



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CLEUDINÉIA SANTOS DOMINGOS RUIZ

**VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO CÓRREGO MUTUM, BONITO – MS**

AQUIDAUANA/MS

2025

CLEUDINÉIA SANTOS DOMINGOS RUIZ

**VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DO SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MUTUM, BONITO – MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Mestrado em Geografia do Campus de Aquidauana da Universidade Federal do Mato grosso do Sul (UFMS), como exigência final para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob orientação do professor Drº. Emerson Figueiredo Leite.

AQUIDAUANA/MS

2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

CLEUDINÉIA SANTOS DOMINGOS RUIZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Mestrado em Geografia do Campus de Aquidauana da Universidade Federal do Mato grosso do Sul (UFMS), como exigência final para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob orientação do professor Drº. Emerson Figueiredo Leite.

Resultado: _____

Aquidauana, 05 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Drº. Emerson Figueiredo Leite
UFMS/CPAQ

Componente da Banca: Prof. Drº. Charlei Aparecido da Silva
Examinador externo: PPGGEO-UFMS

Componente da Banca: Prof. Drº. Fernando Rodrigo Farias
Examinador interno: UFMS/CPAQ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua presença constante em minha vida, pela oportunidade desse Mestrado e por toda orientação e cuidado durante esse processo.

Agradeço a minha família, meus pais Amarildo de Faria Domingos e Creusa Ap^a dos Santos Domingos, meu companheiro João Bezerra da Silva e aos meus filhos Matheus Felipe D. Ruiz e Lucas Antônio D. Ruiz pelo incentivo, apoio e compreensão.

Aos amigos de laboratório, Luiz Felipe Oviedo das Neves, Denilson Rocha dos Santos, Rafael de Souza Vieira que conheci nesse período, a prof^a Elisangela Martins de Carvalho, e em especial a minha amiga Aline Vargas de Moraes por todo apoio e incentivo.

Agradeço aos professores do programa de mestrado, especialmente ao meu orientador prof^o Dr^o. Emerson Figueiredo Leite pelo apoio, paciência, ensinamentos e dedicação. Serei eternamente grata por tudo.

Agradeço a disposição e participação dos professores que compõe a banca de qualificação e defesa deste trabalho, contribuindo com o enriquecimento da pesquisa.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha gratidão pela concessão da bolsa de estudo.

Gratidão por ter todos vocês ao meu lado!

RESUMO

Este trabalho apresenta a vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum, localizada no município de Bonito/MS, com área total de 358 km². Para a análise aplicou-se a metodologia de Vulnerabilidade natural à Perda do Solo, proposta por Crepani et al. (2001), a fim de avaliar a vulnerabilidade potencial (Vp), integrando as características naturais das Unidades Territoriais Básicas -UTBs (geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação pretérita) e, vulnerabilidade emergencial (Ve), considerando os impactos decorrentes pelo uso da terra. A vulnerabilidade potencial indicou que a área possui proteção natural à perda do solo, totalizando em 25,8% da área com vulnerabilidade Estável; 69,4% moderadamente estável e 4,8% Medianamente Estável/Vulnerável. A partir da integração entre vulnerabilidade potencial (Vp) e o uso da terra (1984; 1994; 2004; 2014; 2024) obteve-se a vulnerabilidade emergencial (Ve). Os mapas de uso e ocupação da terra foram gerados a partir de imagens de satélite, processadas por meio das geotecnologias no software QGIS 3.22. Os resultados apresentaram alterações significativas nos últimos anos, as classes Moderadamente Vulnerável ocuparam o maior percentual de área até 2014, indicando uma condição de fragilidade intermediária na BHCM. Em 2024, com o desenvolvimento da agricultura, ocorreu uma inversão na classe de uso da terra (de pastagem para mosaico de culturas) intensificando a fragilidade da área e elevando o grau de Vulnerabilidade para Vulnerável. A área central apresentou vulnerabilidade moderadamente vulnerável, pelas suas características de estabilidade potencial, conferindo maior resistência às pressões antrópicas. As áreas mais suscetíveis, associadas à expansão agrícola, demandam práticas de manejo sustentável para minimizar os impactos ambientais e assegurar a conservação do solo.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Potencial. Vulnerabilidade Emergencial. Geotecnologias.

ABSTRACT

This work presents the vulnerability of the Mutum Stream Watershed, located in the municipality of Bonito/MS, with a total area of 358 km². For the analysis, the methodology of Natural Vulnerability to Soil Loss, proposed by Crepani et al. (2001), was applied in order to assess the potential vulnerability (Vp), integrating the natural characteristics of the Basic Territorial Units – UTBs (geology, geomorphology, soils, climate, and past vegetation), and emergencial vulnerability (Ve), considering the impacts resulting from land use. The potential vulnerability indicated that the area has natural protection against soil loss, totaling 25.8% of the area with Stable vulnerability; 69.4% Moderately Stable and 4.8% Medianly Stable/Vulnerable. From the integration between potential vulnerability (Vp) and land use (1984, 1994, 2004, 2014, 2024), the emergencial vulnerability (Ve) was obtained. The land use and occupation maps were generated from satellite images, processed through geotechnologies in QGIS 3.22 software. The results showed significant changes in recent years, with the Moderately Vulnerable classes occupying the largest percentage of the area until 2014, indicating an intermediate fragility condition in the Mutum Stream Watershed. In 2024, with the development of agriculture, an inversion occurred in the land use class (from pasture to crop mosaics), intensifying the fragility of the area and raising the degree of Vulnerability to Vulnerable. The central area presented moderately vulnerable vulnerability, due to its potential stability characteristics, providing greater resistance to anthropic pressures. The most susceptible areas, associated with agricultural expansion, demand sustainable management practices to minimize environmental impacts and ensure soil conservation.

Keywords: Potential Vulnerability. Emergencial Vulnerability. Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da bacia hidrografica do córrego Mutum.....	12
Figura 2 - Fluxograma de delimitação da bacia hidrografica do córrego Mutum.....	35
Figura 3 - Fluxograma Metodológico.....	37
Figura 4 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Basicas	38
Figura 5 -Escala de Vulnerabilidade para Geologia	40
Figura 6 - Fluxograma Metodológico de Índice de Concentração da Rugosidade	43
Figura 7 - Fluxograma de Classificação das Imagens de Satélite	48
Figura 8 - Vulnerabilidade da Geologia da BHCM.	51
Figura 9 - Afloramento de Filito na Br 178.....	54
Figura 10 - Fatores para ponderar a Vulnerabilidade da Geomorfologia..	55
Figura 11 - Rugosidade e inclinação do terreno	56
Figura 12 - Vulnerabilidade da Geomorfologia da BHCM.	57
Figura 13 - Vulnerabilidade dos solos da BHCM.....	58
Figura 14 - Latossolos vermelho.	59
Figura 15 – Plintossolo Argiluvico	61
Figura 16 - Vulnerabilidade do Clima da BHCM.....	62
Figura 17 - Vulnerabilidade da Vegetação Pretérta da BHCM.....	64
Figura 18 - Fragmento de Vegetação Pretérta (Savana Florestada) Br-382.	65
Figura 19 - Vulnerabilidade Potencial da BHCM.....	66
Figura 20 - Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 1984.....	68
Figura 21 -Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 1994.....	70
Figura 22 - Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2004.....	72
Figura 23 - Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2014.....	73
Figura 24 - Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2024.....	75
Figura 25 - Fragmento de Vegetação Pretérta (Savana Florestada)	76
Figura 26 - Fragmento da Vegetação Pretérta (Área de Vereda)	76
Figura 27 - Área de Pastagem.....	77
Figura 28 – Cultivo de soja; Cultivo de sorgo; Preparação do solo.	78
Figura 29 - Gráfico de Uso e cobertura da terra da BHCM (1984 – 2024).....	79
Figura 30 - Gráfico de Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 - 2024)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Avaliação da Estabilidade/Vulnerabilidade e grau atribuído.....	38
Tabela 2 - Características de análise da estabilidade e vulnerabilidade das UTBs.	39
Tabela 3 - Classes de declividade para escala de vulnerabilidade.....	41
Tabela 4 - Características analisada na avaliação da vulnerabilidade do ICR.....	42
Tabela 5 - Características analisada na vulnerabilidade do Solo.....	44
Tabela 6 - Categoria ofodinâmica da vegetação	44
Tabela 7 - Valores de Vulnerabilidade para Intensidade Pluviométrica.	46
Tabela 8 - Classes geológicas e vulnerabilidade para litologia.	51
Tabela 9 - Área ocupada pela declividade e do ICR.....	55
Tabela 10 - Área ocupada pelo grau de Vulnerabilidade	58
Tabela 11 - Área ocupada pelo solo e grau de vulnerabilidade	60
Tabela 12 - Intensidade pluviométrica e Vulnerabilidade do Clima.....	63
Tabela 13 - Classes e valores de vulnerabilidade aplicada a vegetação Pretérta.....	65
Tabela 14 - Vulnerabilidade Potencial das UTBs.	67
Tabela 15 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 1984.....	69
Tabela 16 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 1994.	71
Tabela 17 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2004.	72
Tabela 18 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2014.	74
Tabela 19 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2024.	77
Tabela 20 - Área das Classes de Uso e Cobertura da Terra de 1984 a 2024.	79
Tabela 21 - Área da Vulnerabilidade Emergencial da BHCM de 1984 a 2024.	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 INTERPRETAÇÃO DA PAISAGEM E DA VULNERABILIDADE.	15
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE DA PAISAGEM.	21
3.2.1 Bacia hidrográfica: Conceitos	21
3.2.2 Importância da Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise da Paisagem	23
3.3 GEOTECNOLOGIAS COMO RECURSOS DE ANÁLISE.	26
4 MÉTODOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS.	33
4.1 ÁREA DE ESTUDO	34
4.2 VULNERABILIDADE NATURAL A PERDA DE SOLO	36
4.2.1 Vulnerabilidade Potencial	37
4.2.1.1 Classe Geologia.....	39
4.2.1.2 Classe Geomorfologia	40
4.2.1.3 Classe Solos	43
4.2.1.4 Classe Vegetação Pretérta.....	44
4.2.1.5 Classe Clima.....	45
4.2.1.6 Vulnerabilidade Natural a Perda do Solo.	46
4.2.2 Vulnerabilidade Emergencial	47
4.2.2.1 Classe de Uso e Cobertura da Terra	47
4.2.2.2 Cálculo da Vulnerabilidade Emergencial (Ve)	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1 VULNERABILIDADE POTENCIAL.	50
5.1.1 VULNERABILIDADE PARA A CLASSE GEOLOGIA.	50
5.1.2 vulnerabilidade para a classe geomorfologia.	54
5.1.3 Vulnerabilidade para classe Solos.	58
5.1.4 VULNERABILIDADE PARA A CLASSE CLIMA.	62
5.1.5 VULNERABILIDADE PARA A CLASSE VEGETAÇÃO PRETÉRITA	63
5.1.6 VULNERABILIDADE POTENCIAL DA BHCM	66

5.2 VULNERABILIDADE EMERGENCIAL.....	67
5.2.1 Uso e Cobertura da Terra e Vulnerabilidade Emergencial de 1984-2024.	67
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
8. ANEXOS	108

1. INTRODUÇÃO

O ser humano sempre utilizou os recursos naturais para desenvolver suas atividades, com base na crença de que a terra era estática e seus recursos abundantes e inesgotáveis. Até que as transformações nos ambientes naturais se intensificaram para atender às crescentes demandas da humanidade mostrando que a ideia era equivocada.

A Revolução Industrial, ocorrida entre os séculos XVIII e XIX, intensificou o uso predatório dos recursos naturais, impulsionando a urbanização, a substituição da agricultura de subsistência pela agricultura intensiva e a mecanização dos serviços, o que agravou os impactos ambientais. Essas transformações resultaram em crise ambiental de nível global. Esse acelerado processo de desenvolvimento da sociedade deixou profundas marcas na superfície terrestre, mas só a partir da década de 1960 que aumentou a preocupação com o meio natural, sendo os Estados Unidos da América o precursor das discussões relacionadas às questões ambientais (ALVES, 2019).

Mesmo com as discussões e leis já existente de preservação e conservação dos recursos naturais, o uso e ocupação da terra visa interesses econômicos e, por pensar no investimento barato e retorno a curto prazo, desconsidera-se os limites de capacidade de suporte do solo, resultando em práticas inadequadas que comprometem a funcionalidade e o equilíbrio dos ecossistemas da área em manejo. Essa realidade reforça a necessidade de desenvolver estudos ambientais que ajudam a compreender os impactos que o tipo de uso pode gerar em determinadas áreas, propondo estratégias que aliem o uso sustentável dos recursos para a conservação do meio ambiente.

A partir de discussões relacionadas ao uso e ocupação da terra e os impactos gerados pelo uso, apontamos temas centrais e transversais para fundamentar esta pesquisa e nortear a análise ambiental. O tema central foi pautado nos conceitos relacionados à bacia hidrográfica, ressaltando sua importância como unidade territorial para a gestão e o planejamento dos recursos naturais, que oferece uma visão abrangente das interações entre os componentes ambientais e atividades humanas, trazendo na discussão diversos autores, como Piroli (2021), Porto; Porto (2008), Mizukawa (2020), Botelho; Silva (2004) entre outros.

E os temas transversais para realizar a análise ambiental da bacia hidrográfica. O procedimento metodológico utilizado para análise é a vulnerabilidade natural a perda do solo, proposta por Crepani et al. (2001) que propõe analisar os componentes físicos das Unidades Territoriais Básicas (UTBs), resultando na vulnerabilidade potencial da bacia hidrográfica. E em conjunto com o uso e ocupação da terra vai gerar a vulnerabilidade emergencial, que está

relacionado com as atividades antrópicas, apontando as fragilidades do solo decorrente do tipo do uso.

Para isso, conceituou-se primeiramente a paisagem segundo os autores Bertrand (1972), Simmel (2009), Oliveira (2017) entre outros. Sendo, uma construção dinâmica e subjetiva, moldada pela percepção humana e pelas experiências culturais, destacando a importância da interação entre o observador e o ambiente. Ao analisar uma paisagem é possível identificar os fatores que tornam um ambiente mais ou menos vulnerável a erosão. A vulnerabilidade é a fragilidade de um ambiente a danos, causada por suas características naturais, sendo agravadas pelas atividades humana. (ROSS, 1994; CUNHA et al., 2022; JÚNIOR; RODRIGUES, 2012)

Fez-se o uso das geotecnologias para coletar e processar os dados georreferenciados, tornando-os em produtos cartográficos para colaborar com a análise ambiental da bacia hidrográfica. As geotecnologias estudam as características naturais e sociais, utilizando ferramentas e técnicas para adquirir, armazenar, processar e aplicar dados georreferenciados. O seu uso desempenha um papel muito importante nos estudos ambientais, auxiliando com a espacialização das informações e da manipulação dos dados coletados. (SANTOS; SÁ, 2023; ROSA, 2013; CUBAS; TAVEIRA, 2020; SOUZA; CROSTA, 2003).

Os interesses econômicos de curto prazo frequentemente ignoram a necessidade de análises detalhada, levando à remoção da vegetação nativa e ao uso inadequado da área. Essas práticas aumentam a fragilidade do ambiente resultando na degradação do solo, perda da biodiversidade, poluição e assoreamento dos corpos hídricos.

A partir dessa preocupação e da rápida mudança de uso e ocupação da terra no estado do Mato Grosso do Sul nos últimos anos, iniciam-se as discussões da presente pesquisa, sendo a Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum/MS como área de estudo. Essa bacia possui influência da pecuária e da agricultura, está totalmente inserida no setor rural do município de Bonito localizados no Estado do Mato Grosso do Sul.

O Córrego Mutum é afluente da margem esquerda do Rio Miranda, uma importante bacia hidrográfica do estado de Mato Grosso do Sul. A BHCM está situada entre os paralelos 21°12' e 21 °23' de latitude Sul (S) e os meridianos de 56°13' e 56°32' de longitude oeste de Greenwich (W). Localiza-se ao sudeste do município de Bonito, apresentando uma dimensão territorial de 358 km² (Figura 1). Segundo o IBGE (2022), o município de Bonito possui uma

população de 23.659 habitantes, apresentando uma dimensão territorial de 5.378,939 km².

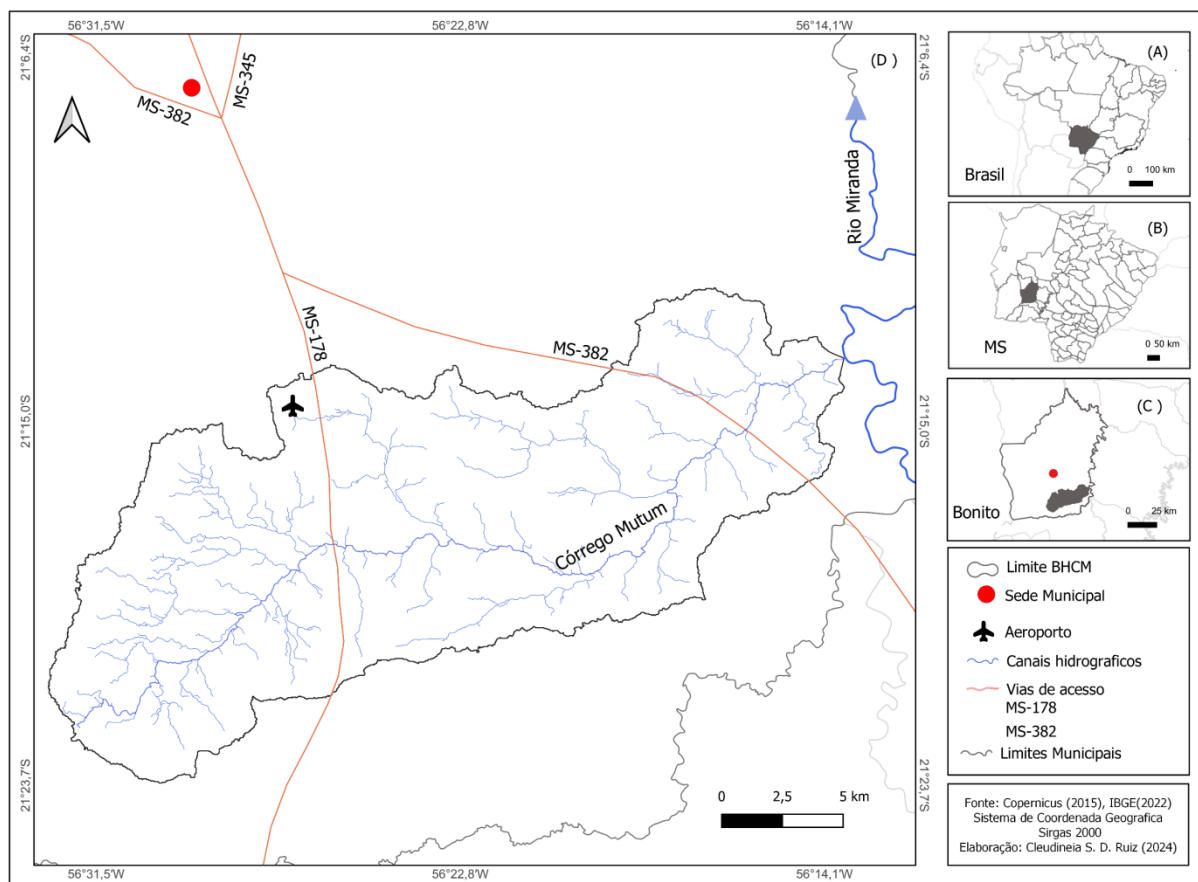


Figura 1- (A) Localização do Mato Grosso do Sul; (B) Localização do município de Bonito; (C) Localização BHCM; (D) Representação da BHCM.

