas de decisões e controle ambiental em pequena e grande escala.

Olaya (2016), define um Sistema de Informação Geográfica (SIG) como um conjunto de ferramentas computacionais que permitem analisar, apresentar e interpretar dados referentes a acontecimentos na superfície terrestre.

Segundo Silva (2014), estudos que envolvem SIG e Análise Espacial e Ambiental, tornam-se importante tanto para conhecer a distribuição espacial das características físicas (litologia, geomorfologia, pedologia, rede de drenagem e vegetação) quanto na busca da compreensão das condicionantes ambientais e antrópicas que tornam a área vulnerável à erosão. Segundo Moura (2007), os modelos de análise espacial em SIG podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou condições estabelecidas, diferente de descrever fatos ou elementos.

Os SIGs se diferenciam dos demais Sistemas de Informações, não só por lidar com representações geográficas, mas por também permitir a integração de informações geográficas com cadastrais e com métodos estatísticos, e de utilizar dados de diversas fontes, como dados alfanuméricos, dados vetoriais, imagens orbitais, entre outros.

Em análise ambiental é comum se deparar com a necessidade de analisar fatores que estão relacionados um determinado fenômeno. Esses fatores podem ser ambientais, como tipo de solo e vegetação, como também fatores sociais, de planejamento urbano, entre outros.

Silva e Marino (2015) explicam que os fenômenos ambientais muitas vezes são ocasionados pela ocorrência constante de inúmeros eventos, ou seja, a repetição de incidência de eventos permite identificar um relacionamento causal, no qual estes eventos possuem papel gerador do fenômeno.

A Análise Multicritério - AMC tem sido uma técnica bastante útil para a análise de fatores ou eventos que influenciam ou estão associados a um fenômeno ambiental. Ela é um método que permite comparar diferentes alternativas, fundamentada em critérios previamente estabelecidos, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão (ROY, 1996).

Em um ambiente SIG é utilizado um modelo de plano de informações multicritério que permitem a associação das variáveis para gerar um mapa com síntese. A partir do processo de mapeamento de variáveis em planos de informação,

definindo o grau de relevância de cada plano e seus componentes para a construção do resultado final. A matemática utilizada é a Média Ponderada, embora alguns pesquisadores já empreguem a lógica Fuzzy para atribuir pesos e notas (MOURA, 2007).

De acordo com Miranda (2015), a AMC se divide em quatro etapas. A primeira consiste em definir quais critérios são relevantes para análise do fenômeno de interesse. A segunda etapa representa a escolha dos valores dos elementos que representam cada critérios. Esses valores definem o grau de influência que cada elemento possui em relação ao fenômeno. A terceira etapa é a atribuição de pesos aos critérios com o objetivo de definir uma importância ou prioridade que um critério possui em relação aos outros. E a última etapa é definir o método de combinação. Em SIG um método comumente utilizado para combinar os critérios é o chamado Álgebra de Mapas, que sobrepõe mapas a partir de operadores, como adição, subtração, divisão e multiplicação.

Outra tecnologia integrada ao Geoprocessamento bastante utilizada em análise ambiental é o Sensoriamento Remoto.

Segundo Silva, et al. (2011), o Sensoriamento Remoto é uma poderosa ferramenta para aquisição, análise e manipulação de dados geográficos capazes de auxiliar no processo de desenvolvimento e compreensão de estudos ambientais. O Sensoriamento Remoto oferece elementos capazes de subsidiar informações que podem viabilizar o planejamento e a detecção de mudanças ocorridas em determinados cenários (Santos; Santos, 2010).

Florenzano (2007), descreve o sensoriamento remoto como uma técnica que permite obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra sem a necessidade de contato direto. Isso é feito através de sensores que capturam a energia refletida ou emitida pelos alvos, possibilitando a coleta de dados à distância e a análise de aspectos ambientais e geográficos.

Almeida et al. (2014) relatam que a utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto apresentou viabilidade no estudo de áreas susceptíveis ao processo de desertificação, uma vez que permitiu reconhecimento de diferentes estágios da vegetação e uma percepção do solo, sendo importante para tomada de decisão e mitigação dos efeitos da desertificação.

O Sensoriamento Remoto realiza o processamento de informações geográficas por meio do uso conjunto de sensores e equipamentos com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos da superfície terrestre (NOVO, 2010).

Dentre os usos de Sensoriamento Remoto para análises ambientais, podemos destacar os estudos das áreas atingidas pela desertificação, que tem permitido gerar resultados com boa precisão, além da capacidade de uma análise espaço-temporal e do desenvolvimento de modelos para estudos do processo (Almeida, 2014).

3.1 A DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E SUA RELAÇÃO COM O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

Os processos de desertificação vêm sendo inseridos constantemente nos debates sobre a importância de monitoramento e avaliação dos impactos socioambientais. Almeida et al. (2014), destacam a desertificação como um dos mais graves problemas enfrentados pela humanidade, sendo que os danos ambientais gerados afetam de forma direta e indiretamente na qualidade de vida da população.

Patrício, Silva e Ramos (2012) relatam que a erosão do solo na região do Núcleo de desertificação de Gilbués, no Piauí, leva ao assoreamento dos rios, danificando os principais leitos e nascentes, além disso prejudica a agricultura familiar com a perda produtiva da terra devido o empobrecimento dos solos.

Na primeira metade do século XX, os geógrafos já apresentavam contribuições para estudos de degradação do solo em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas. E, ainda, analisavam as características gerais e a extensão de regiões afetadas pelo processo de degradação do solo na América do Sul (Carvalho, 2007). Patrício, Silva e Ramos (2012) mencionam que alguns dos fatores responsáveis pela desertificação são a ação antrópica, topografia irregular, estrutura do solo e o índice pluviométrico.

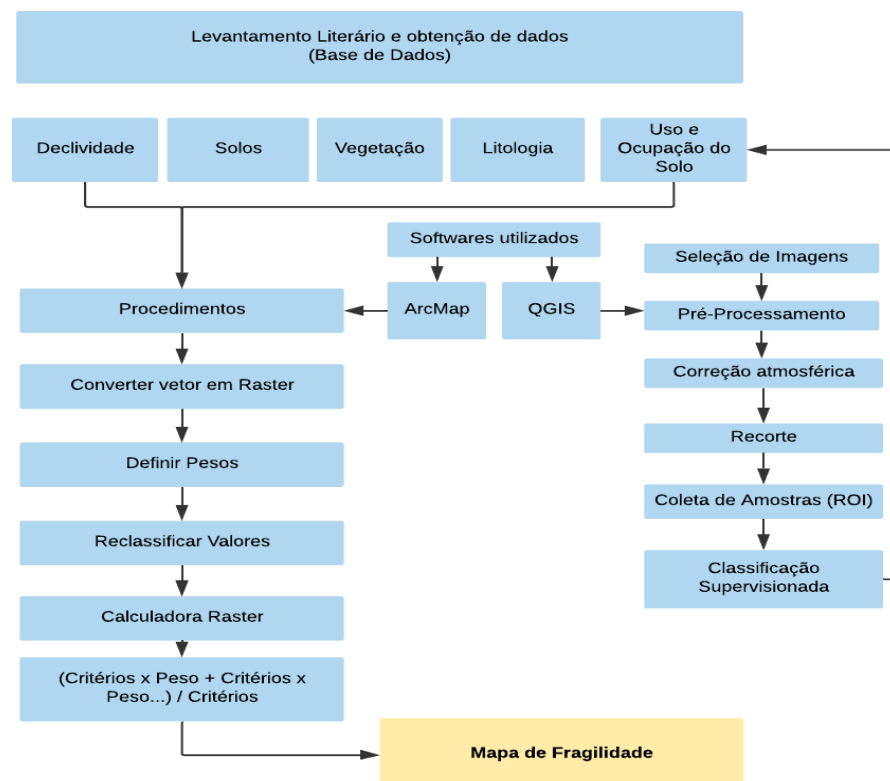
Sousa e Ferreira (2014) diz que o conhecimento do uso e da cobertura do solo é essencial em qualquer projeto de caracterização e monitoramento ambiental, pois pode identificar os diferentes usos de cobertura e uso da terra e subsidiar o planejamento e gestão ambiental. Para Sousa e Ferreira (2014), o mapeamento e o monitoramento do uso da terra e da cobertura vegetal tem sido facilitado através do uso de produtos de sensores remotos.

Silva (2014) ainda diz que fatores como litologia, relevo, clima e locais de maior declividade apresentam altas taxas de perda de solo devido à alta velocidade e volume de enxurradas escoadas pelas vertentes aliado à má distribuição das chuvas e sua intensidade ao longo do ano. Outro fator condicionante a desertificação na região de estudo é a cobertura vegetal e o tipo de solo. Sousa e Rocha (2023) citam que quanto menor a cobertura vegetal, maior o risco de erosão; além disso, o grau de degradação das terras está diretamente relacionado à erodibilidade do solo e à inclinação do terreno.