A escolha pela bacia hidrográfica do Córrego Mutum/MS como área de estudo, está relacionada com o avanço da agricultura no município de Bonito, o qual é conhecido por sua beleza cênica, marcada por paisagens exuberantes que incluem rios de águas cristalinas, cavernas, cachoeiras e uma biodiversidade diversificada.

A pesquisa verificou que, mais de 70% da área da BHCM vem sendo ocupada pela agropecuária, sendo que nos 40 anos analisados de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica notou-se uma inversão da pecuária para a agricultura, intercalando entre soja, milho e sorgo. Essa inversão pode trazer tanto o impacto econômico (positivo) para o município, quanto impacto ambiental (negativo), pois o cultivo de grãos exige muita movimentação de terra, podendo ocasionar possíveis degradações no solo, ocasionando o assoreamento do córrego, além do uso intensivo de agrotóxicos podendo afetar a qualidade das águas, justificando-se assim, a importância desta pesquisa.

No trabalho de campo em conjunto com os mapas produzidos em laboratório, foi possível identificar vários impactos negativos decorrentes do uso e ocupação da terra na área

da BHCM, como: a falta da vegetação nativa, falta área de APPs (em alguns pontos do córrego), exposição do solo, redução das áreas de veredas comparado aos anos anteriores, expansão agrícola em áreas inapropriadas, mudança na paisagem, etc. No qual ajudou para análise dos componentes físicos da bacia e na observação do tipo de uso atual para analisar as mudança ocorrida durante os 40 anos.

A A análise da vulnerabilidade estuda a interação entre os elementos naturais e as atividades antrópicas, identificando as fragilidades naturais do ambiente e a intensificação das fragilidades decorrentes do uso da terra, orienta o planejamento do uso sustentável dos recursos naturais. Que aliada as tecnologias se torna uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica ambiental em bacias hidrográficas. (MIZUKAWA, 2020; TOMAZONI; GUIMARAES; TOMAZONI, 2025; SANTOS, 2024)

Com base na contextualização, esta pesquisa apresenta a vulnerabilidade natural a perda do solo da bacia hidrográfica do córrego Mutum no município de Bonito/MS, proposta por de Crepani et al., (2001), a fim de analisar a vulnerabilidade potencial e a vulnerabilidade emergencial da bacia hidrográfica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Realizar a análise da vulnerabilidade natural à perda do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum, em Bonito/MS, considerando a vulnerabilidade potencial e a vulnerabilidade emergencial.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os componentes físicos das Unidades Territoriais Básicas (UTBs) da BHCM, incluindo geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação pretérita.
- Aplicar a metodologia de vulnerabilidade natural a perda do solo de Crepani et al. (2001) aos componentes das UTBs, integrando os dados para determinar a Vulnerabilidade Potencial da BHCM.
- Mapear o uso e cobertura da terra da BHCM no período de 1984 à 2024, com intervalos de 10 anos para cada etapa da análise (1984, 1994, 2004, 2014 e 2024).
- Integrar o uso e cobertura da terra com a vulnerabilidade potencial utilizando a metodologia proposta, para gerar a vulnerabilidade emergencial da BHCM em cada ano analisado.
- Analisar a vulnerabilidade, identificando as áreas mais suscetíveis à perda do solo em função das pressões antrópicas e das características naturais da bacia.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 INTERPRETAÇÃO DA PAISAGEM E DA VULNERABILIDADE.

A paisagem expressa a interação entre elementos naturais e ações humanas, refletindo as dinâmicas ambientais e sociais ao longo do tempo. Ela revela as formas de apropriação e transformação do território pela sociedade, evidenciando padrões espaciais de atividades como agricultura, urbanização e desmatamento. A interpretação da paisagem permite compreender os impactos dessas intervenções sobre o meio físico, identificar processos de degradação ambiental e diagnosticar conflitos de uso, consolidando-se como uma ferramenta fundamental para a análise ambiental, o planejamento e a gestão territorial sustentável. Além disso, a paisagem é uma construção dinâmica e subjetiva, moldada pela percepção humana e pelas experiências culturais, variando conforme o observador e refletindo influências contextuais. Dessa forma, oferece uma visão integrada e multiescalar das dinâmicas territoriais, possibilitando análises em diferentes níveis e escalas de organização espacial. (BERTRAND, 1972; CREPANI et al., 2001; OLIVEIRA, 2017; SANTOS, 2007; SILVA, 2013; SIMMEL, 2009)

Salgueiro (2001) enfatiza a necessidade de uma abordagem integrada da paisagem, que considere não apenas os aspectos físicos e naturais, mas também as dimensões culturais e sociais. Essa perspectiva integrada é fundamental para compreender a complexidade das bacias hidrográficas, uma vez que seus processos naturais são continuamente transformados pela ação humana.

A compreensão da paisagem como resultado da interação entre elementos naturais e culturais é reforçada por Caetano (2022), ao destacar que a paisagem é um registro contínuo dessas relações, refletindo as mudanças provocadas pelas atividades humanas ao longo do tempo. Assim, analisar uma bacia hidrográfica a partir do conceito de paisagem permite capturar essas transformações e compreender como as práticas de uso e ocupação da terra impactam a estrutura e a funcionalidade dos ambientes.

Historicamente, o termo paisagem foi introduzido na geografia no século XVIII (1790) com o cientista alemão Goethe que introduziu a morfologia, com o movimento romântico, refletindo as inquietações políticas, sociais e artísticas da época (BARBOSA; GONÇALVES, 2014; VERDUM et al., 2012; VITTE, 2007). Posteriormente, no século XIX, autores como Humboldt, Sauer, Ratzel e Vidal de la Blache ampliaram essa visão, integrando as dimensões naturais e humanas na análise da paisagem (BARBOSA; GONÇALVES, 2014; BOLÓS, 1992; OLIVEIRA, 2017).

O conceito paisagem foi moldado pelas correntes do pensamento geográfico e influenciado pela arte e literatura no século XIX. Um dos principais contribuintes iniciais para o conceito de paisagem foi Carl Sauer, um geógrafo cultural, que descreveu o conjunto de formas naturais em uma área da superfície terrestre, combinando uma abordagem estética-descritiva com a análise da morfogênese e funcionalidade dos elementos naturais. O naturalista e geógrafo Alexander von Humboldt também contribuiu significativamente para a compreensão da paisagem ao estabelecer a ideia de que a geografia e a ecologia são sistemas integrados e complexos, enfatizando a interconexão dos elementos naturais com a harmonia do ambiente terrestre. (BARBOSA; GONÇALVES, 2014; VERDUM et al., 2012; BOLÓS, 1992)

De acordo com Barbosa; Gonçalves (2014, p. 96) “foi a partir da abordagem naturalista de Humboldt que a paisagem começou a ser entendida pela geografia como uma forma de analisar as relações presentes entre homem e natureza no espaço geográfico”.

Salienta ainda Oliveira (2017, p. 41), que a paisagem:

[...] teve seu início no meio acadêmico tardio, proposto por Alexander Von Humboldt no início do século XIX, nas propostas de Humboldt, existia um significado científico-geográfico na concepção de paisagem, que a definiu como um sistema de caracterização fisiográfica, geológica e geomorfológica para determinadas regiões do globo e que a evidência, ressaltando suas características como únicas.

Do final século XVIII até o início do século XIX Vidal de la Blache, Friedrich Ratzel, Carl Ritter também deixou suas contribuições para o conceito de paisagem. De acordo com Barbosa; Gonçalves (2014, p. 98) Ratzel “manteve a visão naturalista apresentada na obra de Humboldt, trazendo uma nova roupagem a partir das influências que o meio exerce sobre o homem. Complementa Puntel (2012 p. 26) que a proposta de Ritter é,

[...] antropocêntrica e regional, valorizando a relação homem x natureza. Ele procurava explicar a evolução da humanidade, relacionando homem e meio natural, descrevendo a sociedade. O naturalista Friedrich Ratzel (1844-1904) tinha como método a análise empírica, pautada na observação e descrição, privilegiando a visão naturalista, porém ele também trabalhava aspectos naturais e humanos como um conjunto e não como opostos.

Vidal de la Blache introduziu a ideia de "gênero de vida", associando a paisagem às atividades humanas e à organização espacial das regiões. Carl Ritter enfatizou a importância da interdependência entre os fenômenos naturais e culturais na formação das paisagens. (PUNTEL, 2012; BARBOSA; GONÇALVES, 2014; OLIVEIRA, 2017)

No início do século XX, o estudo da paisagem foi incorporado à geografia como uma abordagem voltada para a análise territorial, visando compreender as relações entre os elementos naturais e o espaço geográfico. Destacam-se como principais autores Ferdinand von Richthofen e Siegfried Passarge, sendo Richthofen reconhecido por consolidar a ideia de uma

geografia científica focada na interação dos elementos naturais da superfície terrestre (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Com o tempo, a paisagem passou a ser vista como resultado dessas interações, tanto naturais quanto culturais, e mais tarde como uma unidade complexa influenciada também pela ação humana (VITTE, 2007).

Durante o século XX, os soviéticos buscaram desenvolver modelos sistemáticos para o mapeamento dos elementos naturais, considerando diferentes escalas. Esse esforço resultou na criação da Teoria dos Geossistemas, elaborada por V. B. Sochava na década de 1960, a partir da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas, proposta por L. V. Bertalanffy nos anos 1930, aos estudos da superfície terrestre (OLIVEIRA, 2017).

De acordo com Oliveira (2017, p. 41) a teoria geossistemas “propõe o conceito de um conjunto integrado, onde a paisagem passa a ser interpretada dentro de uma visão sistêmica integrada, resultante de um complexo sistema de interações naturais e culturais”

Oliveira; Neves; Neto (2021, p. 96) destaca a teoria geossistêmica como:

[...] referência para a Geografia Física pautado na ideia de integração entre os elementos dos sistemas naturais que subsidia o estudo das organizações espaciais geográficas em múltiplas escalas e que, ao mesmo tempo, permite o mapeamento do funcionamento e dinâmica dos sistemas espaciais geográficos.

Para Barbosa; Gonçalves (2014) o geossistema proposto por Sochava “é um modelo global, territorial e dinâmico que abarca todos os elementos de paisagem e pode ser aplicado a qualquer tipo de paisagem concreta. E [...] pode ser compreendido como um modelo teórico de estudo da paisagem”.

A maior contribuição científica aos estudos de paisagem vem do geógrafo Georges Bertrand, da escola francesa. Segundo Barbosa; Gonçalves (2014, p.100) a “geografia lablachiana até a segunda metade do século XX, teve seus estudos voltados para descrição das regiões geográficas daquele país”.

No Brasil, Ab'Saber destacou a importância dos processos do passado e do presente na formação das paisagens. A partir dos anos 60 e 80, com o avanço de novas teorias como a Teoria Geral dos Sistemas e a Teoria do Caos, a geografia começou a tratar o espaço geográfico de forma mais holística e complexa, considerando a paisagem uma integração dinâmica de elementos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos. (VITTE, 2007)

Mais tarde, houve uma forçada evolução do conceito de paisagem, decorrente de problemas ambientais e políticos (OLIVEIRA, 2017). Sendo definida como um conjunto de interações entre homem e o meio em que está inserido (TROLL 1950).

Para entender a paisagem, é necessária uma análise detalhada de diversos componentes, de acordo com Crepani (2001, p.13)

[...] é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia e precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se anteveja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

As paisagens antropizadas resultam das transformações humanas sobre o ambiente natural. Para interpretá-las, é fundamental conhecer a paisagem natural, pois a intervenção sem compreender o equilíbrio entre seus componentes pode gerar graves impactos ecológicos e econômicos. Segundo Crepani et al. (2001, p. 15), “o conhecimento dos mecanismos que atuam nas unidades de paisagem natural permite orientar as atividades de intervenção antrópica”.

De acordo com Santos (2007) as forças da natureza, que moldam as paisagens e cada uma tem um nível diferente de vulnerabilidade à ação humana. Componentes como clima, formações terrestres e propriedades do solo são partes do sistema que o ser humano não pode mudar facilmente. Para o autor, em uma escala maior, os efeitos das ações humanas são mais sentidos pelo próprio homem do que pela própria natureza.

Silva (2013, p. 42) salienta que a vulnerabilidade:

[...]integra os aspectos ambientais e sociais na sua forma de análise do espaço geográfico. A vulnerabilidade é constituída por aspectos sociais e ambientais nos estudos da dinâmica física que são atribuídos aos fatores ambientais relacionados com o uso e ocupação do solo e com os impactos ambientais.

Rocha; Almeida (2019) salienta que a vulnerabilidade envolve várias dimensões e entende que os riscos negativos ou positivos de um sistema ambiental são determinados tanto por ações naturais quanto por atividades humanas. Isso inclui a maneira como o solo é usado e ocupado, bem como a utilização dos recursos naturais. Em outras palavras, a vulnerabilidade de um ambiente é afetada tanto por fenômenos naturais quanto pelas intervenções humanas, que podem aumentar ou diminuir a capacidade do sistema de lidar com mudanças e impactos.

Da mesma forma para Cunha et al. (2022) as intervenções humanas na exploração dos recursos naturais contribuem para aumentar a vulnerabilidade dos ambientes levando a degradação, a partir do momento em que o homem utiliza e se apropria do território para extrair recursos naturais, ele provoca mudanças rápidas e intensas na paisagem. Essas intervenções incluem atividades como desmatamento, mineração, agricultura intensiva e urbanização

descontrolada, que alteram profundamente as características e os processos naturais do meio ambiente.

O ritmo dessas modificações é muito mais acelerado do que os processos naturais de evolução e recuperação dos ecossistemas, ou seja, as áreas afetadas têm menos tempo para se recuperar e se adaptar às novas condições impostas pelas atividades humanas. Como resultado, os ambientes naturais tornam-se mais vulneráveis a problemas como erosão do solo, perda de biodiversidade, contaminação de recursos hídricos e aumento de eventos climáticos extremos.

De acordo com Tricart (1977) é importante entender os fluxos de matéria e energia em um ecossistema. Ele classificou os ambientes em três tipos de instabilidade: estáveis (com evolução lenta e proteção natural), intergrades (transição gradual com formação lenta do solo), e fortemente instáveis (marcados por eventos catastróficos como chuvas torrenciais). A intervenção humana, como o desmatamento e manejo inadequado, pode agravar a instabilidade ambiental, levando a graves consequências como erosão e perda do solo (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

Para os mesmos autores a suscetibilidade natural do ambiente, ou fragilidade ambiental, refere-se à vulnerabilidade dos elementos de um ecossistema a danos naturais e à interferência humana. Júnior; Rodrigues (2012, p.6) reforçam que:

[...] a metodologia de análise da vulnerabilidade ambiental aborda os fatores que afetam de forma negativa o ambiente, revelando, portanto, a fragilidade ou os impedimentos do local quanto ao desenvolvimento de atividades e prevenção de danos ao ambiente.

Na presente pesquisa, a definição de suscetibilidade ou fragilidade ambiental é fundamental para avaliar a vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum. Considerando tanto os fatores naturais quanto as pressões antrópicas, a abordagem de Júnior e Rodrigues (2012) permite identificar as áreas mais sensíveis à perda do solo, subsidiando o mapeamento da vulnerabilidade potencial e emergencial. Essa análise orienta a compreensão das áreas mais frágeis e fornece subsídios para o planejamento de ações de manejo sustentável, alinhando-se aos objetivos da pesquisa.

Autores como Ross (1994) e Crepani et al. (2001) colaboraram com os estudos a respeito da vulnerabilidade ou fragilidade dos ambientes. Ross (1994) propôs uma análise integrada baseada em quatro variáveis hierárquicas: relevo (classificado pela declividade), tipo de solo (avaliado pela capacidade de escoamento superficial), grau de proteção do solo (determinado pela cobertura vegetal e uso da terra) e clima (analisado pela pluviosidade).

Destaca-se aqui a importância de estudar o relevo, pois ao compreender as formas da superfície terrestre, possibilita identificar processos naturais, como erosão, sedimentação e movimentação do solo (FLORENZANO, 2008).

Estudos que analisam a vulnerabilidade dos ambientes são fundamentais para a compreensão do espaço geográfico e para o planejamento territorial (NUNES; AQUINO, 2018). Por meio de uma abordagem integrada, que considera aspectos naturais e sociais, é possível identificar áreas mais suscetíveis a impactos ambientais, como regiões de baixa resistência ao desmatamento, e subsidiar a adoção de medidas preventivas e corretivas. Além disso, quando as atividades humanas são planejadas em áreas menos vulneráveis e com práticas conservacionistas, elas podem ser sustentáveis e apoiar políticas públicas e ações de manejo do solo, reduzindo impactos ambientais (MIRA et al., 2022; CREPANI et al., 2001).

Rosss (1994) destaca que as interações entre os ambientes naturais e as atividades humanas são marcadas por mudanças rápidas e profundas. A energia solar influencia a atmosfera, enquanto a energia interna da Terra afeta a litosfera, impactando a dinâmica da vida vegetal e animal. Simultaneamente, a ação humana intensifica essas transformações ao explorar e modificar os territórios para agricultura, urbanização e extração de recursos naturais, esse ritmo acelerado de alteração desafia a capacidade dos ecossistemas de se adaptarem.

Segundo Carvalho (2014), a bacia hidrográfica deve ser analisada a partir de uma abordagem sistêmica, pois é uma unidade preferencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Isso se deve ao fato de a bacia ser um sistema interligado a outros sistemas, mantendo relações complexas tanto sociais quanto ambientais. Essa perspectiva integrada permite melhorar a gestão dos recursos hídricos, considerando as múltiplas interações e influências entre os diferentes componentes do ambiente e da sociedade.

O estudo da paisagem e da vulnerabilidade apresentado neste capítulo forneceu a base teórica para compreender a interação entre elementos naturais e pressões antrópicas que moldam o território. Ao resgatar a evolução histórica do conceito de paisagem, destacou-se a importância da análise integrada dos aspectos físicos, biológicos, culturais e sociais. Essa fundamentação sustenta a aplicação da metodologia de Crepani et al. (2001) na avaliação da vulnerabilidade potencial e emergencial da BHCM, considerando os fatores naturais e os impactos do uso da terra, em alinhamento com os objetivos da pesquisa. A compreensão da paisagem como unidade dinâmica e multiescalar fornece o suporte conceitual para aprofundar a análise espacial, definindo o recorte adequado para aplicar os conceitos e métodos estudados na avaliação da bacia hidrográfica.

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE DA PAISAGEM.

3.2.1 Bacia hidrográfica: Conceitos

A bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, e todo o conjunto de água que engloba uma determinada região, drenadas diretamente pela influência do relevo, onde as águas escoam por meio da força da gravidade sempre das áreas mais altas para as áreas mais baixas (BOTELHO, 2005; NOVO, 2008; MORAGAS, 2005; RIDEEL, 2010; PIROLI, 2021).

De acordo com Botelho (2005, p. 269) a bacia hidrográfica “é uma célula natural que pode, a partir do seu ponto de saída, ser delimitada sobre uma superfície cartográfica que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas, ou que permita uma visão tridimensional da paisagem, como as fotografias aéreas”. Novo (2008, p.220) explica que “o que marca o limite topográfico da zona de abastecimento da bacia hidrográfica, é originado pela precipitação”. Essa região representa a captação natural da água da chuva, direcionando o escoamento superficial para um único ponto chamado exutório. (BOTELHO, 2005; NOVO, 2008; MORAGAS, 2005; RIDEEL, 2010).

A área da bacia hidrográfica é composta por diversas características, na qual é influenciada pela interação dessas características com o tipo de uso da terra em seu interior (MORAGAS, 2005). Mizukawa (2020, Pag. 21) “destaca a grande influência no armazenamento, movimentação e destinação da água superficial, representando uma interação complexa entre desafios ambientais, socioeconômicos e políticos”.

De acordo com Stevaux; Latrubesse (2017, cap.2) essa divisão,

[...] é definida nos mapas com uma linha que separa os canais de primeira ordem, que drenam para vales adjacentes. Essa linha é chamada de divisor de águas ou interflúvio, porque divide ou separa uma bacia de sua vizinha. O termo interflúvio pode ser utilizado quando se delimitam as bacias menores de dois cursos da mesma bacia.

Os divisores de água delimitam a extensão da bacia hidrográfica, localizados nas partes mais elevadas do terreno, e o declive entre esses divisores e o rio principal é chamado de vertente. As vertentes são os canais onde passam as águas dos afluentes, e podem ser delimitados de forma manual por meio de carta topográfica ou digital por meio de software. (MIZUKAWA, 2020).

A área compreendida dentro da linha divisória e por onde circulam os cursos fluviais pode ser definida também como área de drenagem. É importante entender que o sistema de drenagem é fundamental para a gestão da bacia. Na qual é composta pelo conjunto dos cursos d'água (rios e córregos) dentro da área da bacia, no qual os sub-afluentes são canais menores

que alimentam os afluentes que alimentam o rio principal, que é o responsável por dar o nome da bacia. O rio ou córrego é compostos por nascente, foz e o canal de escoamento (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

- As nascentes: é o ponto onde aflora do lençol freático, rio ou córrego, localizadas nas áreas mais elevada da topografia, chamado de montante.
- A foz: é o local onde o rio desagua, podendo ser estuário ou delta. A foz em estuário é um único canal ou ramificação, a foz em delta são vários canais ou ramificações.
- Canal de escoamento: o curso hídrico em que a água segue (rio ou córrego), podendo ser alimentado por regime pluvial, nival, glacial ou misto. De acordo com Stevaux, Latrubesse, (2017) o regime pluvial é proveniente das águas da chuva; nival depende do derretimento da neve; glacial depende do derretimento de geleira e o misto é composto por dois ou mais regimes.

Para facilitar a análise, a bacia hidrográfica pode ser setorizada em alto, médio e baixo curso (BELTRAME, 1994). Pois a morfologia do relevo tem muita influência na forma das bacias hidrográficas, onde os rios podem percorrer áreas de planalto ou planície. No planalto os rios passam por grandes elevações formando quedas d'água ou cachoeira, fazendo com que o volume das águas corra pelo relevo de forma abrupta (rápida), já na planície os rios tendem ter o movimento das águas de forma mais lenta.

No alto curso da bacia a declividade é mais acentuada criando maior erosão e maior será a velocidade no fluxo de água, deixando os vales mais profundos em forma de V, normalmente os canais serão mais retilíneos, no qual o percurso não apresenta muitas curvas (está relacionado com o volume de água, velocidade que a água corre em virtude da forma de relevo) (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

No médio curso a velocidade da água diminui porque o terreno é mais plano, os vales passam ser em forma de V abertos, que significa que o rio para de escavar com mais intensidade e começam a transportar os sedimentos, podendo ser canais retilíneo como anastomosado, cujo rio formam ilhas, por não ter força o suficiente para levar uma grande quantidade de sedimentos que acabam se acumulando dentro do próprio leito formando pequenas ilha (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

No Baixo curso com o relevo mais plano, o leito do rio fica mais largo e raso por maior deposição de materiais, formando leitos meandrante, cujo rio apresenta muitas curvas, por não ter força o suficiente para romper os obstáculos, criando então um zigzag. Podendo ainda formar canais entrelaçados, cujo apresenta vários canais que acabam se entrelaçando em virtude da grande quantidade de sedimentos que esse rio transportou (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

A compreensão dos conceitos e características de uma bacia hidrográfica permite perceber sua relevância como unidade espacial de estudo. O levantamento das interações entre relevo, cursos d'água, solos e vegetação evidencia a complexidade dos sistemas naturais e a influência das atividades humanas, mostrando como cada componente afeta a dinâmica da bacia. Esse entendimento é essencial para considerar a bacia hidrográfica como unidade de análise da paisagem, fornecendo a base para avaliações ambientais, planejamento territorial e estudos de vulnerabilidade.

3.2.2 Importância da Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise da Paisagem

O estudo em bacias hidrográficas é fundamental para garantir a preservação dos recursos hídricos e proteção da biodiversidade, no qual servirá de base para tomadas de decisões ao uso responsável dos recursos naturais. De acordo com Albuquerque (2021, p. 22), os estudos direcionados a “degradação ambiental torna-se relevante por fornecer informações aos órgãos governamentais, a fim de que possam elaborar políticas adequadas e adotar ações para atenuar ou mesmo extinguir” problemas identificado na área estudada. Lima (2005, p. 176) reforça que “a bacia é uma unidade fundamental de estudo quanto aos processos naturais”. Por ser determinada pelos processos físicos e químicos que influenciam o relevo e direcionam as interações entre os componentes bióticos e abióticos presentes na área.

Pirolí (2022, p. 46) afirma ainda que:

todo o território brasileiro apresenta alguma bacia hidrográfica. Daí a importância da divulgação da temática, do conhecimento de suas características e de políticas de planejamento, gestão e manejo visando ao uso adequado e à perpetuação de suas capacidades produtivas, tanto em termos econômicos quanto ambientais.

Moragas (2005) considera o estudo detalhado em bacias hidrográficas extremamente importante para uma melhor compreensão dos sistemas ambientais. Melo (1999, p. 48) afirma que nestes estudos:

[...] o solo, a vegetação e a água são elementos imprescindíveis, pois o conhecimento das relações existentes entre si e com os outros, permite que se possa perceber como o mesmo podem interferir na dinâmica de uma bacia hidrográfica e, conseqüentemente contribuir para intensificar ou reduzir o processo de degradação ambiental.

O estudo detalhado em bacias hidrográficas inicia com a caracterização dos elementos naturais que a compõe, aponta Carvalho (2010, p. 30). Estudos com enfoques diferentes tem na caracterização física da bacia um olhar sobre os seus componentes, sendo os aspectos da

geologia, geomorfologia, hidrologia, clima, vegetação, solos e o uso antrópico (MORAGAS, 2005; ALBUQUERQUE, 2021; PIROLI, 2021; CARVALHO e PINTO, 2010; LEITE, 2010).

De acordo com Albuquerque (2021, p. 83) os aspectos geológicos:

[...] apresentam características que guardam uma relação direta com as formas de escoamento das águas na bacia, além das ligações com os componentes geomorfologia, hidrologia e pedologia. Os aspectos geomorfológicos evidenciam a atuação dinâmica dos fatores geológicos, paleoclimáticos e morfodinâmicos atuais e pretéritos que ocorreram na área, ao longo de sua evolução geoambiental.

E Moragas (2005, p.120) ressalta ainda que os aspectos climáticos:

é um dos sistemas fundamentais, pois interagem com os outros sistemas físicos-ambientais que diferenciam as paisagens. A dinâmica paleoclimática contribui para definir formas morfológicas, que combinando também com esse subsistema derivam formações pedológicas.

Moragas (2005, p.118) explica que a vegetação exerce várias e importantes funções:

[...] na pedogênese, impedindo a morfogênese, protege o solo da radiação solar e amortece as precipitações pluviométricas. A vegetação também cumpre o papel de realizar parte do balanço hídrico e auxilia no papel de regulador das vazões, diminuindo os picos de descarga e aumentando a capacidade de infiltração dos solos.

Sendo muito importante para a preservação dos cursos hídricos principalmente das nascentes, (MORAGAS, 2005). Piroli (2021, p. 48) ressalta que:

a preservação ou a retirada das matas ciliares existentes nas margens dos rios é uma das medidas que mais impactam o ecossistema de uma bacia, pois elas são componentes naturais importantes, uma vez que filtram as águas, atuam como barreiras físicas nos processos de transporte de materiais e mantêm a estabilidade das margens de nascentes e rios.

Quanto ao uso do solo Carvalho e Pinto (2010, p. 1258) relatam que “[...] o mau uso, ocupação, gestão e controle do solo provocam inúmeros eventos indesejáveis, que refletem principalmente na qualidade das águas”. Neste contexto a bacia hidrográfica torna-se excelente área de estudo para análise de tais impactos.

Mizukawa (2020, pag. 22) salienta que as bacias hidrográficas “são utilizadas como unidade que geram e monitoram os ecossistemas, sendo classificados de acordo com sua importância, pois todos os elementos que compõe a bacia podem alterar a qualidade da água e do ciclo hidrológico local”.

Nesse sentido há uma importância de compreender as relações de interdependência dos sistemas, trazendo uma visão integradora desses setores, sendo necessário analisar os componentes, os processos e as interação entre eles (LEITE, 2010).

Destaca Carvalho e Pinto (2010, p. 1247) a que a bacia hidrográfica é “constituída por uma série de elementos em dinâmica e complexa transformação, perante as interações de

energia e resistência, sobressaindo-se a antrópica, que consiste em excelente unidade de estudo”.

Sendo assim é importante que na política físico-territorial da área, leve em consideração as questões ambientais e sociais, pelo fato do homem se estabelecer no ambiente natural e se organizar socialmente modificando o meio ambiente (ROSS,1990).

Para analisar uma bacia hidrográfica não é suficiente observar de forma isolada uma única característica, é necessário que observe as características e a relação entre elas em conjunto com os processos fisiográficos. Assim como relata Junior (2001, p. 02) que os problemas de uma bacia hidrográfica “não podem ser tratados isoladamente, pois podem envolver sistemas fluviais em extensas áreas geográficas, e as soluções dos problemas locais devem ser tomadas em consonância com as interações ambientais e econômicas de ocupação de toda a bacia”.

Taveira (2018, p. 36) ressalta que é fundamental:

Considerar as características geométricas, hipsométricas e de áreas que se relacionam dinamicamente, formando um sistema complexo, proporcionando uma visão holística da dinâmica da bacia, onde as características físicas interagem e influenciam diretamente os processos que continuam a moldar a paisagem ao longo do tempo.

Para Carvalho (2010) a bacia hidrográfica deve ser analisada como sistemas interdependentes, pois são ligadas por meio de uma série de fatores físicos e sociais que podem alterar o seu comportamento natural. Considerado como sistema aberto por Christofletti (1999) por ocorrer constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. Porém Carvalho (2012, p. 32) alerta ainda “que além de analisar os elementos, os processos e a interação entre eles”, é necessário avaliar a inserção em um sistema maior que influencia e recebe influência externa” da bacia hidrográfica em análise.

Stevaux; Latrubesse; Mendonça (2017, cap. 02) esclarece que "um sistema aberto se caracteriza pela troca de energia e massa com o exterior, complementa Leite (2007, p.40) que “o sistema complexo se caracteriza por uma grande variedade de componentes, arrançados segundo diferentes níveis hierárquicos e interconectados por uma variedade de ligações funcionais e estruturais”.

Sendo assim, as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta das condições naturais e das atividades humanas. As mudanças nessas unidades podem resultar em impactos significativos nos fluxos energéticos e impactos a jusante. A participação humana como agente acelerador de processos modificadores e desequilíbrios na paisagem devem ser elencadas, uma

vez que as causas podem ser tanto naturais ou da influência antrópica, sendo o homem um acelerador das causas naturais (GUERRA E CUNHA, 2004).

A revisão sobre os conceitos de bacia hidrográfica e sua utilização como unidade de análise da paisagem contribuiu para compreender como funcionam as dinâmicas de uma bacia hidrográfica. Esse embasamento permitiu compreender a importância de considerar os elementos naturais e a interação com as ações humanas. Além disso, forneceu os subsídios necessários para orientar a aplicação da metodologia escolhida, garantindo maior consistência na análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

Para garantir uma análise integrada e detalhada da vulnerabilidade, fez-se o uso das geotecnologias, aplicando técnicas e procedimentos para a obtenção de dados e processamento das informações. Possibilitando desenvolver a metodologia de vulnerabilidade natural a perda do solo proposta por Crepani et al. (2001) que resultou na vulnerabilidade potencial e emergencial da BHCM.

3.3 GEOTECNOLOGIAS COMO RECURSOS DE ANÁLISE.

A Geotecnologia é um conjunto integrado de ciência e tecnologias. A ciência estuda os fenômenos naturais, sociais e técnicos que informam a teoria e a metodologia para a análise dos dados georreferenciados. As tecnologias são ferramentas e técnicas práticas desenvolvidas com base no conhecimento científico, utilizadas para a aquisição, armazenamento, processamento e aplicação dos dados georreferenciados. (SANTOS; SÁ, 2023; ROSA, 2013; CUBAS; TAVEIRA, 2020; SOUZA; CROSTA, 2003).

A geotecnologia é um campo multidisciplinar que combina conhecimentos teóricos e metodológicos, permitindo a escolha das ferramentas e técnicas mais adequadas para cada situação. Ela integra elementos como sensoriamento remoto, geoprocessamento, sistemas de informação geográfica (SIG), GNSS, cartografia e bancos de dados (CUBAS; TAVEIRA, 2020). E o seu uso é indispensável para compreender e analisar a organização dos territórios, otimizando o período de fiscalização e garantindo o cumprimento da legislação vigente (MOREIRA et al., 2015; SILVA; ROCHA; AQUINO, 2016; CUBAS; TAVEIRA, 2020).

O sensoriamento remoto (SR) é definido como a tecnologia que permite obter informações de um alvo da superfície terrestre, por meio da energia refletida ou emitida pelo mesmo sem haver o contato físico com o objeto (MORAES, 2002; LIU, 2015; ZANOTTA, FERREIRA; ZORTEA, 2019; FLORENZANO, 2019; MELO et al, 2021; GONÇALVES, 2023). Segundo Moraes (2002, p. 7) tais atividades “envolvem a detecção, aquisição e análise

(interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos”.

Para Leonardi (2020, p. 12) o SR “refere-se as técnicas para coletas de dados e tem o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre radiação eletromagnética (REM) e as substâncias que compõem a superfície terrestre”. Segundo Novo (2010, p. 29)

O desenvolvimento do sensoriamento remoto está cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foi o primeiro método de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto que os termos fotogrametria e fotointerpretação foram utilizados antes do sensoriamento remoto.

O SR envolve o uso integrado de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados, instalados em aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, para estudar eventos, fenômenos e processos na superfície terrestre (NOVO, 2010).

Entre as plataformas, a mais utilizadas no SR estão os satélites, cujas imagens oferecem uma fonte valiosa de dados sobre a superfície terrestre e podem ser obtidas gratuitamente em diversas plataformas, como USGS Earth Explorer, OpenTopography, Google Earth Engine, entre outras. Embora as imagens de satélites não têm utilidade se não for aplicada as técnicas de processamento digital (PDI) de forma adequada, gerando um produto (mapa) para a análise coerente ao estudo que se pretende. (GOMES; CUBAS, 2021; MARTINS et al., 2023).

Para aplicar as técnicas de processamento digital (PDI) nas imagens é necessário o uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento. Segundo Leonardi (2020, p. 9) o geoprocessamento envolve "o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, tratamento e análise para o uso integrado". (ROSA, 2013). Para Cubas; Taveira (2020, p. 23) esse “é o meio pelo qual podemos transformar dados georreferenciados” coletados pelo SR em informações possíveis de ser interpretado pelo homem.

Para que o processamento digital de imagens (PDI) e as tecnologias de sensoriamento remoto sejam plenamente aplicadas, o uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) torna-se essencial, pois integra e facilita o tratamento e análise dos dados georreferenciados.

Para Rosa (2013, p. 60) o sistema de informação geográfica “pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e representação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias” (CUBAS; TAVEIRA, 2020; ROSA, 2013)

Com os dados adquiridos por sensoriamento remoto e processados pelo geoprocessamento no ambiente de SIG, a classificação de imagens torna-se uma etapa fundamental para categorizar e identificar padrões específicos na superfície terrestre. Essa técnica permite transformar dados brutos em informações temáticas, como tipos de dados do município, uso do solo e zonas urbanas, atendendo às necessidades de estudos e análises.

De acordo com Martins et al. (2023) a classificação de imagens é o principal método que tem sido utilizado por muitos pesquisadores para a produção de mapas temáticos, e o classificador support vector machine (svm) foi o classificador mais utilizado para classificação de uso e ocupação do solo nos artigos analisados.

A classificação de imagens é um processo fundamental na análise de dados de sensoriamento remoto, permitindo a categorização de pixels em uma imagem em diferentes classes temáticas. Como classificador de imagem de satélite podemos apontar o plugin Dzetsaka, desenvolvido por Nicolas Karasiak. Funciona no QGIS para obter dados em formato raster (geralmente imagens de satélite) e usa um conjunto de dados de treinamento para construir classificações de uso da terra (PARR, 2024).

A ferramenta foi desenvolvida para identificar os diferentes tipos de vegetação na paisagem, e tem mostrado bons resultados (com treinamentos e validações) em diferentes tipos de cobertura de terra. Inicialmente baseado no classificador Gaussian Mixture Model desenvolvido por Mathieu Fauvel (agora suporta Random Forest, KNN e SVM). O plugin foi desenvolvido no Parque Amazônico da Guiana para classificar diferentes tipos de vegetação (KARASIAK, 2016).

A importância de algoritmos voltados à classificação de imagens, principalmente os algoritmos estatísticos de aprendizagem de máquina, consiste em uma técnica computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão. Introduzida por meio da teoria estatística, essa classificação é baseada no princípio de separação ótima entre classes, tal que se as classes são separáveis, a solução é escolhida de forma a separar o máximo as classes (MATHER; PAL, 2005; VAPNIK, 2000; NASCIMENTO et al., 2009; MELGANI; BRUZZONE, 2004).

Além disso, as geotecnologias continuam a evoluir, integrando avanços em processamento de dados e inteligência artificial para melhorar a precisão e a eficiência das classificações de uso e cobertura da terra. Ferramentas como o Dzetsaka exemplificam essa evolução, permitindo análises mais detalhadas e específicas das paisagens. O uso de algoritmos amplia as possibilidades de aplicação e aumenta a robustez dos resultados obtidos.