4 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada em etapas metodológicas integradas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. Essas etapas incluem: definição dos critérios para análise de fragilidade ambiental, seleção e mapeamento dos dados, atribuição de pesos e reclassificação dos mapas de critérios, e aplicação da álgebra de mapas para a obtenção dos níveis de fragilidade ambiental.

Figura 1 - Fluxograma das etapas para obtenção de resultados



Fonte: Autor (2020) – Org.: Autor, 2020

Para esta pesquisa, foram definidos os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 devido à sua relevância em representar as transformações ambientais ao longo do tempo. A seleção dos critérios ambientais considerou aspectos essenciais, como tipo de solo, declividade, litologia, uso e cobertura da terra, e tipo de vegetação. Após a definição desses critérios, realizou-se o levantamento dos dados correspondentes a cada ano analisado.

As precipitações pluviométricas, fundamentais para a compreensão do comportamento sazonal da região, foram analisadas com base em índices de precipitação mensal (mm) que variam de 500 mm a 1.450 mm no sudoeste do Piauí. A Tabela 1 apresenta os critérios selecionados e suas respectivas características.

Tabela 1 - Banco de dados dos produtos cartográficos temáticos da área de estudo.

Produtos cartográficos temáticos	Descrição	Fonte	Resolução Espacial/Escala
Declividade	Dados SRTM para classificação da declividade de acordo com a Embrapa	TOPODATA (2011)	30m
Litologia	Mapas gerados a partir de dados coletados na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais	SGB (2003)	1:1.000.000
Solos	Mapa de Solos do Brasil do projeto Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais	IBGE (2006)	1:5.000.000
Vegetação	Mapas gerados a partir de dados coletados pelo projeto RADAMBRASIL	IBGE (2004)	1:250.000
Índices pluviométricos	Índices pluviométricos mensais dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015	INMET	-
Drenagem	Elaboração a partir de dados SRTM	TOPODATA (2011)	30m
Cobertura da terra	Classificação supervisionada para obtenção de cobertura do solo, através de Imagens de Satélite Landsat 5 e 8 sensor TM e OLI/TIRS	INPE	30m

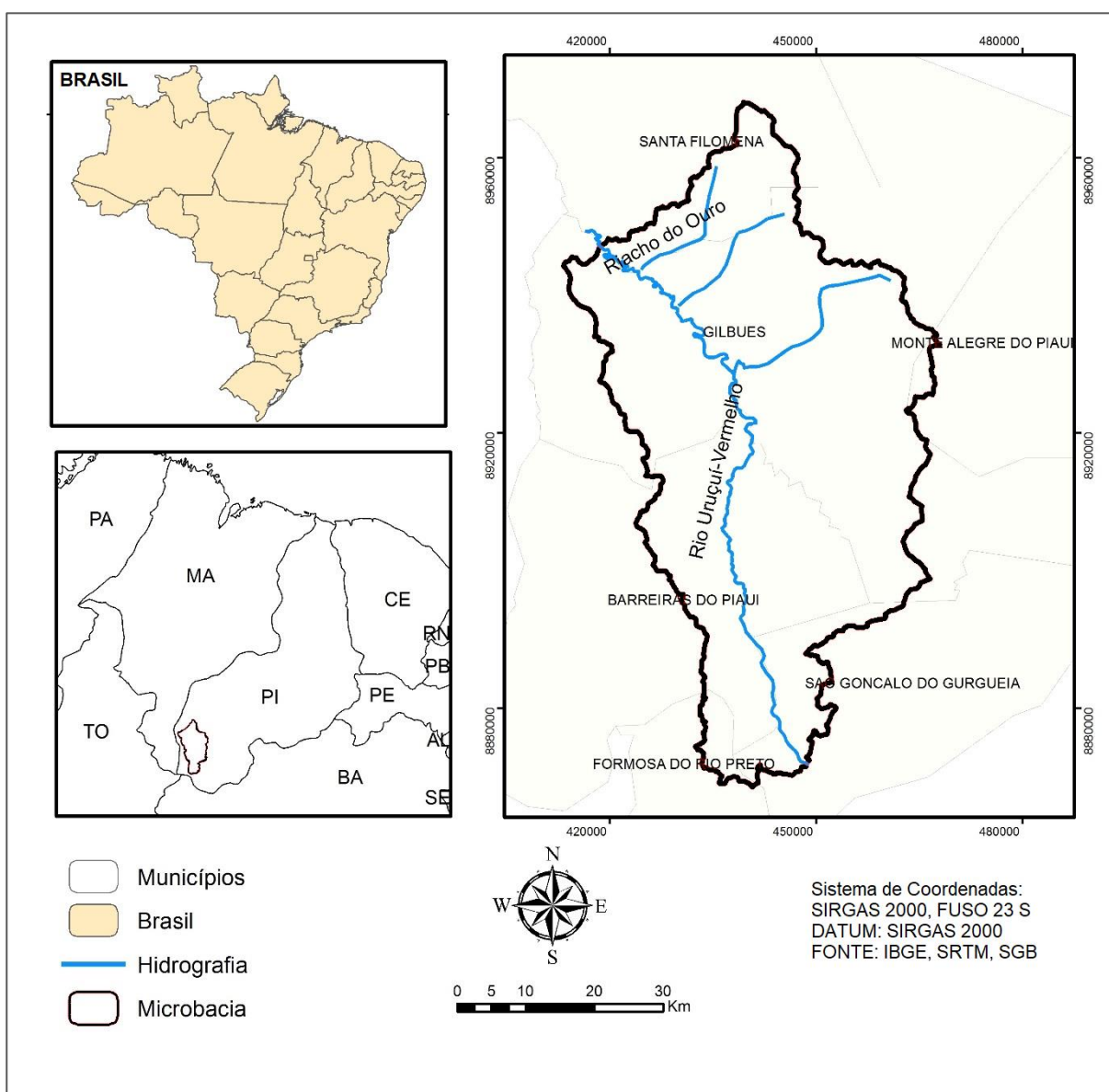
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo trata-se de uma microbacia (Figura 2) do Rio Uruçuí-Vermelho. A região está inserida no Núcleo de Combate à Desertificação de Gilbués, o qual abrange um total de 15 municípios.

A desertificação tem sérios impactos ambientais, como a perda de biodiversidade e a alteração de ecossistemas. Além disso, ela afeta diretamente a economia local, principalmente setores como a agricultura, pecuária e recursos hídricos. Estudar a região ajuda a entender essas interações e buscar alternativas para a recuperação da área e a melhoria das condições de vida das populações locais.

Figura 2 - Mapa de Localização da área de estudo: Bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, localizada na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.

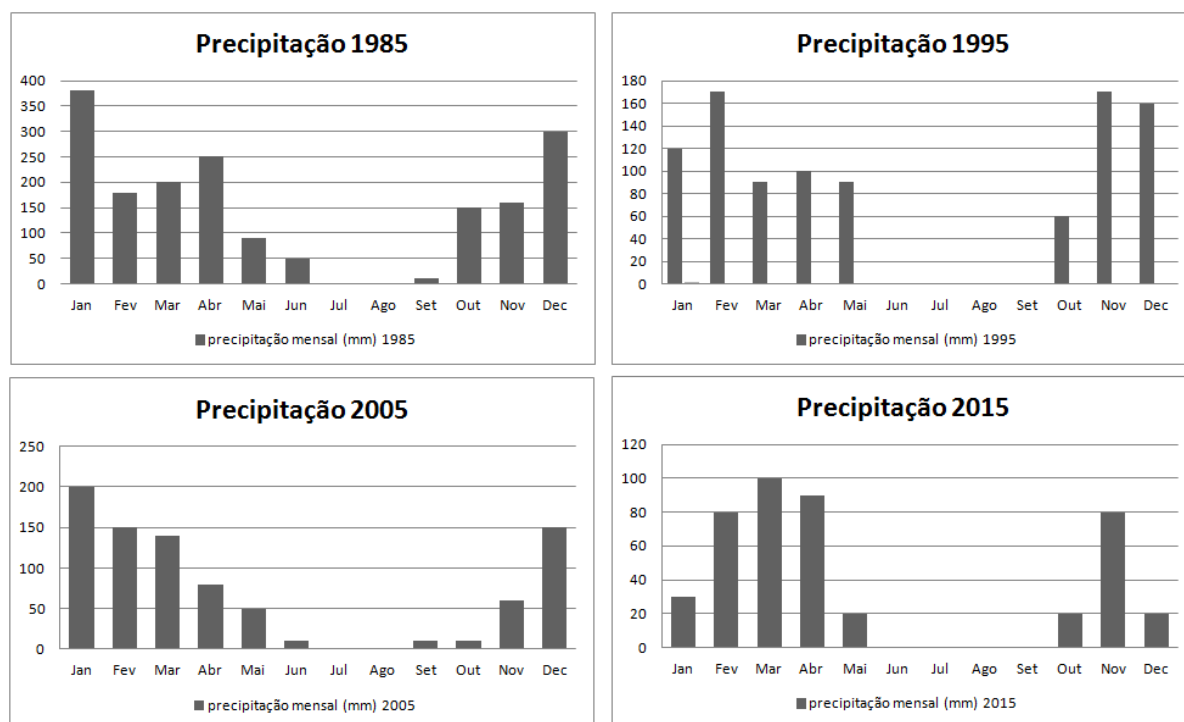


Fonte: IBGE (2010) – Org.: Autor, 2018

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, uma das mais importantes da região Nordeste do Brasil. Apesar da bacia ter vários rios, ela não resolve os problemas de água da região. A região possui escassez hídrica e irregularidade das chuvas, que ocorrem em curtos períodos seguidos por longas secas.