O SVM é baseado na teoria de aprendizagem estatística e tem o objetivo de determinar a localização dos limites de decisão que produzem a separação ótima de classes, explica Silva; Júnior; Pacheco (2023). Destaca ainda Moreira; Fernandes; Nery (2014) que o algoritmo Support Vector Machine (SVM) é:

citado na literatura como classificador de alto padrão, e derivado da teoria de aprendizagem por análise estatística, está inserido no grupo de classificadores não paramétricos, possuindo a vantagem de redução de erros empíricos da classificação, além de separar as classes através de uma superfície de decisão que maximiza a margem de separação entre elas.

É uma técnica de aprendizado de máquina que busca minimizar o erro em relação ao conjunto de treinamento, bem como o erro em relação ao conjunto de teste, ou seja, o conjunto de amostras não utilizadas no treinamento do classificador (ANDREOLA, 2009).

Em particular, o SVM se destaca por sua capacidade de generalização e precisão na separação de classes. Para Messias e Amorim (2020), a classificação é visualmente melhor com o resultado obtido pelo SVM, é mais preciso e eficaz na separação das classes de dados, apresentando uma capacidade superior de generalização comparada a outros algoritmos de classificação. Isso se deve à maximização da margem de separação entre as classes, resultando em uma fronteira de decisão mais clara e menos suscetível a erros de classificação. (SOUSA; TEIXEIRA; SILVA, 2009)

Segundo Garofalo et al. (2015), este algoritmo tem se destacado no emprego de classificação orientada a objetos, sendo um método computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão, com base no princípio de separação ótima entre classes. A classificação de imagens, tradicionalmente, consiste em associar cada pixel a uma determinada classe de interesse. Com a evolução das imagens de satélite, que são cada vez mais capazes de distinguir detalhes da superfície terrestre, outra abordagem de classificação de imagem escolhendo cada região de interesse (ALBUQUERQUE, 2012).

Além disso, a combinação de SVM com dados de múltiplas fontes, como imagens de satélite de diferentes resoluções e sensores, pode oferecer uma visão mais abrangente e detalhada das mudanças na cobertura e uso da terra. Isso pode ser particularmente útil em estudos de monitoramento ambiental, gestão de recursos naturais e planejamento urbano.

O uso SVM na classificação de imagens de satélite é uma abordagem poderosa e eficaz que continua a evoluir com os avanços tecnológicos. A capacidade do SVM de lidar com dados complexos e de grande dimensão, juntamente com sua robustez e precisão, faz dele uma ferramenta valiosa para pesquisadores e profissionais em geotecnologias. Com a contínua inovação e integração de novas técnicas, o SVM promete continuar sendo uma escolha popular

e eficaz para a classificação de imagens de satélite e análise de uso e cobertura da terra. (SOUSA; TEIXEIRA; SILVA, 2009)

Bolfe et al. (2004) ressaltam que na etapa de validação da classificação em imagens de satélite, além do índice Kappa e das matrizes de exatidão, como medidores de acurácia, podem ser utilizados outros indicadores para garantir uma avaliação mais completa e precisa da qualidade da classificação. Esses medidores incluem a exatidão global, a exatidão do usuário, a exatidão do produtor e a análise de erros de omissão e comissão.

Sousa; Teixeira; Silva (2009) recomendou o uso do SVM no estudo de Classificação de bioma, ressaltando que os valores de exatidão global e coeficiente de Kappa obtidos revelaram o alto potencial das SVMs na classificação de dados do sensoriamento remoto.

Silva Júnior; Pacheco (2023) para desenvolver sua pesquisa fez um levantamento bibliográfico para saber qual classificador seria mais eficaz para uso e cobertura do solo, concluindo que o SVM resulta em alta precisão de acurácia global e um bom coeficiente Kappa. Em comparação com outros algoritmos o SVM tem sido muito utilizado por ser mais preciso.

O uso e cobertura da terra apresenta-se como um elemento muito importante para os estudos ambientais, pois tem como objetivo retratar as atividades antrópicas que estão causando impactos sobre os elementos físicos (DIAS et al., 2017). Mediante a isso, é notável a importância de se realizar o mapeamento das áreas como forma de gerar dados que possibilitem avaliar, por intermédio das geotecnologias, a evolução e a transformação das paisagens (TEIXEIRA, 2022).

As geotecnologias desempenham um papel muito importante nos estudos ambientais e na análise de vulnerabilidade ao uso da terra. Segundo Costa; Vieira (2018, p. 61) as geotecnologias:

[...] possibilitam a execução de estudos ambientais, pois o mapeamento da vulnerabilidade ambiental auxilia no processo de prevenção e/ou recuperação de áreas degradadas. Essa constatação mostra a importância e a necessidade do desenvolvimento de estudos em áreas com suscetibilidade à desertificação.

Gomes (2005) destaca que imagens orbitais são fundamentais na metodologia de análise da vulnerabilidade e interpretação de áreas de estudo, pois fornecem informações básicas e recentes, permitindo a utilização do potencial do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). A partir dessas imagens, é possível definir as Unidades Territoriais Básicas (UTBs), considerando critérios como textura, relevo e drenagem. Essa análise pode gerar representações cartograficas das unidades da paisagem bem como a vulnerabilidade através das variáveis (geologia, geomorfologia, solos, vegetação/uso da terra e clima).

Crepani; Figueiredo et al. (2007) avaliou a vulnerabilidade à eutrofização de açudes na bacia do Acaraú no Ceará utilizando a abordagem em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Onde consideraram os indicadores de pressão (erosão, carga de fósforo) e sensibilidade (profundidade dos açudes). A média desses indicadores determinou a classificação final da vulnerabilidade em baixa, média ou alta. Essa abordagem auxilia na priorização de investimentos públicos para mitigar a eutrofização e proteger os recursos hídricos.

Por sua vez, Crepani et al. (2001) complementam com uma abordagem baseada em Tricart, utilizando sensoriamento remoto e uma média das variáveis como geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso da terra e climatologia para determinar a vulnerabilidade das unidades territoriais em baixa, média ou alta. A metodologia desenvolvida por esses autores ainda é bastante utilizada, pois permite uma visão holística da paisagem.

Silva et al. (2019) utilizaram metodologia de Crepani et al. (2001) para a caracterização da vulnerabilidade ambiental da reserva biológica nascentes da serra do cachimbo, estado do Pará. Para caracterizar a geologia, geomorfologia e solo da área de interesse, os autores utilizaram dados vetoriais para gerar os respectivos mapas, além disso, utilizaram imagens de radar para gerar a declividade.

Após gerar todos os mapas, cada classe de variável recebeu um peso de acordo com a metodologia escolhida, resultando em áreas classificadas como "Muito Alta Vulnerabilidade", aquelas onde a vegetação nativa foi substituída por pastagens ou cultivos. Áreas de "Alta Vulnerabilidade" estão em formações naturais com pouca cobertura florestal e solos menos desenvolvidos, que são mais vulneráveis a processos erosivos e outras formas de degradação. Por fim, áreas de "Moderada Vulnerabilidade" geralmente possuem cobertura florestal, o que ajuda a proteger o solo e reduzir o escoamento de água, tornando essas áreas menos vulneráveis a certos tipos de impactos ambientais (SILVA et al., 2019).

Santos; Martins (2018) utilizaram a metodologia da vulnerabilidade para a análise da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (BHRC) em Goiás, destacando a importância da visão holística para compreender a complexidade dos ecossistemas.

Os autores utilizaram ferramentas de geoprocessamento e a metodologia de Crepani et al. (2001) para analisar fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos e de uso da terra para gerar a carta de vulnerabilidade à perda de solo na bacia. O estudo mostrou a intensa antropização e a degradação ambiental da bacia devido atividades urbanas, industriais e agropecuárias.

As geotecnologias são fundamentais para o avanço dos estudos ambientais, proporcionando ferramentas robustas para a coleta, análise e interpretação de dados espaciais. A integração dessas tecnologias nos estudos ambientais aprimora a capacidade de monitoramento e diagnóstico fortalecendo as políticas de conservação e desenvolvimento sustentável (CREPANI et al. 2007; SILVA et al., 2019; SANTOS; MARTINS, 2018; LEITE,

A fundamentação teórica apresentada neste capítulo orientou a utilização das geotecnologias no desenvolvimento da metodologia adotada. O sensoriamento remoto permitiu a obtenção das imagens da área de estudo, enquanto o processamento digital de imagens e o uso de SIG possibilitaram a manipulação e a análise espacial dos dados. Para realizar a classificação das imagens utilizou-se plugin Dzetsaka por meio do classificador SVM, com validação realizada pelas matrizes de confusão e exatidão global pelo Índice Kappa, garantindo a confiabilidade dos resultados. Além disso, as geotecnologias foram fundamentais na análise das UTBs, utilizando dados vetoriais e matriciais para integrar informações de geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, resultando na avaliação da vulnerabilidade potencial da BHCM, que, quando integrada à classificação das imagens, permite a obtenção da vulnerabilidade emergencial.

4 MÉTODOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS.

Para desenvolver essa pesquisa foram adotados vários procedimentos, primeiramente realizou-se um levantamento bibliográfico, apontando temas referentes ao objeto de estudo; a escolha da metodologia aplicada; a coleta de dados secundários; coleta e criação dos dados primários e o processamento dos dados.

O levantamento bibliográfico é o que fundamenta e dá veracidade a pesquisa, sendo representado pelos dados secundários. Os dados secundários são os dados já existentes, como trabalhos publicados em periódicos, revistas, bancos de teses e dissertações, livros, órgãos do poder público, bancos de dados de empresas públicas ou privadas, sites e pesquisas relacionadas ao objeto de estudo.

A partir dos dados secundários, elaborou-se duas etapas muito importante para a pesquisa. A primeira etapa se trata do referencial bibliográfico, que traz consigo experiências vividas por outros autores, discutindo temas semelhantes ou iguais a pesquisa em desenvolvimento. Para esta etapa foi abordado um tema central e temas transversais que fundamentou a pesquisa. O tema central foi pautado nos conceitos relacionados à bacia hidrográfica, ressaltando sua importância como unidade territorial para a gestão e o planejamento dos recursos naturais, trazendo na discussão diversos autores, como Piroli (2021); Porto; Porto (2008), Mizukawa (2020), Botelho; Silva (2004) e outros. Os temas transversais como suporte para realizar a análise da vulnerabilidade da bacia hidrográfica, conceituando a paisagem e a vulnerabilidade segundo os autores Bertrand (1972), Simmel (2009), Oliveira (2017), Silva (2013), Rocha; Almeida (2019), Júnior; Rodrigues (2012) Crepanni et al. (2001) entre outros. A segunda etapa está relacionada com as geotecnologias, no qual os dados são coletados via satélite, armazenados em plataformas e disponibilizado em formato vetorial e matricial para ser utilizados na confecção dos resultados cartográficos.

Os dados primários são dados criados pelo próprio pesquisador com base no levantamento dos dados secundários e o trabalho de campo em conjunto com o laboratório. No trabalho de campo, em posse dos mapas das UTBs (Unidades Territoriais Básicas) desenvolvido em laboratório por meio dos dados secundários processados e com auxílio de uma planilha (em anexos) de Leite (2009), coletou-se informações do tipo de vegetação, tipo do uso e ocupação da terra, tipo de solos, unidades de relevo e geologia da área estudada, confirmando as informações e criando novos dados. Além disso foram coletados pontos estratégicos com GPS e realizado um inventário fotográfico com auxílio de câmera fotográfica e drone. O trabalho de

campo é uma etapa muito importante para o desenvolvimento da pesquisa e afinamento dos resultados obtidos em laboratório.

Para processar os dados levantados e realizar a análise da bacia hidrográfica escolhida, optou-se pela metodologia da vulnerabilidade natural a perda do solo, proposta por Crepani et al (2001). No qual diversos autores como Leite (2011); Santos; Martins (2018); Silva (2023); Tomazoni; Guimarães; Tomazoni (2025) e outros, apontam eficiência na aplicação da metodologia para analisar a vulnerabilidade natural a perda do solo em bacias hidrográficas. A metodologia analisa os componentes das UTBs, propondo um cruzamento dos dados analisados, por meio de álgebra de mapas resultando na carta de vulnerabilidade, apontando as fragilidades naturais e decorrente do uso e ocupação da terra.

Para aplicar a metodologia e desenvolver a pesquisa fez-se necessário o uso das geotecnologias, envolvendo o uso de procedimentos e técnicas para a obtenção e processamento de informações, assegurando a construção do conhecimento e sua aplicação em diferentes contextos. (PRODANOV; FREITAS, 2013; PEIXOTO, 2016).

4.1 Área de estudo

A escolha pela área de estudo veio da observação de um crescimento econômico no município de Bonito/MS, sendo a bacia hidrográfica do córrego Mutum uma área com expressiva ocorrência na inversão de culturas nos últimos anos, devido ao avanço da agricultura no município. Segundo Carvalho; Pinto (2010), a bacia hidrográfica constitui uma unidade dinâmica e em constante transformação, sendo um excelente recorte para estudos ambientais. Junior (2001) reforça que sua análise deve ser integrada, pois envolve amplas interações ambientais e econômicas. Ressalta Carvalho (2010) e Christofolletti (1999) que a bacia hidrográfica é um sistema interdependente e aberto, o que permite compreender melhor os processos naturais e antrópicos.

Para delimitar a bacia hidrográfica do córrego Mutum foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) do Copernicus Open Topography (2015), obtido em (<http://opentopography.org/about>) com resolução espacial de 30m no formato GeoTIFFs, de forma automática através de técnicas de geoprocessamento no software de plataforma livre QGIS 3.22.16, (Figura 2).

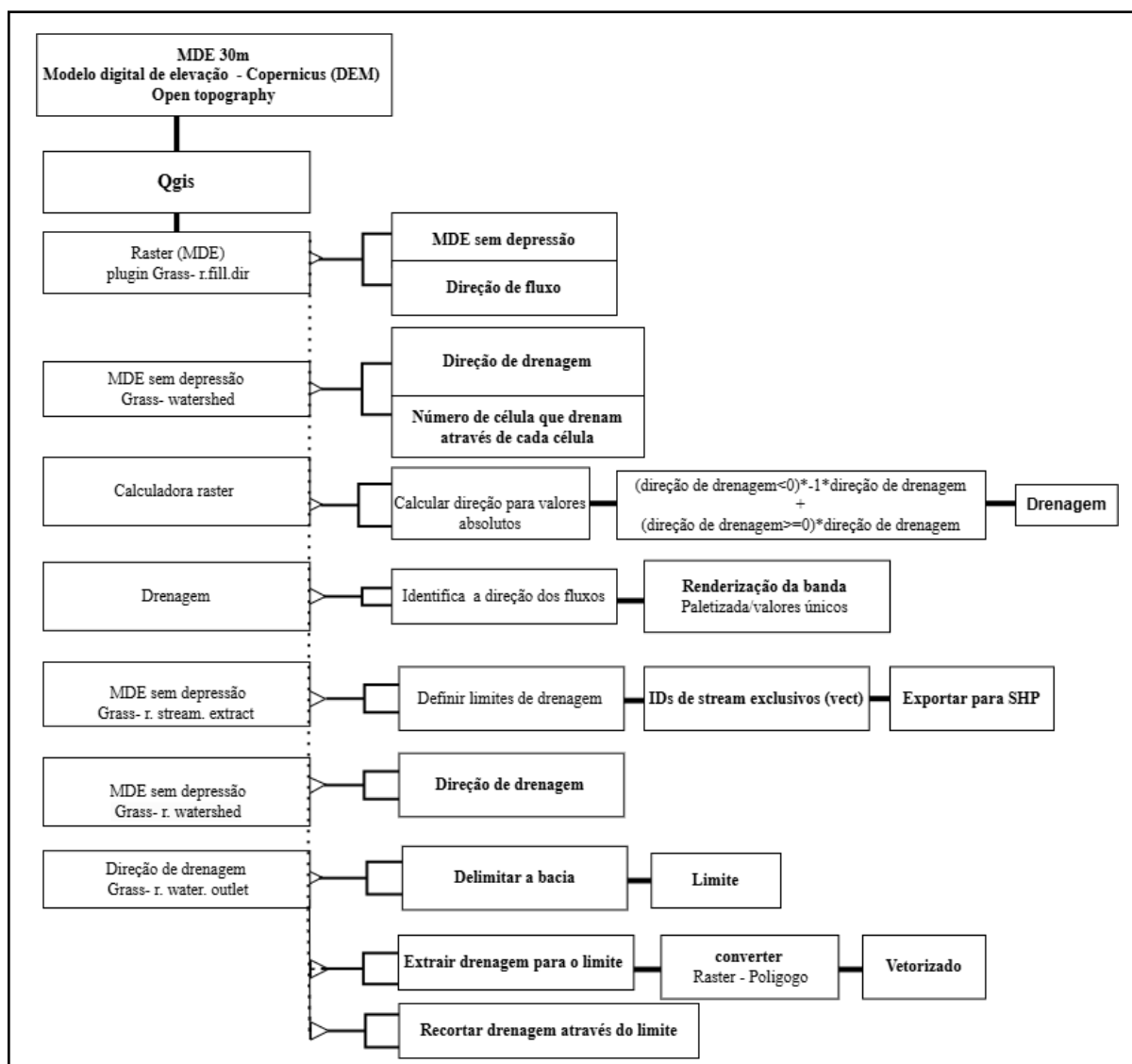


Figura 2 - Fluxograma de delimitação da BHCM. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para o processo de delimitação da bacia hidrográfica, inseriu o MDE (camada raster) no software QGis 3.22, recortou o raster para área de estudo e por meio do plugin GRASS seguiu os seguintes passos: 1º: Na função `r.fill.dir` inseriu o recorte e ao executar gerou o MDE sem depressão e direção de fluxo (formato raster); 2º: Na função `r.watershed` em elevação inseriu o arquivo MDE sem depressão que gerou a direção de drenagem e o número de célula; 3º: Após calculou o raster de direção para os valores absolutos através da calculadora raster por meio da fórmula $(\text{direção de drenagem} < 0) * -1 * \text{direção de drenagem} + (\text{direção de drenagem} \geq 0) * \text{direção de drenagem}$, gerando a drenagem; 4º: Com o arquivo drenagem identificou a direção de fluxo, por meio de renderização paletizado/valores único (classificando-os em norte, nordeste, noroeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste e leste); 5º: Na função `r.stream.extract`, em mapa de entrada usou o arquivo MDE sem depressão, em

parâmetros avançados usou o tipo de saída Line e ao executar temos o limite de drenagem (vect). Exportou para o formato vetor (shapefile -SHP) e definiu o SRC da camada; 6º: Na função *r.watershed*, em elevação usou o arquivo MDE sem depressão e e ao executar temos a direção de drenagem; 7º: Na função *r.water.outlet*, em raster de entrada adicionou o arquivo direção de drenagem, em coordenadas do exultório indicou-se a foz do córrego e ao executar gera de forma automática o limite da bacia em formato raster. Em seguida extraiu a drenagem para o limite (raster – interseção) sendo a drenagem como camada de entrada e a sobreposição o rasterizado e ao executar resulta no recorte da drenagem. Conforme figura 2.

4.2 Vulnerabilidade Natural a perda de solo

Nesta pesquisa, será utilizada a metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solo proposta por Crepani et al. (2001), que se baseia na análise das características naturais da paisagem para identificar as áreas mais suscetíveis à degradação. A partir dessa proposta metodológica serão adotados os termos de vulnerabilidade potencial e vulnerabilidade emergencial para analisar a vulnerabilidade natural da BHCM sem a interferência antrópica e calcular o grau da intensificação dessa vulnerabilidade pelo uso e ocupação da terra.

Os termos de vulnerabilidade potencial e emergencial foram abordados por Tomazoni; Guimarães; Tomazoni (2025) na aplicação da metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solo proposto Crepani et al. (2001) para analisar a vulnerabilidade ambiental das Unidades Territoriais das Paisagens do Sudoeste do Paraná. De acordo com os autores a vulnerabilidade potencial refere-se à susceptibilidade natural da área, enquanto a vulnerabilidade emergencial considera a intensificação dessa vulnerabilidade devido à ação antrópica, permitindo uma análise mais abrangente da dinâmica ambiental (TOMAZONI; GUIMARÃES; TOMAZONI, 2025).

A metodologia de vulnerabilidade natural a perda de solo proposta por Crepani et al. (2001), foi baseada no conceito de Ecodinâmica desenvolvido por Tricart (1977), que considera as características morfodinâmica da superfície terrestre: áreas onde prevalece a pedogênese (formação dos solos) são classificadas como estáveis, enquanto áreas onde prevalece a morfogênese (modelagem do relevo e perda de material) são classificadas como instáveis. (CREPANI et al., 2001).

Para analisar a vulnerabilidade potencial da BHCM, foi criado um banco de dados no *software* QGIS 3.22, contendo dados vetoriais e matriciais, como limites, drenagem, rodovias e informações relacionadas às Unidades Territoriais Básicas (UTBs) de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima. Para definir a geomorfologia, foi analisado o Índice

de Concentração da Rugosidade (ICR) e a declividade. Em seguida, aplicaram-se pesos para cada classe, e realizou-se a álgebra de mapas para gerar a vulnerabilidade potencial à perda do solo da bacia hidrográfica.

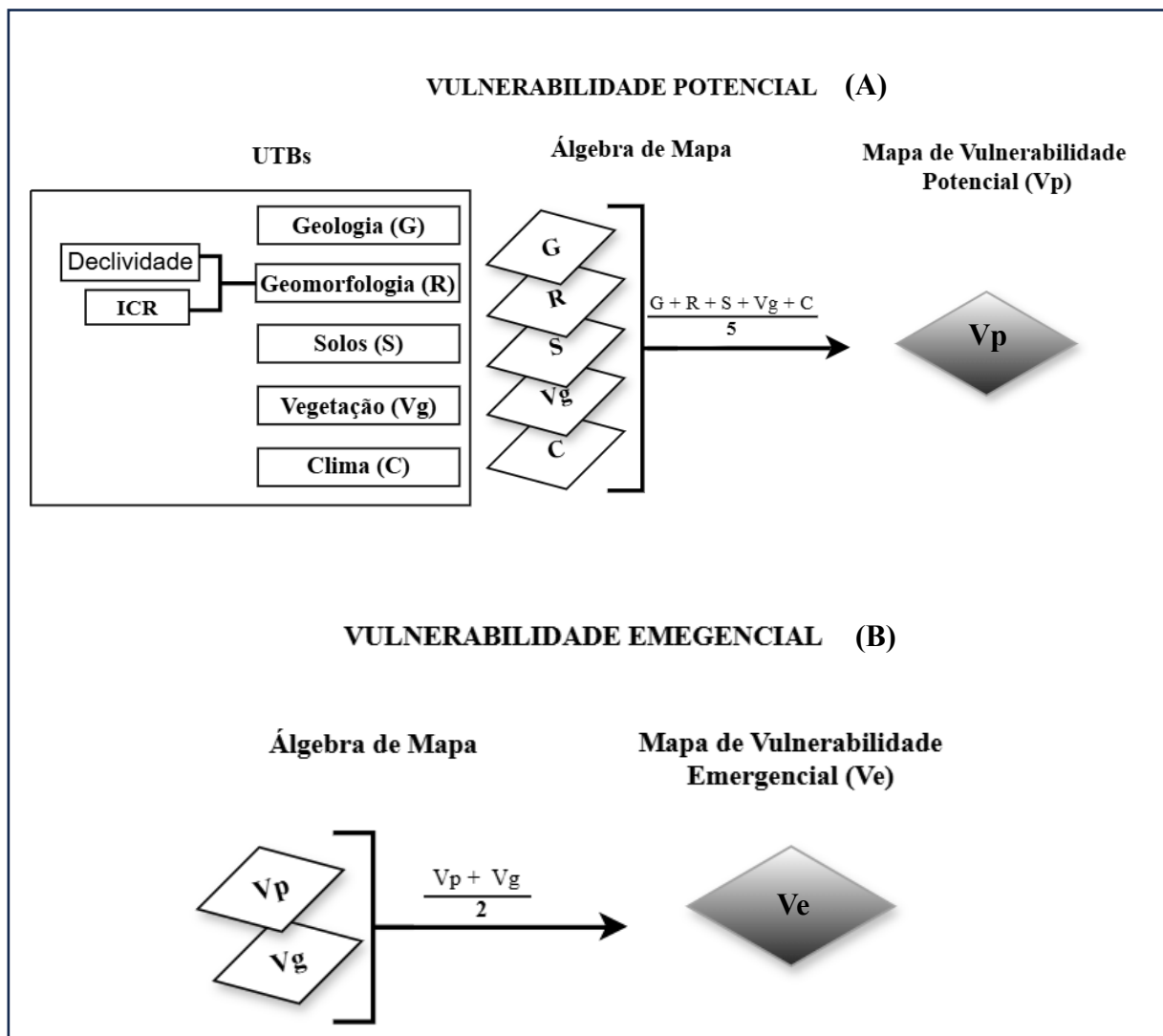


Figura 3 - Fluxograma Metodológico: (A) Vulnerabilidade Potencial; (B) Vulnerabilidade Emergencial. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Crepani et al (2001).

Para analisar a vulnerabilidade emergencial, foi criado um banco de dados no *software* QGIS 3.22, contendo uma série histórica de uso e cobertura da terra. A seguir, foi realizada a álgebra de mapas, cruzando os dados de uso e cobertura da terra com a vulnerabilidade potencial, gerando a vulnerabilidade emergencial à perda de solo para cada ano mapeado, conforme mostra na figura 3

4.2.1 Vulnerabilidade Potencial

Para desenvolver a metodologia, o autor propõe 21 unidades de paisagem (Figura 4).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0	↓		0	0	255	

Figura 4 - Escala de Vulnerabilidade das UTBs. Fonte: Crepani et al (2001).

O grau de vulnerabilidade vai de estável à vulnerável, considerando estáveis as áreas que prevalecem os processos de pedogênese atribuindo valores próximos de 1, para as áreas com equilíbrio entre pedogênese e morfogênese, atribui valores próximos de 2 e áreas onde prevalecem os processos de morfogênese ele classifica como vulneráveis atribuindo valores próximos a 3 (CREPANI et al, 2001), conforme mostra Tabela 1.

Tabela 1- Avaliação da Estabilidade/Vulnerabilidade e grau atribuído.

Categoria Morfodinâmica	Ralação Pedogenese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al 2001

Para atribuir valores na escala de estabilidade e vulnerabilidade de cada classe Crepani et al. (2001) buscou enfatizar parâmetros que indicam a categoria morfodinâmica, como a espessura e a maturidade do solo, além de fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento dos processos morfodinâmicos, como a coesão das rochas, a densidade da cobertura vegetal, os índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica. (Tabela 2)

Tabela 2 - Características analisada na avaliação da estabilidade e vulnerabilidade de cada classe.

Elementos	Características Avaliada
Geologia	Grau de coesão das rochas
Geomorfologia	Declividade
	Índice de concentração da rugosidade
Solos	Maturidade do solo
Vegetação Potencial	Densidade da cobertura vegetal potencial
Aspecto do Clima	Intensidade pluviométrica

Fonte: Crepani et al 2001

4.2.1.1 Classe Geologia

A vulnerabilidade geológica está relacionada à história evolutiva do ambiente e ao grau de coesão das rochas. Os autores consideram o grau de coesão da rocha uma informação fundamental para determinar a vulnerabilidade da Geologia. Pois, as rochas com baixa coesão são mais suscetíveis à ação dos agentes modeladores do relevo e à perda de materiais, favorecendo os processos de morfogênese. Por outro lado, rochas altamente coesas tendem a resistir mais à ação desses agentes, contribuindo para a formação e a manutenção de solos mais desenvolvidos, o que favorece os processos de pedogênese (CREPANI et al., 2001; SANTOS, 2024).

Para determinar a vulnerabilidade para a classe de Geologia, fez-se a aquisição dos dados georreferenciados em formato shapefile, disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística) no banco de dados do Bdia (2022). O shapefile foi inserido no *software* QGIS 3.22, realizado reclassificação dos dados e recortadas para o limite da BHCM. Em seguida, criou-se uma coluna na tabela de atributos chamada vp, indicando os pesos da vulnerabilidade para cada tipo de rocha pertencente a área de estudo, conforme proposto por Crepani et al. (2001) no quadro 1.

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Figura 5 - Quadro de Escala da Vulnerabilidade para geologia. Fonte: Crepani et al (2001)

Para aplicar a vulnerabilidade da geologia, utilizou-se a função rasterizar no *software* Qgis 3.22, transformando o vetor em raster, utilizando como parâmetro a coluna (VP) criada anteriormente e a unidade de tamanho de saída usou-se a unidade georreferenciada com resolução de 30m, gerando o arquivo fator geologia (G) que foi usado para a aplicação na álgebra de mapas para gerar a vulnerabilidade da área da BHCM.

4.2.1.2 Classe Geomorfologia

Os dados morfométricos indicam a energia potencial do terreno, que influencia os processos ecodinâmicos. Unidades com relevo mais acidentado favorecem processos morfogenéticos, enquanto áreas com relevo suave favorecem os processos pedogenéticos (CREPANI et al., 2001).

Para determinar a vulnerabilidade para a classe de geomorfologia, adotou-se a Concentração da Rugosidade (ICR) e a Declividade como indicador morfométrico. Para tanto, o ICR e a Declividade foram reclassificados de 1 a 3 de acordo com as classes de declividade sugeridas por Crepani et al (2001), em seguida na função calculadora Raster realizou-se a álgebra de mapas por meio da equação (1) de acordo com Crepani et al (2001) para criação do fator (R).

Sendo:

$$R = \frac{(ICR + D)}{2} \quad (1)$$

Onde:

R – Vulnerabilidade para a classe Geomorfologia

ICR – Vulnerabilidade atribuída ao Índice de Concentração de Rugosidade

D – Vulnerabilidade atribuída a declividade

A declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte, exerce influência direta sobre a transformação da energia potencial das águas pluviais em energia cinética, intensificando a velocidade do escoamento superficial. Com o aumento da declividade, intensifica-se também a capacidade de transporte das águas, o que favorece os processos erosivos e a escultura das formas do relevo, prevalecendo a morfogênese. (CREPANI et al., 2001)

Para gerar a declividade da BHCM, utilizou-se o modelo digital de elevação global (MDE) disponibilizado pelo Copernicus (2015), com resolução espacial de 30 metros. O MDE foi inserido no *software* QGIS 3.22, em seguida aplicou-se a função declividade, posteriormente foi realizada a reclassificação da declividade de acordo com as classes propostas por Crepani et al (2001), por meio da ferramenta reclassificar por tabela, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
Muito Baixa	<2	1,0
Baixa	2-6	1,5
Média	6-20	2,0
Alta	20-50	2,5
Muito Alta	>50	3,0

Fonte: Crepani et al, 2001

A metodologia do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), desenvolvida por Sampaio e Augustin (2014), permite quantificar a rugosidade do terreno por meio do estimador de densidade por kernel, resultando em duas abordagens distintas: o ICR Global, com raio de análise fixo e classes morfométricas padronizadas, e o ICR local, que oferece maior flexibilidade na definição dos parâmetros de análise e na classificação dos valores obtidos.

Os autores explicam que o ICR global utiliza um raio fixo, geralmente de 1128 metros, e define unidades de relevo com base em faixas predefinidas, sendo mais indicado para comparações amplas e padronizadas entre diferentes áreas. Por sua vez, o ICR local adota um raio de análise variável (sugerindo-se 564 metros como ponto de partida), com a classificação

dos valores realizada por meio de quantis estatísticos, o que permite uma compartimentação mais ajustada à morfologia específica da área estudada. (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014)

Para adaptar a metodologia do ICR a análise da vulnerabilidade natural à perda do solo, optou-se pela aplicação do ICR Local, em razão da escala reduzida da área de estudo. Essa abordagem permite evidenciar padrões morfométricos com maior detalhamento e proporciona uma melhor adequação às características geomorfológicas da bacia hidrográfica analisada.

Para reclassificar os intervalos obtidos por meio do ICR local, os autores recomendam a utilização dos termos muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme os intervalos definidos com base na distribuição estatística dos dados. Como mostra na tabela 4 (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014).

Tabela 4 - Características analisada na avaliação da estabilidade e vulnerabilidade do ICR.

Classes	Termo referencia
Muito Baixo	Muito baixa concentração de rugosidade
Baixo	Baixa concentração de rugosidade
Médio	Concentração moderada de rugosidade
Alto	Alta concentração de rugosidade
Muito Alto	Muito alta concentração de rugosidade

Fonte: Sampaio; Augustin (2014).

O ICR é a soma dos valores de declividade dos pontos existentes dentro de uma determinada área (rugosidade do relevo) sendo condicionado pela quantidade de pontos computados, o que varia em função da resolução espacial do DEM (Modelo Digital de Elevação).

Para gerar o índice de concentração da rugosidade (ICR) utilizou-se modelo digital de elevação global (MDE) disponibilizado pelo Copernicus (2015). Inseriu o MDE no *software* Qgis 2.18 no menu raster, em análise utilizou-se a função – MDE, gerando a declividade (formato matricial). Posteriormente, usando a declividade gerada, no plug-in Grass (r.out.xyz) gerou-se o arquivo nuvem de pontos, que é extraído da matriz da declividade, o qual é anexado como texto delimitado, em seguida exportado como vetor que possibilitou a aplicação da densidade de Kernel, por meio do menu raster - Mapa de calor. Camada de entrada é a camada de pontos, raio de 560 (indicado para o ICR local) com resolução do pixel de 30 m, interpolador (forma do kernel) utilizado foi a Epanechnikov, usando o valor da declividade como peso, criando então o ICR local. Para os intervalos fez-se o agrupamento dos dados em 5 classes, com

uso do classificador de modo quantis, conforme a metodologia de Sampaio; Augustin (2014), podendo ser observado no fluxograma da figura 5.

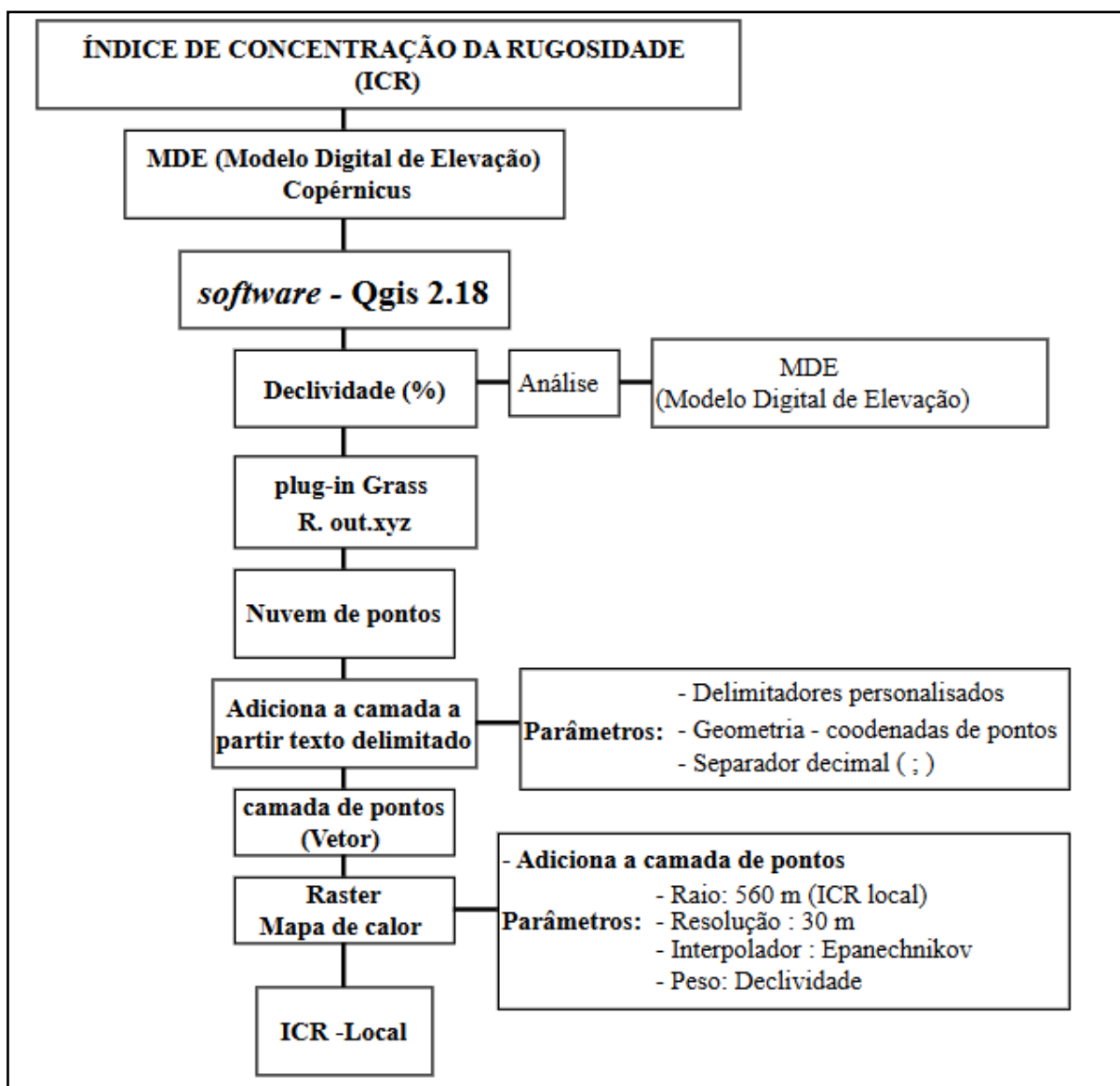


Figura 6 - Fluxograma Metodológico de Índice de Concentração da Rugosidade (ICR). Fonte:

Elaborado pelo autor (2025).