A variabilidade espacial e temporal das precipitações na região é marcada por dois regimes distintos: no sul do estado, a estação chuvosa ocorre de novembro a março, enquanto no centro e norte, inicia-se em dezembro e se estende até maio. Os índices pluviométricos variam de 700 mm.ano-1 a 1.300 mm.ano-1 no sul, de 500 mm.ano-1 a 1.450 mm.ano-1 na região central, e de 800 mm.ano-1 a 1.680 mm.ano-1 no norte do estado (Figura 03).

Figura 3 - Índices pluviométricos mensais dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



Fonte: INMET - Elaboração própria, 2018

4.2 MAPA DE SOLOS

Os solos são um elemento fundamental em estudos de fragilidade ambiental devido ao seu papel essencial em vários processos ecológicos, para a análise em questão foi utilizado o arquivo de Solos do IBGE (2006) em escala 1/5.000.000 e sua classificação seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Embrapa.

4.3 MAPA DE DECLIVIDADE

A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao horizonte e pode ser um condicionador importante para identificar o uso mais adequado para o solo, pois a inclinação do terreno pode influenciar no risco de erosão. Para a declividade da área de estudo, utilizou-se os dados SRTM da TOPODATA. A classificação da declividade de acordo com a Embrapa é dividida com as seguintes classes:

Quadro 1 - Classes de Declividade

Classes	Intervalo de Declividade (%)	Descrição
A	0 - 3%	Planos
B	3 - 8%	Suave Ondulado
C	8 - 20%	Ondulado
D	20 - 45%	Forte-Ondulado
E	45 - 75%	Montanhoso
F	>75%	Forte-Montanhoso

Org.: Autor, 2024

4.4 MAPA LITOLÓGICO

A litologia é fundamental no mapeamento da degradação da terra, pois determina a composição das rochas e sedimentos, influenciando características como qualidade do solo, permeabilidade, drenagem e erosão. Rochas e sedimentos mais permeáveis, como arenitos, podem facilitar a infiltração e reduzir o risco de escoamento superficial e erosão, enquanto rochas mais impermeáveis, como basaltos, podem contribuir para o acúmulo de água e gerar inundações. Em áreas de desertificação, a falta de infiltração associada a chuvas torrenciais, agravam a erosão, contribuindo para a degradação do solo.

Sob o aspecto geológico, o Piauí é dividido em duas grandes províncias, sendo a primeira a grande Bacia Sedimentar do Piauí/Maranhão, formada de rochas sedimentares, ocupando um espaço equivalente a 84% do território piauiense e a segunda província é formada por rochas cristalinas e metamórficas, situadas no contato leste e sudeste do Estado, correspondendo a 16% do espaço geográfico estadual (MMA, 2005).

Ao longo das fronteiras que dividem o estado, encontram-se o Planalto da Ibiapaba e as Chapadas do Araripe, a leste, da Tabatinga e Mangabeira ao sul, onde

encontram-se as maiores altitudes da região, situadas em torno de 900 metros de altitude. Segundo a Silva (2014), entre essas zonas elevadas e o curso dos rios que permeiam o Estado, como, por exemplo, o Gurguéia, Fidalgo, Uruçuí Preto e o Parnaíba, encontram-se formações tabulares, contornadas por escarpas íngremes, resultantes da ação erosiva das águas.

As formas do relevo da região são classificadas em seis tipos: Depressões periféricas, Chapadões do Alto-médio Parnaíba, Planalto Oriental da bacia Maranhão/Piauí, baixos Planaltos do médio-baixo Parnaíba, Tabuleiros pré-Litorâneos e planície costeira (LIMA, 1987).

4.5 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra, optou-se por imagens obtidas no mês de julho, pois não ocorreu presença de chuvas (conforme Figura 3), de modo a reduzir as distorções que poderiam ocorrer devido à presença de nuvens ou precipitações. As imagens de satélite utilizadas para esta análise foram selecionadas no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), as características das imagens, como data, resolução espacial, período e órbita, estão apresentadas no quadro a seguir:

Quadro 2 - Dados das Imagens

Satélite	Órbita/Ponto	Data da Imagem	Resolução Espacial	Período
Landsat 5	220/067	09/07/1985	30 m	seco
Landsat 5	220/067	05/07/1995	30 m	seco
Landsat 5	220/067	16/07/2005	30 m	seco
Landsat 8	220/067	12/07/2015	30 m	seco

Fonte: INPE. Org.: Autor, 2017

As classificações semiautomática ocorreram com as seguintes etapas: pre-processamento, onde realizou-se as correções atmosférica das imagens; o recorte para área de interesse; em seguida foi realizado o processo de combinações de bandas para melhor ressaltar o uso do solo; por último foi realizado a coleta de amostras com no mínimo 10 amostras para cada classe, através do *Region Of Interest Creation* do plugin, em seguida foi aplicada um algoritmo de classificação que utiliza o métodos de estimativa de Máxima Verossimilhança para a classificação. Após a classificação, as imagens geradas foram convertidas para vetores, onde foram

dissolvidas e suas áreas foram quantificadas, através da ferramenta de calculadora de campo, do QGIS 2.18.13, em seguida exportadas para o formato CSV, onde se originou as tabelas com as áreas quantificadas de cada classe.

4.6 MAPA DE VEGETAÇÃO

O Mapa de Vegetação do Brasil reconstitui a situação da vegetação no território brasileiro e tem origem nas cartas-imagens de radar produzidas pelo Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000, e foi obtido do IBGE, 1992. A vegetação predominante na região: Savana Arborizada, Savana Gramíneo-Lenhosa, Savana Florestada.

4.7 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Para gerar o mapa de fragilidade ambiental foram usadas as camadas de Solo, Litologia, Declividade, Vegetação e Cobertura da terra. As classes de fragilidade foram determinadas através de pesquisa literária de outras pesquisas relacionadas, na mesma região de estudo seguindo as pesquisas de França; Piuzana; Ross (2017) e França et al. (2019). Todas as classes foram reclassificadas entre fragilidade baixa a extremamente alta, conforme apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Quadro com as classes de fragilidade atribuídas aos parâmetros Litologia, Vegetação, Declividade do Terreno, Classes de Solos e Uso e Ocupação da Terra.

Classes de Fragilidade	Litologia	Vegetação	Declividade do Terreno	Classe de Solos	Uso e Ocupação e Cobertura da Terra
Baixa	Folhelho, Siltito, Arenito (P12pf)	Savana Arborizada (SA)	Planos	Latossolos Amarelos LA	Ambiente Conservado
			Suave Ondulado		
			Ondulado		
Média	Folhelho, Arenito, Conglomerado, Siltito (K1a)	Savana Florestada (Sd)	Forte Ondulado	Neossolos Quartzarênicos	Moderadamente Conservado
	Arenito, Siltito, Folhelho (C1po)				
	Arenito, Folhelho, Argilito, Siltito (C2pi)				
Alta	Arenito conglomerático, Pelito, Arenito (K2u)	Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	Montanhoso	Luvissolo Crômico	Moderadamente Exposto

Extremamente Alta	Arenito (T12s)	--	Forte Montanhoso	Neossolos Litólico	Solo exposto
-------------------	----------------	----	------------------	--------------------	--------------

Fontes: Litologia: CPRM – Serviço Geológico Brasileiro; Vegetação: IBGE (2012); Solos: IBGE (2011), adaptado de França et al. (2017) e França

As variáveis e suas prioridades foram definidas com base em pesquisas bibliográficas realizadas na mesma região. França et al. (2019) e Vieira, Oliveira e Moura-Fé (2021), utilizam a cobertura do solo como a variável de maior importância, pois, a maneira como o solo é utilizado, seja para pastagem, agricultura ou urbanização, impacta diretamente na fragilidade do solo, a declividade também possui importância no mapeamento, pois, terrenos mais inclinados aumentam o risco de erosão. França et al. (2017) menciona que os solos da área de estudo são predominantemente arenosos, com baixa matéria orgânica e umidade, essas características influenciam a capacidade de retenção de água.