4.2.1.3 Classe Solos

Para avaliar a vulnerabilidade do solo, os autores consideram como principal característica o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo, que reflete nos processos de pedogênese e morfogênese. Portanto, se prevalece solos jovens, é marcado pelos processos de morfogêneses e onde prevalece solos maduros a presença dos processos de pedogênese. Os valores de vulnerabilidade propostos por Crepani et al. (2001), pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5 - Características analisada na avaliação da estabilidade e vulnerabilidade de cada classe.

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese / Morfogênese	Vulnerabilidade
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediários	Equilíbrio entre Pedogênese e Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Crepani et al. (2001)

Para determinar a classe solos, fez-se a aquisição dos dados georreferenciados em formato shapefile, disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística) no banco de dados do Bdia (2022). O shapefile foi inserido no *software* QGIS 3.22, realizado a reclassificação dos dados e recortado para o limite da BHCM. Em seguida, criou-se uma coluna na tabela de atributos chamada vp, indicando os pesos da vulnerabilidade para cada tipo de rocha pertencente a área de estudo, conforme proposto por Crepani et al. (2001).

Para aplicar a vulnerabilidade do solo, utilizou-se a função rasterizar no *software* Qgis 3.22, transformando o vetor em raster, utilizando como parâmetro a coluna (VP) criada anteriormente e a unidade de tamanho de saída usou-se a unidade georreferenciada com resolução de 30m, gerando o arquivo fator solos (S) que foi usado para a aplicação na álgebra de mapas para gerar a vulnerabilidade da área da BHCM.

4.2.1.4 Classe Vegetação Pretérta

A vegetação é um elemento de proteção da paisagem natural contra os processos modificadores das formas de relevo. A densidade da vegetação é um fator determinante nas classes de vulnerabilidade, ou seja, áreas com maior densidade são menos suscetíveis à erosão, enquanto aquelas com menor densidade enfrentam maior risco de erosão, conforme tabela 6 (CREPANI et al.,2001; LEITE, 2011)

Tabela 6 - Categoria Morfodinâmica da vegetação e seus valores.

Categoria Morfodinâmica	Densidade de Vegetação	Vulnerabilidade
Estável	Alta Densidade de Cobertura	1,0
Intermediários	Densidade Intermediária	2,0
Instável	Baixas Densidade de Cobertura	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

Para determinar a classe de vegetação, fez-se a aquisição dos dados georreferenciados em formato shapefile, disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística) no banco de dados do Bdia (2022). O shapefile foi inserido no *software* QGIS 3.22, realizado reclassificação dos dados utilizando a legenda de vegetação pretérta e recortado para o limite

da BHCM. Em seguida, criou-se uma coluna na tabela de atributos chamada vp, indicando os pesos da vulnerabilidade para cada classe de vegetação pertencente a área de estudo, conforme proposto por Crepani et al. (2001).

Para aplicar a vulnerabilidade da vegetação, utilizou-se a função rasterizar no *software* Qgis 3.22, transformando o vetor em raster, utilizando como parâmetro a coluna (VP) criada anteriormente e a unidade de tamanho de saída usou-se a unidades georreferenciada com resolução de 30m, gerando o arquivo fator vegetação (Vg) que foi usado para a aplicação na álgebra de mapas para gerar a vulnerabilidade da área.

4.2.1.5 Classe Clima

Para determinar a vulnerabilidade da classe clima, os autores levam em consideração a pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, que quantifica o grau de risco das unidades de paisagem. A alta pluviosidade em curto períodos aumenta a quantidade de água disponível para o escoamento, resultando em maior erosão e favorecendo os processos de morfogenese. A baixa pluviosidade anual distribuída ao longo de um período mais extenso representa menor risco para a integridade da paisagem, beneficiando processos pedogenéticos. (CREPANI et al, 2001).

A partir dos dados das normais climatológicas e da interpolação dos dados foi possível calcular a intensidade pluviométrica da BHCM. Os dados foram adquiridos no portal INMET (2020) em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Para a coleta dos dados foi determinado um recorte temporal de 1991-2020 das estações mais próximas da área de estudo. Os dados foram inseridos em uma planilha do Excel, contendo nome das estações, localização e a precipitação mensal e anual. Posteriormente, foi calculado a intensidade pluviométrica para cada estação de acordo com a metodologia de Crepani et al (2001). Para calcular o valor da intensidade pluviométrica, divide-se o valor da precipitação média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses). (CREPANI; MEDEIROS; PALMEIRA, 2004).

Após o tratamento dos dados, a planilha foi transformada em formato CSV, inserida software Qgis 3.22 como texto delimitado para gerar pontos baseados nas coordenadas X (latitude) e Y (longitude) das estações. Em seguida foi executada a interpolação desses dados a partir do método IDW (Interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância). De acordo com Crepani; Medeiros; Palmeira (2004), o método IDW permite estimar valores para áreas próximas, baseando-se nos valores coletados. Para realizar a interpolação foi necessário transformar a camada de pontos em formato vetorial, o atributo de interpolação usado foi o IP

(intensidade pluviométrica), com tamanho de pixel para X e Y de 0,001000 m gerando então o mapa pluviométrico.

Para configurar as cores do mapa climático, optou-se pela paleta de cores Azul (Blues), o tipo de renderização foi a Banda Simples Falsa-Cor, com o método interpolador Linear, de modo quartil, atribuindo 3 classes para a representação dos índices pluviométricos da BHCM. Em seguida, foi feita a reclassificação por tabela, utilizando os valores da intensidade pluviométrica (IP) dentro dos intervalos de acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001), conforme tabela 7.

Tabela 7 - Valores de Vulnerabilidade para Intensidade Pluviométrica.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al (2001, p. 98)

4.2.1.6 Vulnerabilidade Natural a Perda do Solo.

De acordo com Crepani et al (2001) a vulnerabilidade natural a perda do solo é resultante da integração dos cinco fatores: geologia (G), geomorfologia (R), solos (S), vegetação (Vg) e clima (C). Com os dados tratados e ponderados de cada classe, realizou-se a álgebra de mapas para obter uma média aritmética. A álgebra de mapas foi calculada no software Qgis 3.22, na função calculadora raster por meio da seguinte equação:

Sendo:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5} \quad (2)$$

Onde:

V – Vulnerabilidade;

G – Vulnerabilidade para o tema Geologia;

R – Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S – Vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg – vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C – Vulnerabilidade para o tema Clima;

Tendo como resultado valores com intervalos de 1 a 3, totalizando em 21 classes que permitiu gerar o mapa de vulnerabilidade potencial da perda do solo da bacia hidrográfica do córrego Mutum.

4.2.2 Vulnerabilidade Emergencial

Para determinar a vulnerabilidade emergencial da BHCM, fez-se necessário um estudo temporal de uso e cobertura da terra para combinar os dados com a vulnerabilidade potencial.

A análise do uso e cobertura da terra é fundamental para garantir uma intervenção antrópica mais equilibrada e sustentável no território. Essa análise permite compreender como o ser humano tem modificado as paisagens naturais e como essas modificações interagem com os componentes das Unidades Territoriais Básicas (UTBs). O conhecimento das características dessas unidades orienta o uso da terra de forma preventiva, evitando a intensificação de processos erosivos e outras formas de degradação ambiental, especialmente em áreas onde o uso inadequado pode agravar a vulnerabilidade potencial à perda do solo.

4.2.2.1 Classe de Uso e Cobertura da Terra

Sendo assim, foi elaborado um estudo temporal do uso e cobertura da terra da BHCM, de um período de 40 anos com intervalos de 10 anos entre cada as etapas. Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra, foi realizada a classificação das imagens do satélite Landsat 5, 8 e 9, com resolução espacial de 30 metros, referentes à órbita/ponto 226/075, obtidas gratuitamente no site Earth Explorer. Para o Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper), utilizou-se imagens datadas de 18/09/1984, 10/06/1994 e 23/07/2004 e para o Landsat 8, imagem datada em 21/09/2014, e Landsat 9, imagem datada em 28/01/2024, ambos de sensor OLI (Operational Land Imager).

As imagens foram pré-processadas no *software* Qgis 3.22, pelo Plugin SCP (Semi-Automatic Classification) onde realizou-se a correção atmosférica por meio do método DOS1, o empilhamento das bandas e a composição colorida. Para a composição colorida utilizou-se as bandas 3 (vermelho), 4 (Infravermelho Próximo) e 5 (Infravermelho Médio) para landsat 5 e bandas 4 (vermelho), 5 (Infravermelho Próximo) e 6 (Infravermelho Médio) para os landasat 8 e 9. A escolha das bandas depende do tipo de estudo que será desenvolvido na área, já que cada banda representa um intervalo espectral.

Após o tratamento das imagens foi realizada a classificação pelo plugin *dezetsaka*. Para esse procedimento, definiram-se as classes a serem discutidas (Remanescentes Florestais, Pastagem, Corpos d'água, Mosaico de Cultura e Áreas de vereda). Posteriormente, criou-se uma camada vetorial do tipo polígono para coletar as amostras de cada classe que serviu de base

para o plugin realizar a classificação da imagem. Para realizar o treinamento das amostras utilizou-se o classificador SVM (*Support Vector Machines*). Em renderização da banda utilizou-se banda simples falsa-cor, modo de intervalo igual, 5 classes e as cores utilizadas foi de acordo com mapbiomas (2022), conforme mostra na figura 7 .

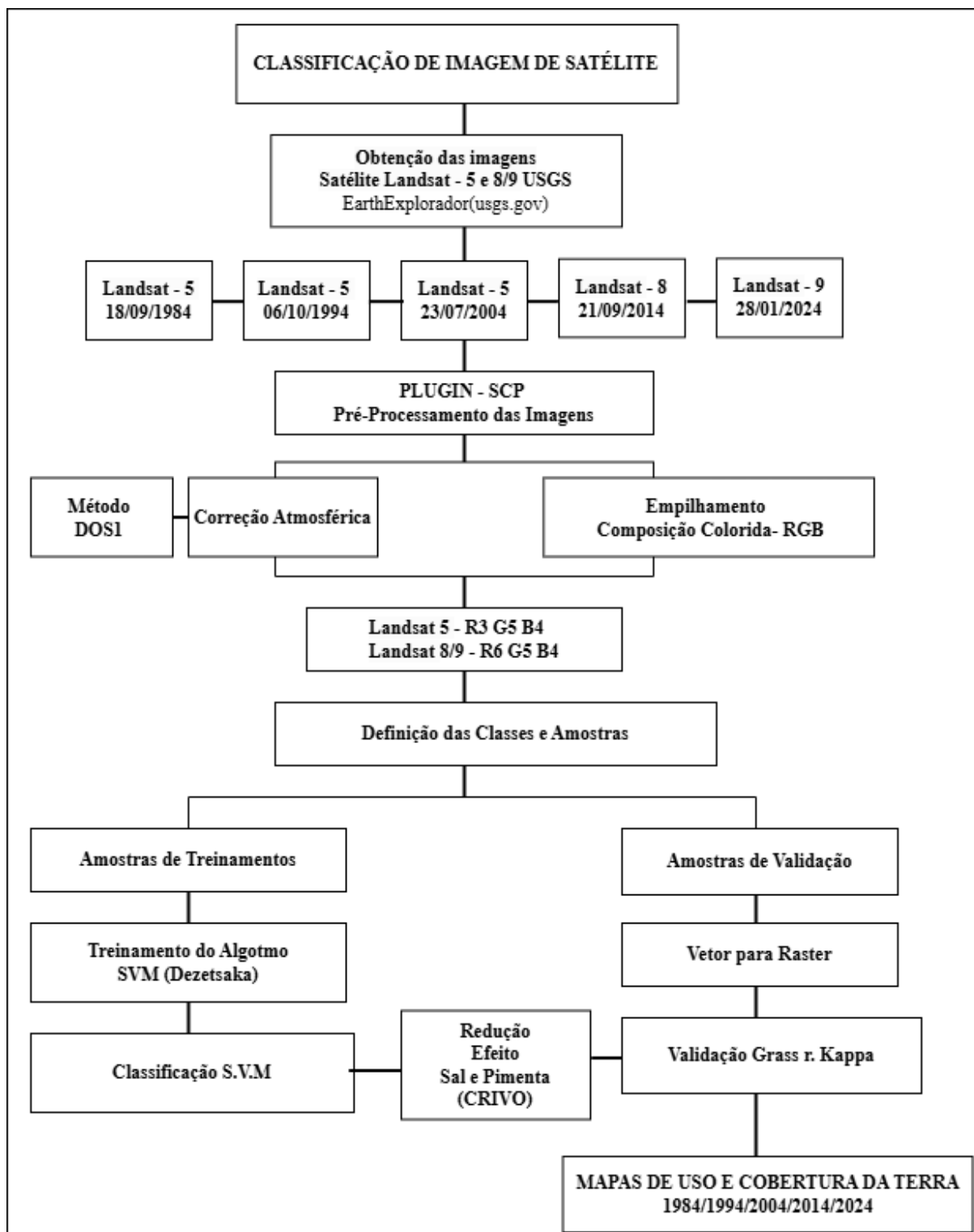


Figura 7 - Fluxograma de Classificação das Imagens de Satélite. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a classificação das imagens, aplicou-se o crivo (redução do efeito sal e pimenta) para melhorar a resolução das imagens, tirando os pixels isolados. Posteriormente fez-se a validação da classificação por meio do índice Kappa, que é um método estatístico que permite avaliar o nível de concordância entre dois conjuntos de dados (MENDES et al, 2015). Para a validação, software Qgis versão 3.22 criou-se uma camada vetorial do tipo polígono para coletar novas amostras de cada classe, em seguida transformou-se essa camada em arquivo raster de mesma resolução espacial do mapa referência (classificação). No plugin Grass - R. Kappa, camada de entrada usou-se o mapa base (classificação), em classe de referência é a camada criada para a validação, tamanho de célula usada foi de 10m e em matriz de erro salvou-se como relatório, gerando a acurácia de semelhança (formato txt). O arquivo gerado mostrou-se o índice kappa e exatidão global satisfatório, apontando os acertos entre a classificação e as amostras de referência. (Figura 7)

4.2.2.2 Cálculo da Vulnerabilidade Emergencial (Ve)

Para calcular a vulnerabilidade emergencial (Ve), realizou-se a álgebra de mapas para obter uma média aritmética entre a vulnerabilidade potencial (Vp) e o mapa de uso e cobertura da terra (Vg). Para realizar a álgebra de mapas fez-se necessário a reclassificação do uso da terra de 1 a 3 conforme a metodologia de Crepani et al. Em seguida no *software* Qgis 3.22, na função calculadora raster por meio da seguinte equação:

Sendo:

$$Ve = \frac{(Vp + Vg)}{2} \quad (3)$$

Onde:

Ve – Vulnerabilidade Emergencial das Unidade de Paisagem;

Vp – Vulnerabilidade Potencial da Unidade de Paisagem;

Vg – Vulnerabilidade para o Uso da Terra;

Calculou-se a vulnerabilidade emergencial da BHCM. As cores do mapa de vulnerabilidade emergencial foram estabelecidas de acordo com os intervalos proposto por Crepani et al (2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos têm como objetivo apresentar os produtos gerados a partir da aplicação da metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solo, conforme proposta por Crepani et al. (2001). Esta etapa abrange a análise das UTBs e, ao consolidar e integrar as informações, resulta na elaboração da carta de vulnerabilidade potencial da BHCM. Em seguida, a partir da carta de vulnerabilidade potencial e do mapeamento de uso e cobertura da terra, foi possível gerar o mapa/ de vulnerabilidade emergencial para cada ano analisado, contribuindo para a discussão e compreensão das dinâmicas de uso e cobertura da terra. A seguir, estão apresentados os resultados obtidos.

5.1 Vulnerabilidade Potencial.

Para gerar a carta de vulnerabilidade potencial da BHCM, foi necessário realizar a análise individual de cada classe dos fatores: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação Pretérita e Clima. A avaliação criteriosa desses elementos permitiu identificar as fragilidades naturais das classes UTBs, sendo uma etapa fundamental para a posterior integração dos dados e elaboração dos produtos cartográficos de vulnerabilidade.

5.1.1 Vulnerabilidade para a classe Geologia.

Após a compilação dos dados, foram identificadas cinco classes geológicas na BHCM, sendo: Depósitos aluvionares, Formação Xaraiés, Formação Aquidauana, Formação Cerradinho e Grupo Cuiabá. Para a vulnerabilidade da Geologia foi adotado os valores propostos por Crepani et al. (2001), levando em consideração o grau de coesão das rochas (Figura 8-A).

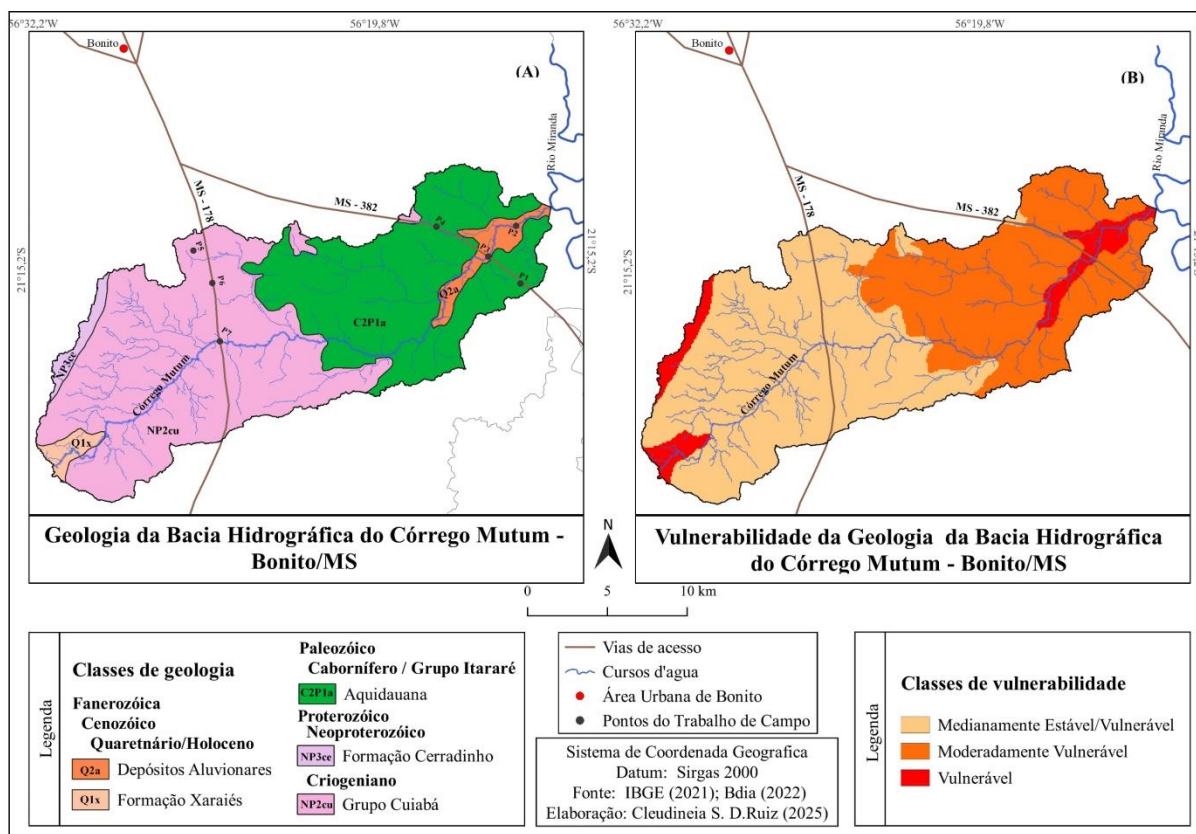


Figura 8 - (A) Geologia da BHCM; (B) Vulnerabilidade da Geologia da BHCM.