Para a matriz de comparação dos critérios, foi utilizado a plataforma AHP Online Calculator, disponível no domínio: <https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php>, gerando a Tabela 3 e 4.

Tabela 3 - Matriz de comparação par a par para geração dos níveis de importância.

Matriz de Fatores de Importância	Multicritérios				
	Declividade	Solos	Vegetação	Litologia	Cobertura da terra
Declividade	1	1	2	2	0.5
Solos	1	1	2	2	0.5
Vegetação	0.5	0.5	1	1	0.5
Litologia	0.5	0.5	1	1	0.5
Cobertura da terra	2	2	2	2	1

Adaptado de VIEIRA et al. (2021), FRANÇA et al. (2019)

A razão de consistência (RC – Razão de consistência) mede o quão lógico e coerente o tomador de decisão foi ao fazer essas comparações, esta foi gerada a partir da seguinte fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O resultado da Razão de Consistência (CR) foi de ≈ 0.0173 (1.73%), a matriz de consistência é considerada segura quando a Razão de Consistência (CR) $\leq 10\%$ (0,10). SAATY (1987).

Tabela 4 - Pesos das variáveis utilizadas.

Variável	Prioridade %
Cobertura da terra	32,9%
Declividade	21,3%
Solos	21,3%
Vegetação	12,3%
Litologia	12,3%

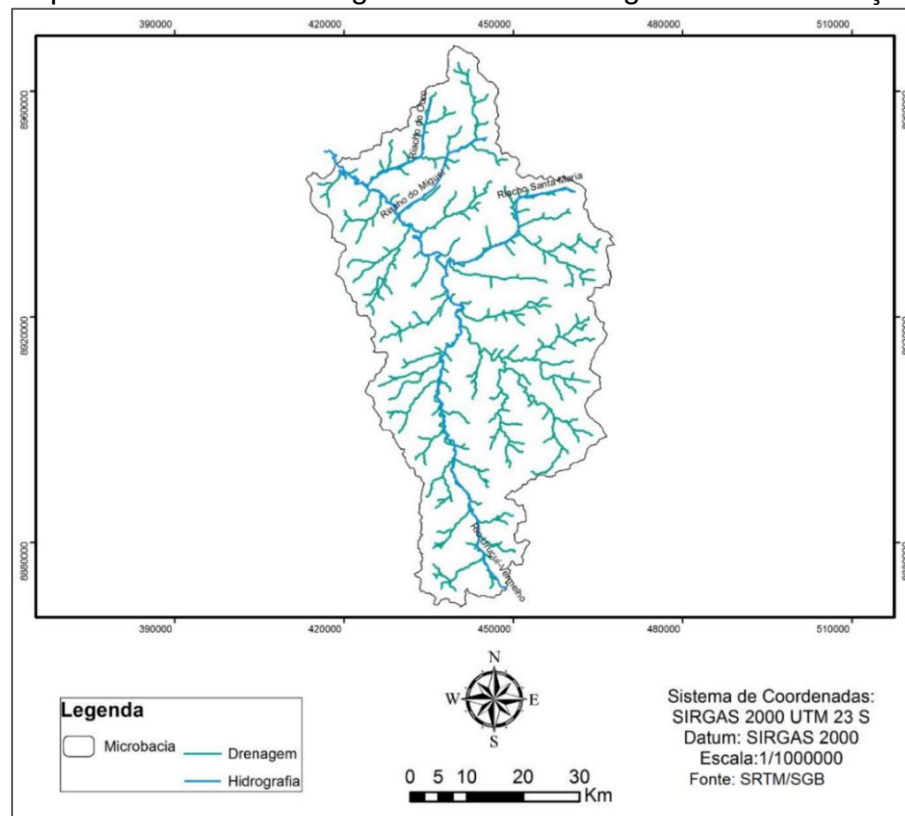
Org.: Autor, 2024

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA

Para a delimitação da Microbacia, foi utilizado as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) SC-23-V-D e SC-23-Y-B, onde inicialmente foi realizado um mosaico da imagem, para em seguida ser realizada a extração da Microbacia a partir das Ferramentas Hydrology de Análise Espaciais do Arctoolbox do software ArcGIS 10.1. Posteriormente a microbacia e drenagem geradas foram convertidas para vetores.

Figura 4 - Mapa de Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho.



Fonte: CPRM e SRTM – Elaboração própria, 2018

5.2 LITOLOGIA

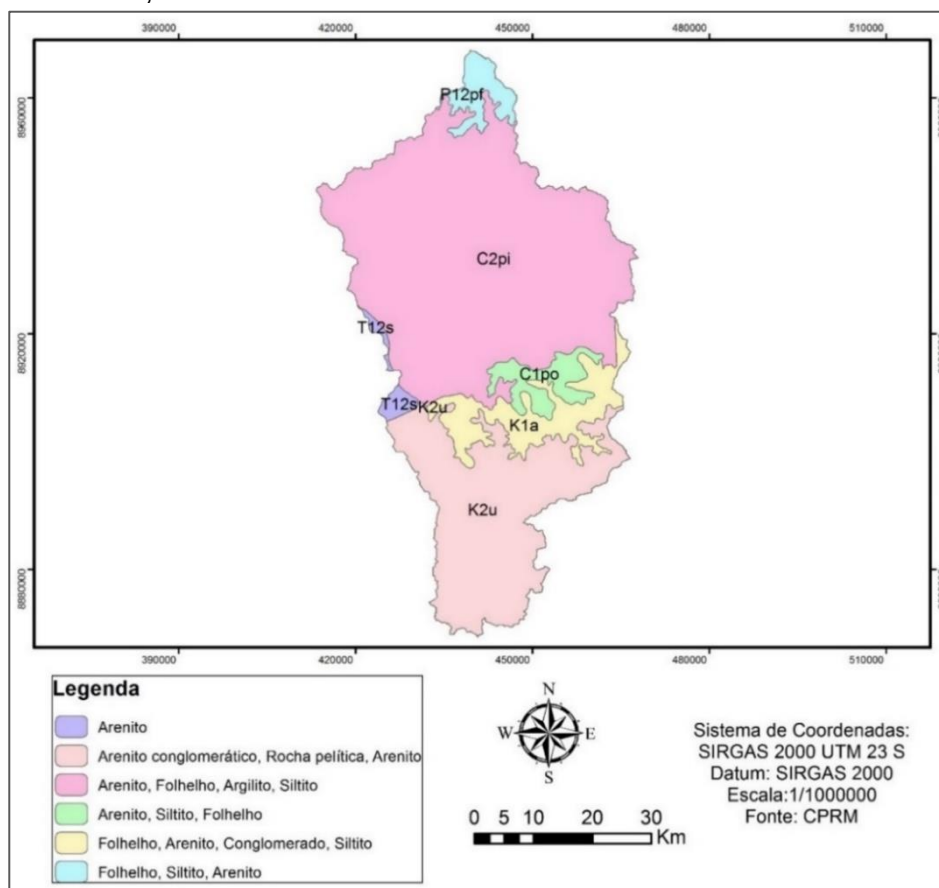
As unidades geológicas que afloram no âmbito das áreas dos municípios que fazem parte deste estudo, pertencem as coberturas sedimentares da Bacia Sedimentar do Parnaíba e suas características estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Litologia da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho

Formações	Características
K2u: Formação Urucua	A qual reúne arenito e conglomerado
K1a: Formação Areado com arenito	Conglomerado e folhelho
T12s: Formação Sambaí	Constituída, predominantemente, por arenitos e com maior área de ocorrência na região
P12pf: Pedra de Fogo	Com folheto, siltito e arenito
C2pi: Formação Piauí	Arenito, folhelho, siltito e calcário e na base da sequência
C1po: Formação Poti	Englobando arenito, folhelho e siltito.

Org.: Autor, 2024

Figura 5 - Litologia da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil.



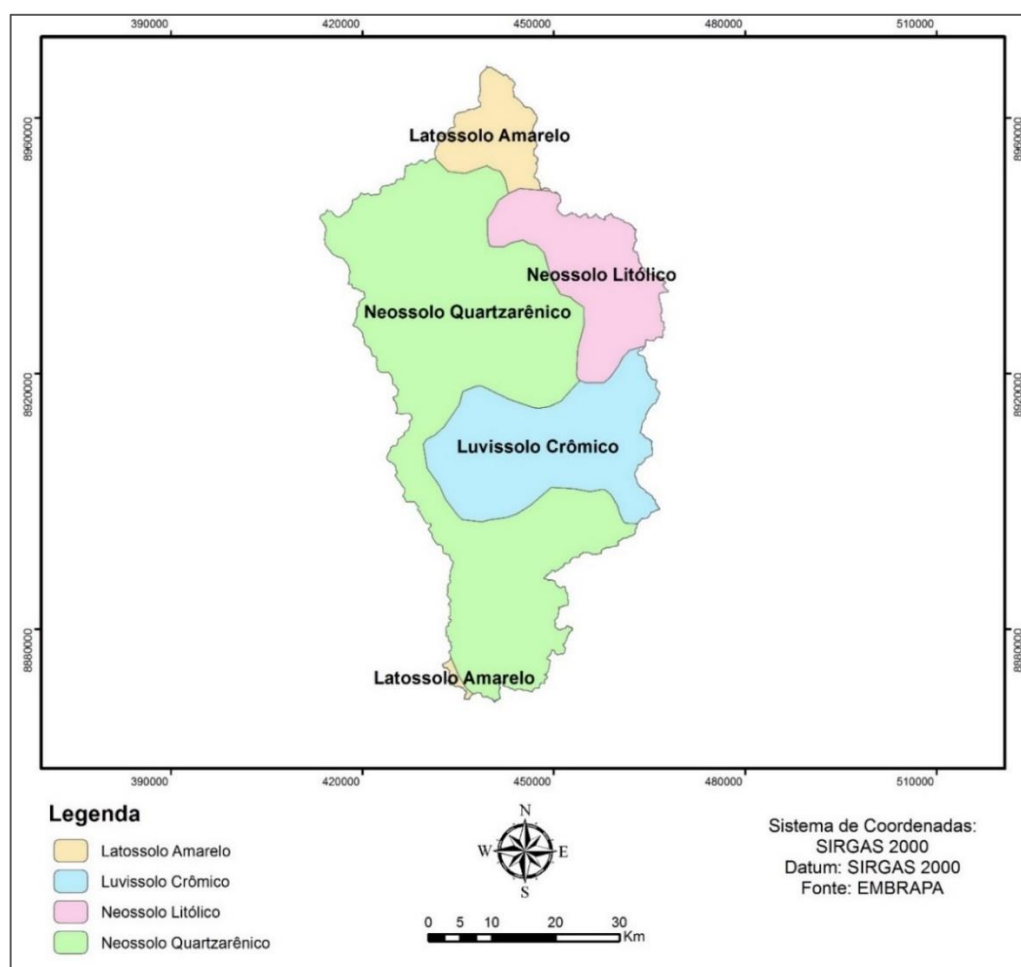
Fonte: Elaboração própria.

5.3 CLASSES DO SOLO

O mapa de solo apresentou quatro classes que são caracterizados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Embrapa para classificar os solos do Brasil:

Os Latossolos são solos altamente intemperizados, profundos, bem drenados, homogêneos e com baixa fertilidade natural. Apresentam grande teor de argila e estrutura granular. Os Luvisolos Crômicos são solos caracterizados por horizonte B textural, com acúmulo de argila em profundidade e alta saturação por bases. Os Neossolos Litólicos são solos rasos, pouco evoluídos, que ocorrem sobre rochas cristalinas, geralmente em áreas montanhosas. Os Neossolos Quartzarênicos são solos muito arenosos, com baixo teor de argila e baixa retenção de água e nutrientes.

Figura 6 – Associações de solos da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil



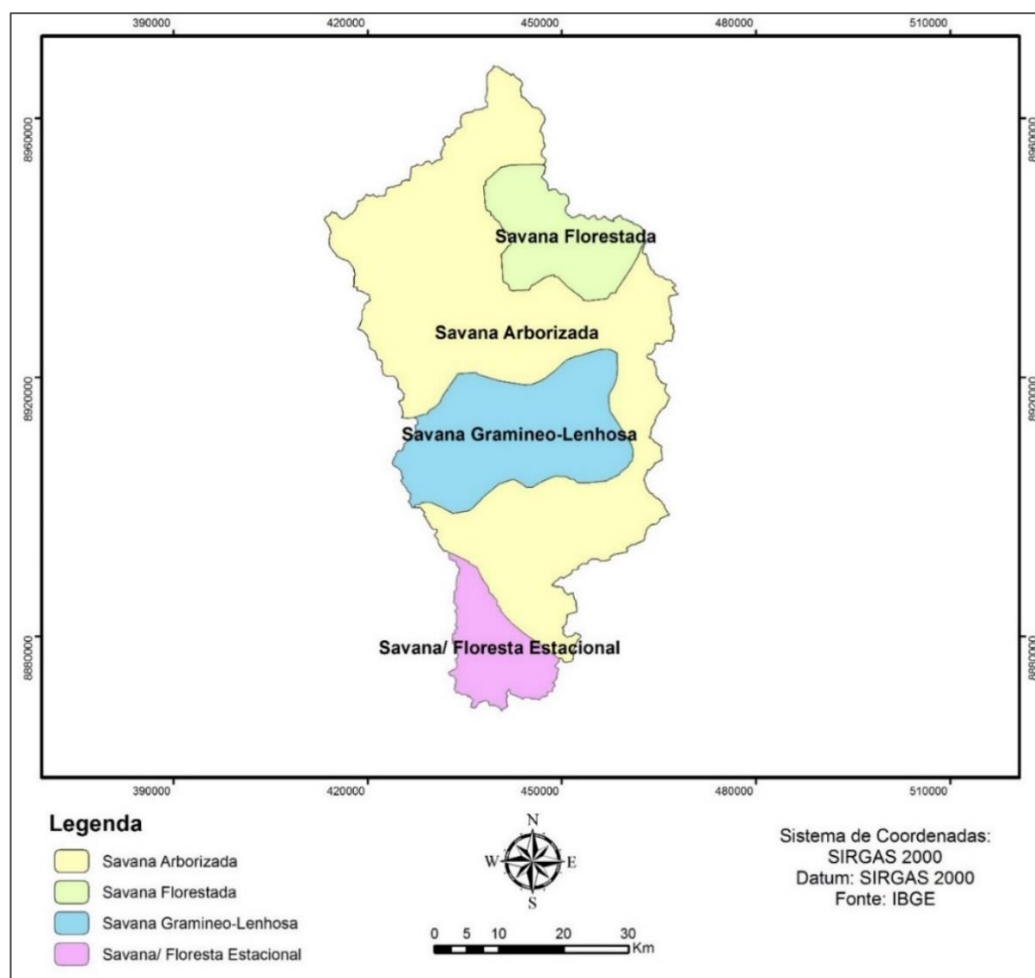
Fonte: Elaboração própria.

5.4 VEGETAÇÃO

A área de estudo está localizada no semiárido do estado do Piauí, onde o bioma predominante é a caatinga, sua vegetação é adaptada a condições de clima árido e semiárido, com longos períodos de seca e chuvas irregulares. A vegetação desempenha um papel crucial na proteção e manutenção do solo, da água e da biodiversidade, ajudando a prevenir a degradação da terra, a ausência ou perda de vegetação podem agravar a este processo.

Os tipos de vegetação presentes no local de estudo são: Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Gramíneo-Lenhosa e Savana Floresta Estacional.