A Geologia da bacia é composta pela predominância de rochas Metamórficas representada pelo Grupo Cuiabá ocupando 53,9% da área da bacia. As rochas sedimentares representada pela Formação Aquidauana, Formação Xaraiés, Formação Cerradinho, Depósitos Aluvionares Holocênicos ocupando 46,01% da área da bacia. Conforme mostra na Figura 8-A e Tabela 8.

Tabela 8 - Classes geológicas e valores de vulnerabilidade para a litologia.

Classes	Litologia	Área		Vulnerabilidade	
		km ²	%	Índice	Grau
Grupo Cuiabá	Filito	193,0	53,9%	2,1	Medianamente Estável/Vulnerável
Formação Aquidauana	Arenito	140,5	39,2%	2,4	Moderadamente Vulnerável
Depósitos Aluvionares Holocênicos	Sedimentos inconsolidados	12,30	3,4%	3,0	Vulnerável
Formação Xaraiés	Calcário	6,0	1,68%	2,9	
	Siltitos		1,73%	2,7	
Formação Cerradinho	argilitos	6,2			
Total	-	358,00	100%		-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Os Depósitos Aluvionares e a formação Xaraiés pertencem ao período Quaternário/Holoceno da era Cenozóica. São as formações mais recentes da classificação.

Os Depósitos Aluvionares estão localizados na porção leste/noroeste da BHCM, ocupando aproximadamente 3,4% da área. São depósitos inconsolidados, compostos por areia, cascalho, silte, argila e, localmente, tufas. Esses depósitos variam de grosseiros a conglomeráticos (BDIA, 2021). Eles representam a classe geológica com o maior índice de vulnerabilidade (3) de acordo com Crepani et al. (2001). Por serem inconsolidados, estão sujeitos a erosão com maior facilidade.

A Formação Xaraiés é composta por tufas calcárias, travertinos e conglomerados com cimento calcífero. As tufas calcárias são estratificadas e apresentam cores variáveis, enquanto os travertinos são rochas maciças e fraturadas, e os conglomerados contêm fragmentos de diversos tamanhos, desde seixos até matacões (BDIA, 2023; BRASIL, 2006). A Formação Xaraiés está localizada na porção sudoeste da BHCM e representa 1,68% da área. A litologia presente na BHCM é formada por tufas calcárias, que são rochas porosas e pouco compactadas, originadas pela deposição de carbonato de cálcio em ambientes úmidos. Essas características tornam a litologia naturalmente suscetível à erosão e instabilidade, o que se reflete no índice de vulnerabilidade atribuído conforme a metodologia de Crepani et al. (2001), que foi de 2,9.

A Formação Cerradinho pertence ao grupo Corumbá do período Neoproterozóico III (era Neoproterozóica). É constituída por intercalações de arcóseos, siltitos, arenitos, argilitos, lentes de calcários, dolomitos, margas, ardósias, metargilitos, metassiltitos e folhelhos, com metaconglomerados polimíticos. Constituinte a base do Grupo Corumbá (BRASIL, 2006; BDIA, 2021).

As litologias identificadas na área de estudo correspondem aos siltitos e argilitos, que ocupam uma pequena porção (1,73%) no setor oeste da BHCM. Essas unidades sobrepõem as rochas do Grupo Cuiabá por meio de falhas inversas de alto ângulo e discordância angular. O índice de vulnerabilidade atribuído a essa litologia, conforme a metodologia de Crepani et al. (2001), foi de 2,7. Esse valor reflete as características físicas dessas rochas, que apresentam textura fina, baixa permeabilidade e tendência à fraturação, o que as torna suscetíveis a processos de intemperismo físico e químico, além de favorecer a instabilidade superficial e a erosão (BRASIL, 2006).

Os Depósitos Aluvionares, as rochas calcárias da Formação Xaraiés e os siltitos e argilitos da Formação Cerradinho obtiveram o maior grau de vulnerabilidade (próximo de 3) por serem rochas frágeis, inconsolidadas e de baixa coesão, o que as torna facilmente desintegráveis e suscetíveis ao desgaste provocado por chuvas, ventos e outros processos erosivos.

A Formação Aquidauana pertence ao Grupo Itararé, período Carbonífero da era Paleozóica. Sua litologia é composta principalmente por arenitos de coloração vermelho-tijolo, cinza-arroxeados e esbranquiçados, com granulometria variando de fina a grossa. Apresenta também conglomerados, intercalações de siltitos e argilitos, além de algumas lentes de diamictito (BRASIL, 1982; MATO GROSSO DO SUL, 1990; BDIA, 2023).

A rocha identificada na área de estudo foi o arenito, ocupando 39,2% de área BHCM, sendo, da região central se estendendo para leste, nordeste e sudeste. As rochas areníticas da Formação Aquidauana são originadas da deposição de areia e possuem uma litologia que se desagrega com facilidade sob a ação do intemperismo, o que contribui para sua maior vulnerabilidade à erosão. O índice de vulnerabilidade atribuído à litologia, de acordo com Crepani et al. (2001), foi de 2,4, sendo classificada como moderadamente vulnerável.

O Grupo Cuiabá pertence ao período Criogeniano da era Neoproterozóica. Sua litologia inclui metaconglomerados polimíticos, metarenitos, quartzitos, metarcósios, metassiltitos, filitos, calcários e microconglomerados. Exibindo estruturas dobradas, com camadas que se alternam em formas anticlinais e sinclinais. (BRASIL, 2006)

As litologias do Grupo Cuiabá na área da BHCM foram identificadas como filito, mármore e metagravauca (CPRM, 2006), ocupando 53,9% de área. Sendo, a área central, se estendendo para o norte, oeste e sul da bacia. O índice de vulnerabilidade atribuído de acordo com a metodologia ao filito (2,1), ao mármore (2,3) e a metagravauca (2,6), sendo classificado no mapa de vulnerabilidade como Medianamente Estável/Vulnerável.

Das litologias pertencentes ao Grupo Cuiabá, na atividade de campo no ponto 6 (Figura 8 - A) foi observado um afloramento de filito, em um corte de estrada na MS 178, a oeste da BHCM (Figura 9).



Figura 9 - Afloramento de Filito na Br 178. Fonte: Próprio autor (22/03/2024).

O filito possui minerais frágeis que se desagregam com facilidade, quando exposto poderá ser facilmente intemperizado. Por ser uma rocha mais antiga, muitas vezes persiste no ambiente porque geralmente está protegido por camadas de outras rochas. (BDIA, 2023; MATO GROSSO DO SUL, 1990).

5.1.2 Vulnerabilidade para a classe Geomorfologia.

Após a compilação dos dados morfométricos do relevo, obteve-se o resultado da Declividade e do ICR Local. No qual a Declividade foi reclassificada de acordo com as classes sugeridas por Crepani et al (2001) e o ICR obteve a classificação segundo a metodologia de Sampaio e Augustin (2014). Para calcular a vulnerabilidade o ICR obteve reclassificação de 1 a 3 de acordo com metodologia de Crepani et al (2001) e por meio da calculadora raster foi realizada a álgebra de mapas, conforme mostra a figura 10.

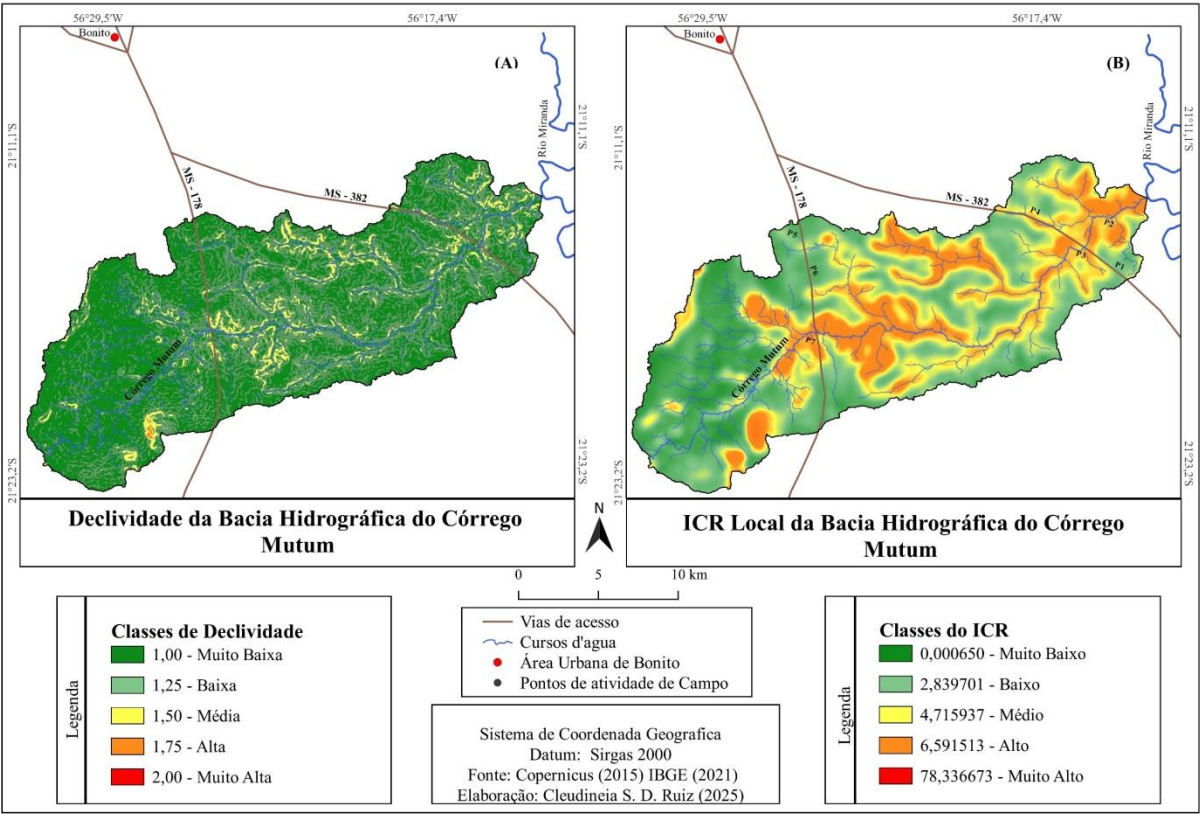


Figura 10 - Fatores para ponderar a Vulnerabilidade da Geomorfologia. (A) Declividade); (B) ICR Local.

A declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte e influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial da água (runoff). Quanto maior a declividade, mais rápido a energia potencial da água se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade e a capacidade de transporte da água, intensificando a erosão e esculpindo o relevo, colaborando com o processo de morfogênese (CREPANI et al, 2001).

O ICR (Índice de Concentração da Rugosidade) é uma medida usada para quantificar a variação da superfície do terreno, capturando a complexidade e irregularidade do relevo. Esse índice avalia a rugosidade ao analisar as diferenças de elevação em uma determinada área (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014).

Tabela 9 - Área ocupada pela declividade e ICR.

Classes	Declividade (%)	Área		ICR	Área	
		km²	%		km²	%
Muito Baixa	1,00	186,67	52,10	0.00065	109	30,44
Baixa	1,25	153,03	42,71	2.8397	122	34,08
Média	1,50	18,35	5,12	4.7159	89,7	25,06
Alta	1,75	0,26	0,07	6.5915	37,3	10,42
Muito Alta	2,00	0	0	0		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

De acordo com a declividade, a Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum (BHCM) apresenta relevo que varia de muito baixa a média inclinação. Aproximadamente 52,10% da área apresenta relevo muito baixo, com inclinação de até 1%; 42,71% apresentam relevo baixo, com inclinação entre 1% e 1,25%; e 5,12% da área apresenta relevo de média inclinação, variando entre 1,25% e 1,5%, conforme ilustrado na Figura 10-A, detalhado na tabela 9.

A análise dos dados do ICR local revelou que 30,44% da área possui muito baixa concentração de rugosidade; 34,08%, baixa concentração; 25,06%, média concentração; e 10,42%, alta concentração de rugosidade (Figura 10-B). A baixa concentração de rugosidade, presente em mais de 60% da área da BCHM, está associada a áreas de declividade reduzida, indicando superfícies mais uniformes e com menor variação altimétrica. As áreas com maior concentração de rugosidade (10% de área) indicam formas do relevo mais irregulares, contribuindo para variação da inclinação local. A rugosidade atua como um modulador da declividade, reforçando ou suavizando os contrastes do relevo, o que influencia diretamente a dinâmica do escoamento superficial e a suscetibilidade da erosão (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014).

Pode-se observar a inclinação e a rugosidade do terreno (Figura 11 - A; B), no ponto 3 do trabalho de campo.

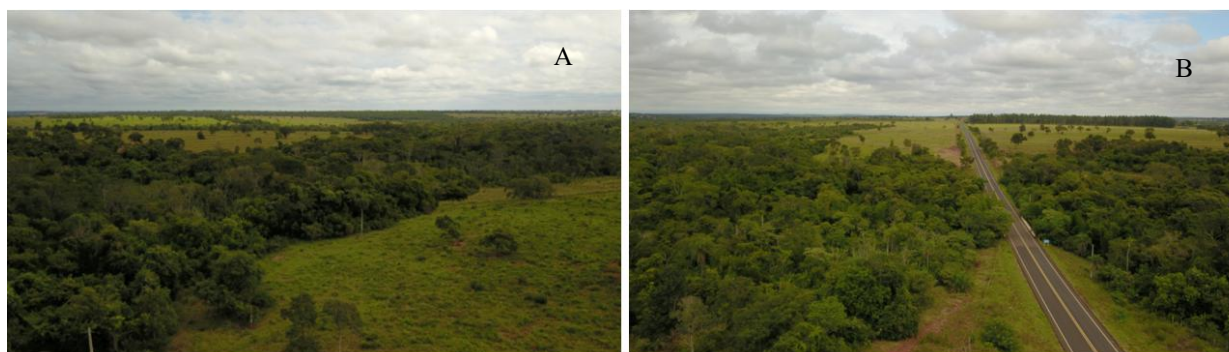


Figura 11 - A; B: Inclinação do terreno, ponto 3 do trabalho de campo (Br 382). Fonte: Próprio autor (22/03/2024)

A vulnerabilidade natural da Geomorfologia é resultante da média ponderada da Declividade e do ICR Local calculados pela álgebra de mapas (Figura 12).

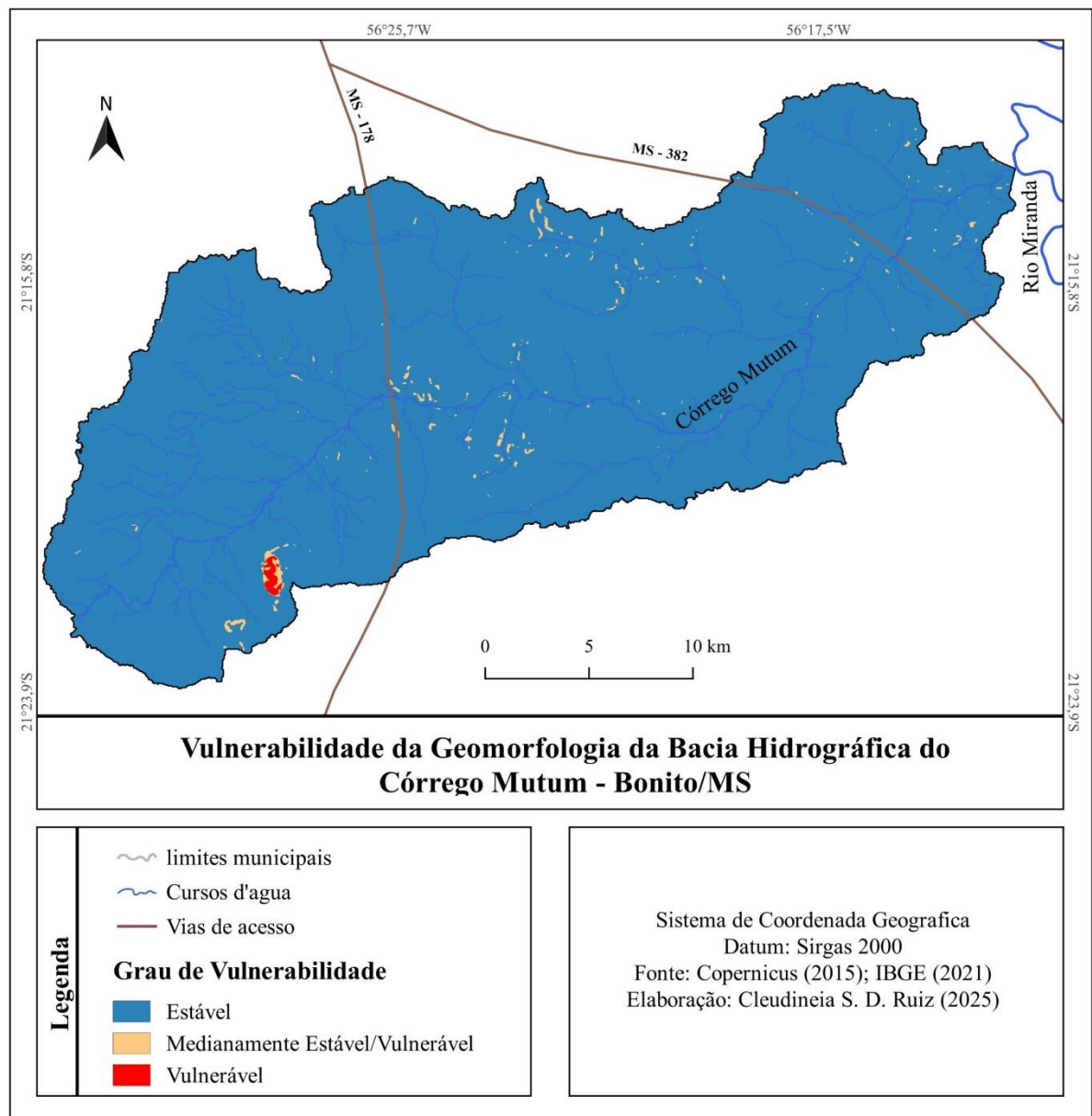


Figura 12 - Vulnerabilidade da Geomorfologia da BHCM.

A Vulnerabilidade natural da geomorfologia apresentou estabilidade em 99,28% da área, 0,58 % medianamente estável/ vulnerável e 0,12 % Vulnerável (Figura 12; Tabela 10).

A análise integrada entre a declividade e o ICR revelou que a BHCM apresenta, em sua maioria, superfícies suavizadas e com baixa complexidade morfométrica. A predominância de áreas com declividade muito baixa indica uma baixa energia de escoamento superficial, o que resulta em menor potencial erosivo e maior estabilidade geomorfológica.