Figura 7 - Vegetação da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil

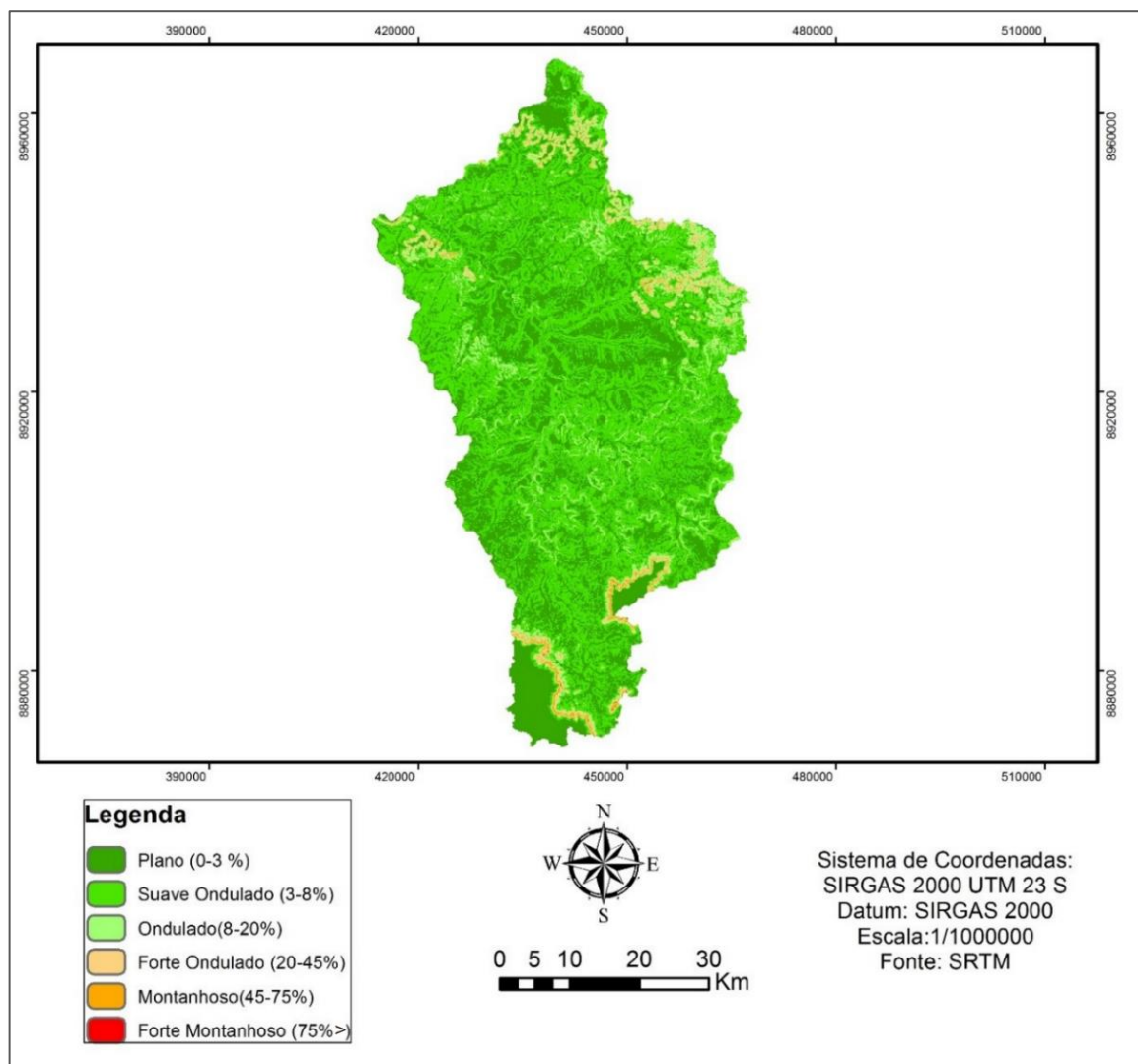


Fonte: Elaboração própria.

5.5 DECLIVIDADE

Na área de estudo houve a presença de áreas planas (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%) e áreas montanhosas (45 – 75%).

Figura 8 -Declividade da bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho, na região sudoeste do estado do Piauí, Brasil



Fonte: Elaboração própria, 2018

5.6 CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA

À área total do local de estudo da pesquisa é 297.728 hectares, a partir da classificação supervisionada, a área foi dividida em seis classes e quantificadas para cada ano de estudo (tabela 5).

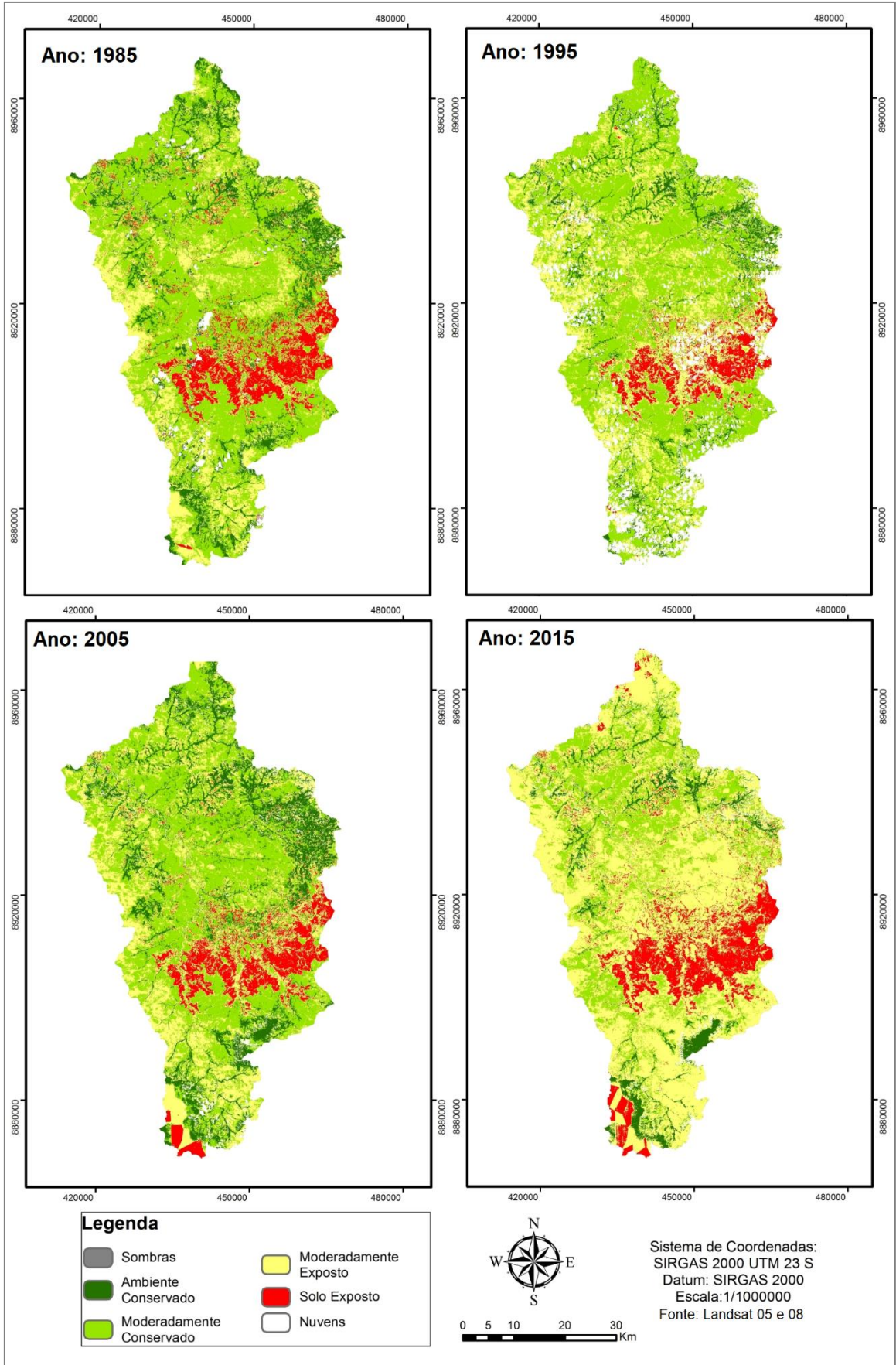
Tabela 5 - Quantificação em hectares das classes de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Vermelho nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.

Classes	1985	1995	2005	2015
Ambiente Conservado	36.173 ha (12%)	18.639 ha (6%)	47.049 ha (16%)	12.478 ha (4%)
Moderadamente Conservado	164.379 ha (55%)	159.602 ha (54%)	138.225 ha (46%)	71.924 ha (24%)
Moderadamente Exposto	68.487 ha (23%)	81.970 ha (28%)	85.474 ha (29%)	177.798 ha (60%)
Solo Exposto	24.742 ha (8%)	15.333 ha (5%)	24.521 ha (8%)	29.785 ha (10%)
Sombras	1.762 ha (1%)	14.909 ha (5%)	1.849 ha (1%)	5.567 ha (2%)
Nuvens	2.183 ha (1%)	7.272 ha (2%)	608 ha 0%	173 ha 0%

Fonte: Landsat 5 e 8 (INPE) - Elaboração própria, 2018

Os valores apresentados na Tabela 05, demonstraram uma diminuição do ambiente conservado em comparação com os anos de 1985 e 2015 que passou de. A classe de Solo Exposto obteve em 2015 um aumento de 2% quando comparado os valores de 1985 e a classe Moderadamente Exposto obteve um aumento de 37% a mais, quando comparado ao ano de 1985, confirmando que a área está sofrendo mudanças de paisagem e solo.

Figura 9 – Mapas de Cobertura da terra para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



Fonte: Landsat 5 (INPE) - Elaboração própria, 2018

Os resultados apresentados para o ano de 1985 (Figura 09), ocorreu a presença de 1% de nuvens e 1% de sombras presentes nas regiões identificadas como solo moderadamente conservado e ambiente conservado. As áreas identificadas como solo exposto, já apresentavam uma considerável e significativa área com 8% da área total do estudo, o que remete que o processo de erosão do solo na região, acontece desde antes do ano de 1985. Entretanto, verifica-se também que a área com maior percentual foi a classe de solo moderadamente conservado com 55% do valor total.

Para o ano de 1995 (Figura 09), identificou-se que o ambiente moderadamente conservado se manteve em valores próximos aos resultados de 1985, também apresentou um pequeno aumento no ambiente moderadamente exposto. Contudo, ocorreu uma diminuição da presença de solo exposto em relação a década anterior, podendo ter sido influenciado por outros fatores ao longo de uma década para a outra. Além disso ocorreu a presença de 5% de sombras e 2% de nuvens, podendo interferir nos resultados da classe de Solo Exposto, além disso os valores dessa classe mantêm-se próximos nos anos de 1985, 2005 e 2015.

Os resultados apresentados para o ano de 2005, mostraram que ocorreu uma perda de 8 % de ambiente Moderadamente Conservado, quando comparado com o ano de 1995, além disso a classe Moderadamente Exposto obteve um aumento de 1% e Solo Exposto obteve resultados próximos ao do primeiro ano da pesquisa.

A Classificação Supervisionada apresentou para o ano de 2015 os maiores valores para área denominadas como Moderadamente Exposto (60%) e Solo Exposto (10%), apresentando também os menores valores para a Classe de Ambiente Conservado (4%), concluindo assim que o processo de degradação do solo vem tomando grandes dimensões na região em um curto espaço de tempo.

5.7 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A Análise Multicritério apresentou os resultados que variaram entre 0 e 1, para a Fragilidade do Solo, onde foram classificados com intervalos, Baixa entre 0,20 a 0,35; Média 0,36 a 0,45; Alta 0,46 a 0,55; Extremamente Alta > 0,55, respectivamente apresentando áreas com menor à maior nível de suscetibilidade a erosão do solo.

Os resultados apresentaram uma maior fragilidade nas áreas onde o solo predominante é o Luvisolo Crômico, vegetação Savana Gramíneo-Lenhosa e Solo Exposto apresentados na Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança, as áreas apresentadas como baixa vulnerabilidade, apresentaram ambiente conservado e moderadamente conversado nas classificações, a vegetação predominante dessa região é Savana Arborizada e solos Neossolo Quartzarênico.

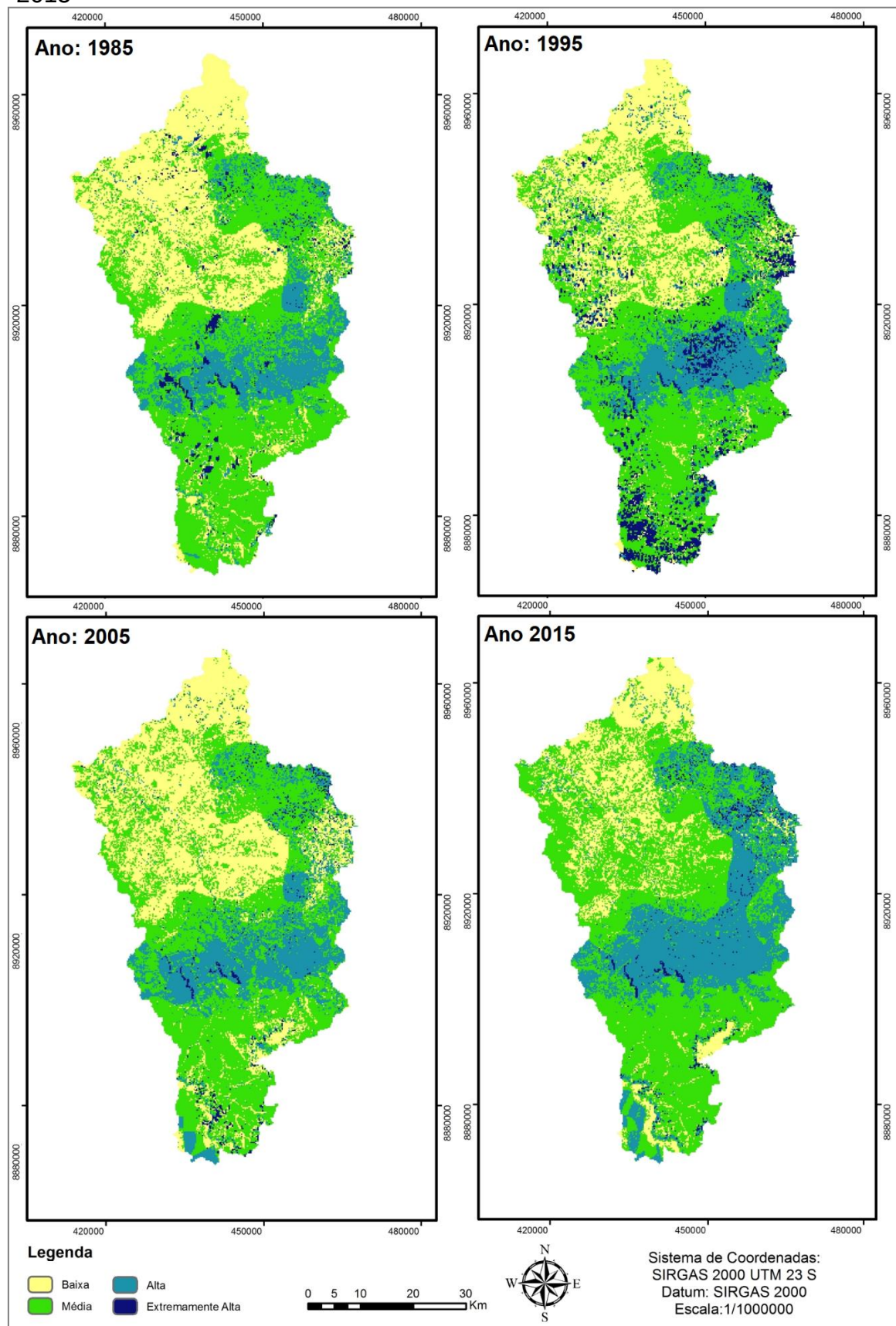
Os dados quantificados da fragilidade do solo apresentaram uma diminuição da área classificada com baixa fragilidade e aumento de áreas denominadas como Extremamente Alta (Fragilidade). Para os anos de 1985, 1995 e 2005 apresentou resultados próximos em se tratando da Classe Alta (Fragilidade), e áreas com Média (Fragilidade) mantiveram-se com valores próximos, podendo ser observados nos mapas geradas, e na Tabela 06.

Tabela 6 - Quantitativa em percentual dos resultados apresentados no mapa de fragilidade do solo para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 respectivamente

Classes	1985	1995	2005	2015
Baixa	41 %	34%	40%	20%
Média	41%	41%	41%	38%
Alta	16%	16%	17%	33%
Extremamente Alta	2%	8%	2%	9%

Fonte: Autor 2020

Figura 10 - Mapas de Fragilidade do Solo para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



Elaboração própria, 2020

O mapa de fragilidade do solo para o ano de 1985 revelou valores semelhantes nas classes de Baixa (41%) e Média (41%), com uma distribuição bem equilibrada ao longo da área de estudo. As classes de Alta (16%) e Extremamente Alta (2%) apresentaram percentuais menores em comparação com as outras classes, porém, destacaram-se nas regiões com maior ocorrência de Solo Exposto, evidenciando a vulnerabilidade dessas áreas.

Em 1995, observou-se uma redução na área de Baixa Vulnerabilidade (34%), enquanto os percentuais de Média Fragilidade (41%) e Alta Fragilidade (16%) permaneceram constantes em relação a 1985. No entanto, houve um aumento na área de Extremamente Alta Fragilidade, que passou de 2% para 8%.

Para o ano de 2005, a microbacia mostrou uma distribuição similar à de 1985, com 40% de Baixa Vulnerabilidade e uma diminuição para 2% de área classificada como Extremamente Alta Fragilidade. A região com Alta Vulnerabilidade (17%) continuou concentrada na área central da microbacia, onde se observou o maior percentual de Solo Exposto.

Os resultados de 2015 mostraram uma redução para 20% na área classificada como Baixa Fragilidade e 38% na classe Média. A área de Alta Fragilidade aumentou significativamente, alcançando 33%, o dobro dos valores registrados nos anos anteriores (máximo de 17%). A área de Extremamente Alta Fragilidade também apresentou crescimento, atingindo 9% em 2015.

Embora as classificações e análise multicritério não tenham seguido sempre os mesmos resultados, fica evidente que em algumas regiões da área de estudo, apresenta uma grande mancha de solo exposto, principalmente a região central da microbacia, coincidindo com as áreas com fragilidade Alta e Extremamente Alta.

França; Piuzana; Ross (2017) relata que estudo realizado por Santos et al. (2013) em Gilbués, um dos municípios situados no local de estudo, concluíram que as perdas de solo, o potencial natural de erosão e o risco de erosão apresentaram relação espacial com o fator topográfico, comprovando a dependência dos fatores de erosão ao relevo.

Para Lopes e Soares (2016) as principais causas do processo de degradação do solo vinculam-se à geologia local, uma vez que as litologias (siltitos, arenitos e

conglomerados) das bacias sedimentares fanerozoicas do Parnaíba e do São Francisco são vulneráveis à erosão.

Além disso, a dinâmica dos processos erosivos é condicionada ao aspecto climático, devido aos efeitos da erosão eólica e hídrica acarretando na remoção dos horizontes A e B dos solos no período seco que vai de maio a outubro e devido ao elevado e concentrado índice pluviométrico, em torno de 1.200mm anuais de dezembro a março respectivamente (CONTI, 2014; SILVA, 2014).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar as classificações de 1985 e 2015, observa-se a diminuição de áreas de ambiente conservado e moderadamente conservado. Percebeu-se que nos locais onde apresentam solo do tipo Luvisolo Crômico, estão propensos a uma maior degradação, devido a fragilidade deste tipo de solo, fato comprovado também pela classificação realizada, onde apresentaram as classes do tipo solo exposto e moderadamente exposto nos locais que apresentam o Luvisolo Crômico.

Quando comparado os resultados obtidos nas classificações e fragilidade do solo observou-se que a região Classificada como Solo Exposto e Alta fragilidade, possuíram valores semelhantes, evidenciando que a região precisa de uma atenção maior. Esses resultados obtidos permitem realizar uma série de análises referentes à metodologia empregada: é essencial realizar um estudo preliminar sobre as características de cada variável considerada para verificação de quais têm mais importância na susceptibilidade da área.

Diante do exposto fica explícito a necessidade da implantação de algumas medidas mitigadoras tais como, o replantio de espécies nativas, técnicas de Sensoriamento Remoto na identificação da vegetação, solo e águas superficiais além do controle e monitoramento ambiental, introduzir capim, cana ou algodão, entre outras culturas, para aumentar a matéria orgânica do solo, revegetar as áreas, sendo um fato essencial para a recuperação da capacidade de retenção hídrica, utilizar trator de esteira para remodelar a topografia no sentido de reduzir ou impedir o processo de erosão à montante do núcleo.

A validação dos resultados da análise multicritério, especialmente em escalas grandes, pode ser difícil. Isso ocorre porque muitas vezes é complicado comparar os

resultados com a realidade, especialmente quando se lida com dados de difícil verificação ou quando os resultados dependem de um número grande de suposições. Essas limitações não significam que a análise multicritério e o geoprocessamento sejam ineficazes, mas destacam a necessidade de planejamento cuidadoso, escolha adequada de dados e metodologias robustas para minimizar as falhas

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B. et al. O sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da desertificação na região do semiárido do norte de Minas Gerais. **Rev. Bras. Geom.**, v.2, n. 2, p.31-39, jul/dez. 2014 Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5450/3390>: Acesso em: 20 de julho de 2017.
- AQUINO, C.M.S. et al. Análise da Desertificação do Núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí. **Revista Brasileira de Cartografia** (2012) N 64/3: 288. 2012. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/7829/10646>. Acesso em: 08 de dezembro de 2017.
- CARVALHO, C. M. **Avaliação da desertificação no sudoeste do estado do Piauí, através de técnicas de sensoriamento remoto**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <https://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.25.14.23/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2017.
- CONTI, L. A. A. Dinâmica dos processos erosivos no semiárido brasileiro: uma análise integrada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3156–3172, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3156-3172>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2007.
- FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental potencial e emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios**, v. 38, n. 31, p. 21, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n31/a17v38n31p21.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2018.
- FRANÇA, L. C; MUCIDA, D. P; CATUZZO, H; ABEGÃO, J. L. R; MORAIS, M. S; PEREIRA, I. M. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. **Pesquisas Agrárias e Ambientais, Sinop**, v. 7, n. 5, p. 589-599, set./out. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>. Disponível em: <http://www.ufmt.br/nativa>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistematização das informações sobre recursos naturais: Mapa de solos do Brasil – 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- LIMA, I. M. M. F. Relevo do Piauí: uma proposta de classificação. **Carta Cepro, Teresina**, v. 12, n. 2, p. 55–84, ago./dez. 1987. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308696661_RELEVO_PIAUIENSE_uma_proposta_de_classificacao. Acesso em: 03 ago. 2018.

LOPES, H. L. **Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco à desertificação**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3372>. Acesso em: 12 jul. 2018.

LOPES, L. S.; SOARES, R. C. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 315–326, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4517/451746028013/>. Acesso em: 27 set. 2019.

LOPES, L. S. O.; SANTOS, R. W. P.; MIGUEL F., M. A. Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções. **Geografia (Londrina)**, v. 20, n. 2, p. 53-66, maio/ago. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2011v20n2p53>. Acesso em: 20 set. 2018.

MARÍN, A. M. P.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleo de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica. **Parc. Estrat.**, Brasília, v. 17, n. 34, p. 93, jan./jun. 2012. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/handle/123456789/2561>. Acesso em: 10 set. 2024.

MARÍN, A. M. P; FORENO, L. F. U. Desertificação. In: **Dicionário de Agroecologia e Educação**. Rio de Janeiro e São Paulo: Editora Expressão Popular, 2021. p. 295. Disponível em: <https://www.epsjv.fiocruz.br/publicacao/livro/dicionario-de-agroecologia-e-educacao>. Acesso em: 10 set. 2018.

Ministério do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2005. **Panorama da Desertificação no estado do Piauí. Teresina - Piauí**. 2005. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/panorama_piaui.pdf. Acesso em: 20 nov. 2018.

MIRANDA, R. B; GOMEDE, E. Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso. **Journal of Computer Science & Technology**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 123-131, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270899069_Utilizando_o_Metodo_Analytic_Hierarchy_Process_AHP_para_Priorizacao_de_Servicos_de_TI_Um_Estudo_de_Caso. Acesso em: 29 nov. 2018.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, abril de 2007. p. 2899-2906. Disponível em: <http://www.sbsr.org.br/sbsr2007/anais/p2899.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2019.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**, p28 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. Disponível em: <https://www.blucher.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2019.

OLAYA, Víctor. **Sistemas de Información Geográfica**. Disponível em: <https://volaya.github.io/libro-sig>. Acesso em: 15 fev. 2025.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; RAMOS, A. R. D. GILBUÉS - Núcleo de Desertificação do Piauí. Caracterização física, variabilidade climática e impactos ambientais. **Polêmica**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 470-482, jun./set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/polemica.2012.3738>. Acesso em: 10 set. 2020.

ROY, Bernard. **Multicriteria methodology for decision aiding**. *Dordrecht: Kluwer Academic Publishers*, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-2500-1>. Acesso em: 05 abr. 2018.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1987. Disponível em: <https://archive.org/details/analytichierarch0000saat>. Acesso em: 09 fev. 2025.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da UNIESP – Saber Acadêmico**, n. 10, dez. 2010. p. 57–67. ISSN 1980-5950. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20180403121158.pdf. Acesso em: 24 nov. 2019.

SILVA, A. K. O.; SILVA, H. P. B. O processo de desertificação e seus impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó – Pernambuco – Brasil. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP** – Macapá, v. 8, n. 1, p. 203-215, jan.-jun. 2015. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/pracs/article/view/1315>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SILVA, I. A. de S. **Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos**. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, IESA, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/3036>. Acesso em: 19 out. 2020.

SILVA, J. F. Erosão e degradação dos solos no semiárido piauiense: uma abordagem integrada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3156–3172, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3156-3172>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SILVA, H. P. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas sob risco de desertificação no estado de Pernambuco. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011. INPE, p. 9144. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1229.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.

SILVA, V. C. B. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**,

Recife, v. 31, n. 2, 2014. Disponível em:
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229090>.
Acesso em: 2 fev. 2018.

SOUSA, S. B; FERREIRA, L. G. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia, Monte Carmelo**, v. 66, n. 2, p. 321–336, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.bc.ufg.br/items/2068380f-abf8-4384-8218-83042fb6210f>. Acesso em: 21 jun. 2018.

SOUSA, R. S; ROCHA, M. S. Erodibilidade do solo (K) e uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Camurupim, Piauí, Brasil. **Geoconexões**, Natal, v. 3, n. 17, p. 159–182, 2023. Disponível em:
<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/14996>. Acesso em: 28 abr. 2024.

UNCCD. **Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação**. Adotada em 1994. Disponível em: <https://www.unccd.int>. Acesso em: 8 dez. 2024.

VIEIRA, L. M. T.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3156–3172, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3156-3172>. Acesso em: 22 jan. 2022.