Tabela 10 - Área ocupada pelo grau de Vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade	Área km ²	Área %
1,0 a 1,3	Estável	355,45	99,28 %
1,4 a 1,7	Moderadamente estável	0,00	0,00
1,8 a 2,2	Medianamente estável/ vulnerável	2,09	0,58 %
2,3, a 2,6	Moderadamente Vulnerável	0,00	0,00
2,7 a 3,0	Vulnerável	0,46	0,12 %
	Total	358,00	100 %

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

5.1.4 Vulnerabilidade para classe Solos.

Após a compilação dos dados, foi identificado a presença de quatro classes de solos na área da BHCM: Plintossolos Argilúvico, Gleissolos Melânico, Latossolos Vermelho e Nitossolos Vermelho (Figura 13 - A). Para a vulnerabilidade foi adotado os valores propostos por Crepani et al. (2001), levando em consideração o grau de desenvolvimento ou maturação do solo como principal característica para estabelecer as classes de vulnerabilidade. Solos mais jovens possuem um grau de vulnerabilidade maior, enquanto solos maduros possuem grau de vulnerabilidade menor (CREPANI et al. 2001).

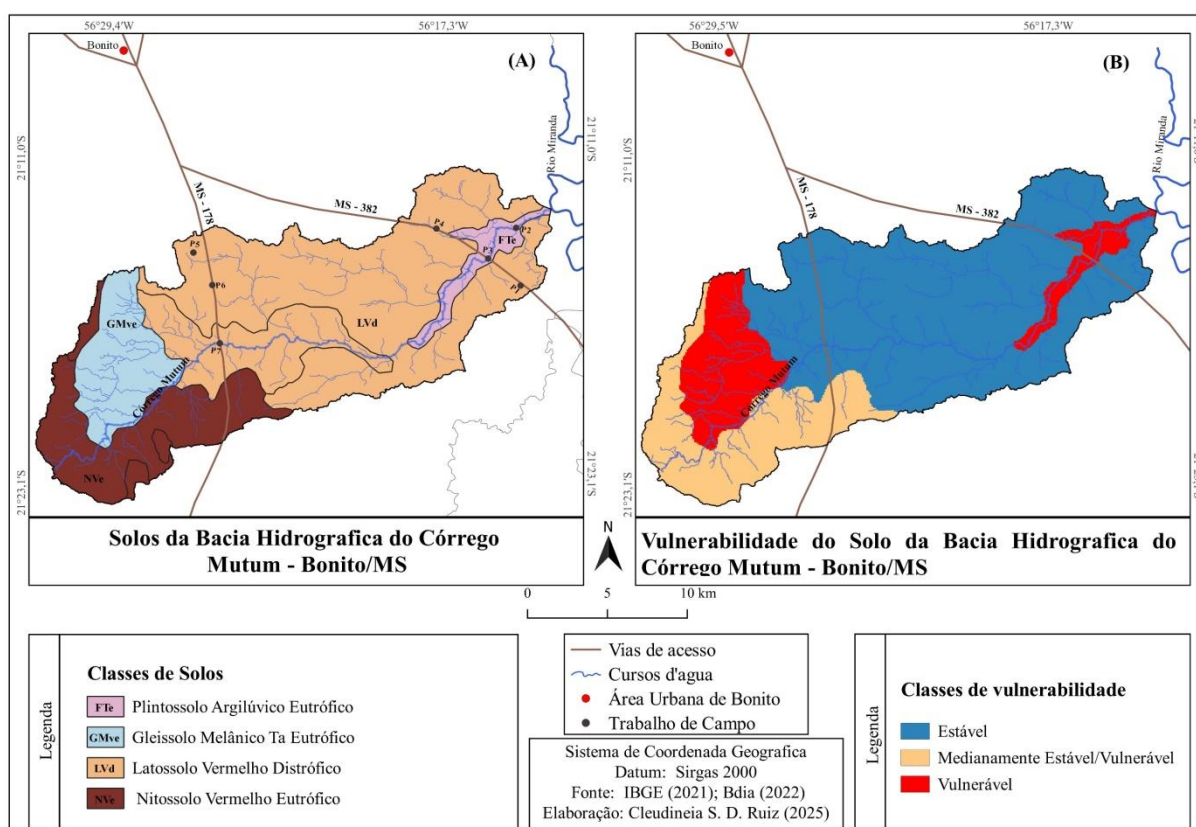


Figura 13 - (A) Solos da BHCM; (B) Vulnerabilidade dos solos da BHCM

Entre os solos identificados, observa-se a predominância do Latossolos vermelho (Figura 13-A). O latossolos vermelho são constituídos por material mineral, apresentando

horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura (EMBRAPA, 2018)

Os latossolos são solos bem desenvolvidos, considerados solos velhos ou maduros, com grande profundidade e porosidade, cujo materiais são os mais decompostos. Esses solos se encontram em estágio avançado de intemperização, com evolução significativa devido a intensas transformações no material origem. São praticamente desprovidos de minerais primários ou secundários, sendo menos resistentes ao intemperismo. Eles variam desde solos predominantemente caulíníticos até solos oxídicos. Normalmente os latossolos possui uma sequência de horizontes bem definida devido aos processos intensos de intemperismo e lixiviação (BRASIL, 1982; EMBRAPA, 2012; 2018).

Os latossolos vermelho estão presente em toda região central da BHCM, de norte a sul e se estendendo para leste, totalizando em 64,24% da área da bacia (Tabela 11). Podendo ser observado a classe dos latossolos vermelho na figura 14, ponto 6 do trabalho de campo (Figura 13 – A).



Figura 14 - Classe Latossolos vermelho, ponto 6 do trabalho de campo. Fonte: Próprio autor (22/03/2024).

O índice de vulnerabilidade atribuído para a classe dos latossolos foi de 1,0 (Estável). De acordo com Crepani et al (2001), os solos bem desenvolvidos (profundos e maduros) tem maior estabilidade.

Tabela 11 – Área ocupada pelo solo e grau de vulnerabilidade.

Classes	Área		Vulnerabilidade	
	km ²	%	Índice	Grau
Latossolos vermelho	230,0	64,24%	1,0	Estável
Nitossolos vermelho Eutrófico	68,9	19,24%	2,0	Medianamente Estável/ Vulnerável
Plintossolos Argilúvico	14,8	4,13%	3,0	
Gleissolos Melânico	44,3	12,37%	3,0	Vulnerável
Total	358	100%		-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

O Nitossolo vermelho eutrófico, é caracterizado por sua alta fertilidade natural e coloração vermelha intensa devido ao alto conteúdo de óxidos de ferro, tão importante para a agricultura (BRASIL, 1982; EMBRAPA, 2018). São solos constituídos por material mineral, com mais argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A, apresenta argila de atividade baixa ou atividade alta conjugada com caráter aluminico, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

A classe do Nitossolo compreendendo 19,24% (68,9 km²) da área da BHCM, localizado a oeste, próximo a nascente do córrego Mutum, contornando o limite da bacia hidrográfica de noroeste a sul. Com grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável.

Os Plintossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B inicial situado abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial. Assim, a classe engloba desde solos com boa drenagem até aqueles com drenagem deficiente, solos de rasos a profundos, com cores que variam do marrom ou marrom-amarelado até vermelho escuro, textura argilosa ou muito argilosa, a superfície do solo, é estrutura em blocos subangulares ou angulares, prismática, de grau moderado ou forte com cerosidade expressiva. (EMBRAPA, 2018; IBGE, 2017). Em virtude da variedade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características desses solos variam bastante de um local para outro.

O Plintossolo Argilúvico é um solo raso (em formação), podendo ser erodido com muita facilidade. O índice de vulnerabilidade atribuído para essa classe de acordo com a metodologia aplicada é de 3,0, sendo classificado como vulnerável. Foi identificado um depósito dessa classe de solos nas áreas mais baixas do córrego Mutum, situado a leste da BHCM ocupando 4,13%, de área. Podendo ser observado no ponto 2 do trabalho de campo (Figura 13 - A).



Figura 15 – Classe Plintossolo Argiluvico, Ponto 2 do trabalho de campo. Fonte: Próprio autor (22/03/2024).

A classe Gleissolos Melânicos compreende 12,37% da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum (BHCM), localizanda a oeste, estendendo-se para o noroeste. Esses solos são mal drenados em condições naturais, definidos como minerais hidromórficos que possuem horizonte glei entre 50 cm e 150 cm de profundidade, situados logo abaixo dos horizontes A ou E (independentemente da presença de gleização) ou de um horizonte hístico com espessura insuficiente para classificá-los como Organossolos. Além disso, não apresentam textura exclusivamente arenosa nos primeiros 150 cm de profundidade e não possuem horizonte vértico típico de Vertissolos. Horizontes como plânico, plântico, concrecionário ou litoplântico, se presentes, ocorrem a mais de 200 cm de profundidade (EMBRAPA, 2012).

Esses solos são caracterizados por estarem permanentemente ou periodicamente saturados por água, a qual pode permanecer estagnada internamente ou resultar de fluxo lateral. Em ambas as situações, a água pode ascender por capilaridade e alcançar a superfície. Essa saturação prolongada favorece o desenvolvimento do processo de gleização, responsável pela manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas nos solos, devido à redução e dissolução do ferro, o que permite a expressão das cores neutras dos minerais da argila ou ainda a precipitação de compostos ferrosos (EMBRAPA, 2012).

De acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), os Gleissolos Melânicos receberam um índice de vulnerabilidade 3,0, sendo classificados como vulneráveis. Essa vulnerabilidade está associada principalmente a má drenagem natural, que compromete a estabilidade física do solo e favorece processos de degradação, como a compactação, a perda de estrutura e a suscetibilidade à erosão quando exposto a alterações no uso da terra, como a retirada da cobertura vegetal ou práticas agrícolas inadequadas.

5.1.4 Vulnerabilidade para a classe Clima.

O clima do município de Bonito onde se localiza a BHCM, é o tropical úmido, distinguindo-se pela ocorrência de uma estação seca, marcada entre junho e setembro e pela concentração das precipitações nos meses de novembro a janeiro. A temperatura média anual registrada é de 23,1 °C (SILVA, 2023).

Para determinar a vulnerabilidade do clima, foi adotado os valores propostos por Crepani et al. (2001), levando em consideração a pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, que quantifica o grau de risco das unidades de paisagem (CREPANI et al. 2001).

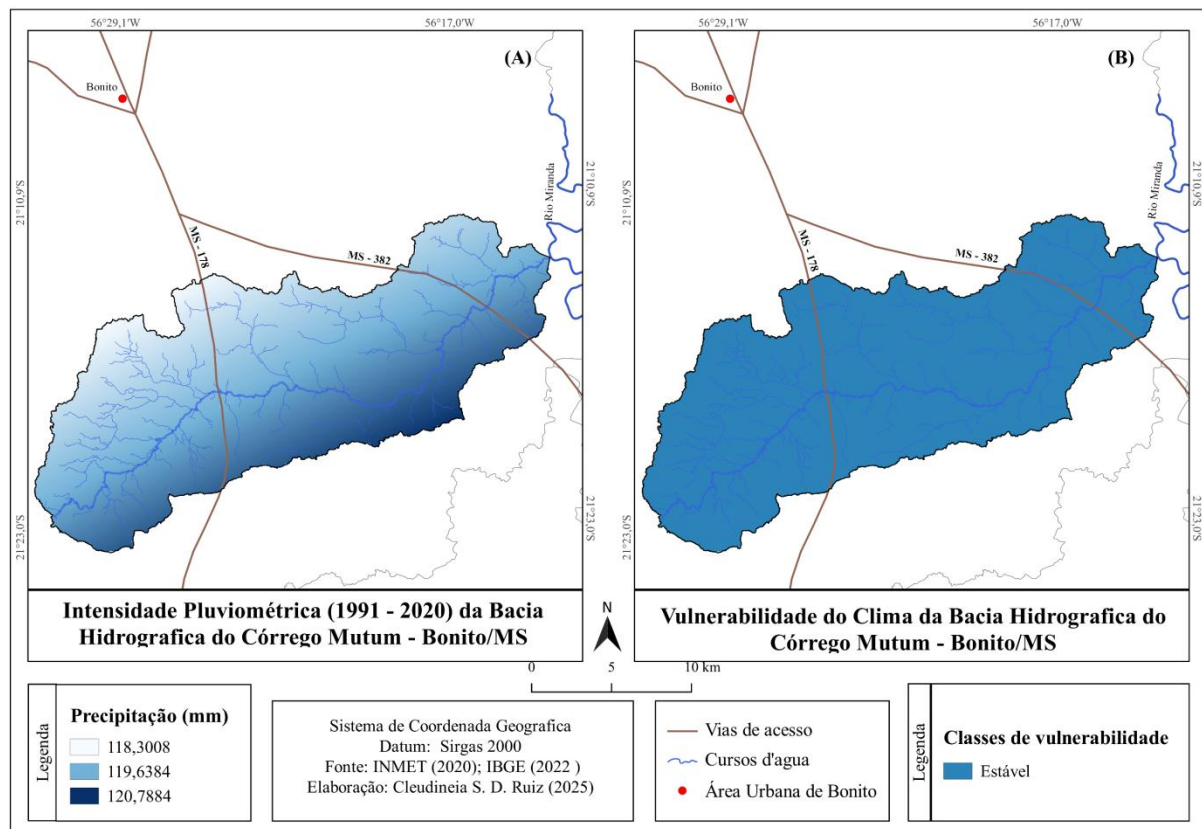


Figura 16 - (A) Clima da BHCM; (B) Vulnerabilidade do Clima da BHCM.

Após a compilação dos dados de normais climatológicas das estações escolhidas, foi identificado a média de precipitação anual que variou de 83,16 a 141,63 mm, cujo recorte temporal de análise foi de 1991-2020 (Tabela 12).

Tabela 12 - Intensidade pluviométrica e Vulnerabilidade do Clima.

Estação	Latitude	Longitude	Precipitação anual (mm)	IP (Intensidade pluviométrica)	Índice	vulnerabilidade Grau
Campo Grande	20,4472	54,7224	1455,3	121,27	1.3	
Corumba	18,9966	57,6374	998	83,16	1.2	
Dourados	22,1938	54,9113	1441,8	120,15	1.3	Estável
Nhumirim (Nhecolandia)	18,9886	56,6227	1046,2	87,18	1.2	
Ponta Porã	22,5525	55,7163	1699,6	141,63	1.4	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

As estações analisadas, foram as mais próximas da área, sendo assim o mapa de clima gerado foi de uma área grande cujas intensidades pluviométricas indicaram índices de vulnerabilidade variando de 1,2 a 1,4, conforme estabelecidos pela metodologia adotada (Tabela 12). Ao recortar para a área de estudo constatou-se que o grau de vulnerabilidade da BHCM possui estabilidade. (Figura 16).

A intensidade e a distribuição das chuvas influenciam diretamente na perda de solo. Regiões com chuvas menos intensas e bem distribuídas tendem a ser mais estáveis, enquanto áreas com precipitações fortes e irregulares são mais vulneráveis à erosão. No caso da BHCM a regularidade das chuvas contribui para reduzir os riscos de degradação do solo. (CREPANI et al, 2001).

5.1.5 Vulnerabilidade para a classe Vegetação Pretérta

De acordo com Crepani et al. (2001) a densidade da cobertura vegetal é um fator muito importante para proteção do solo, dificultando os processos de morfogênese. Sendo assim, áreas com alta densidades de cobertura vegetal são consideradas estáveis e áreas com baixa densidade são consideradas vulneráveis.

Para a análise da vegetação, foram considerados os dados da vegetação pretérta, ou seja, aquela existente antes da ocupação e modificação antrópica. A área de estudo (BHCM) era coberta pela ocorrência de Savana Florestada, cuja fisionomia correspondente ao Cerrado com maior densidade arbórea, além de áreas de transição com Floresta Estacional. (Figura 17 - A)

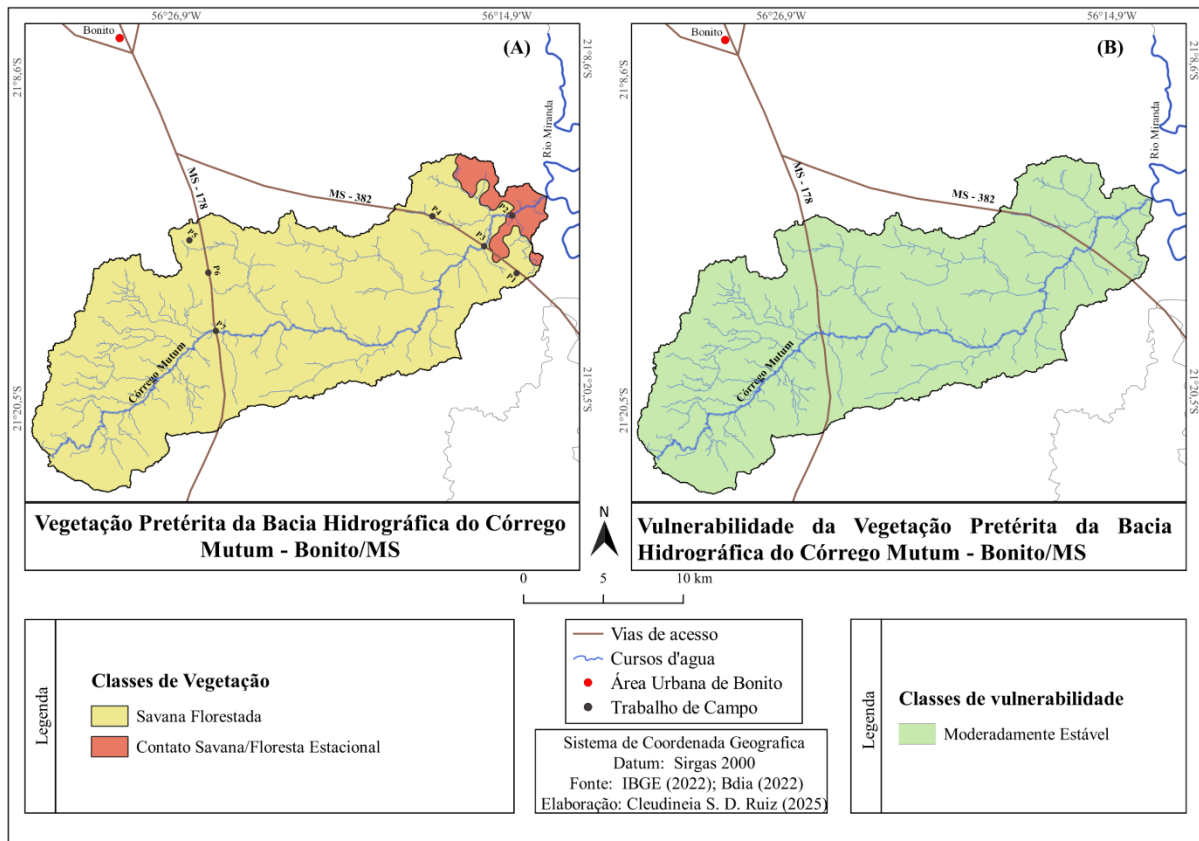


Figura 17 - (A) Vegetação Pretérta da BHCM; (B) Vulnerabilidade da Vegetação Pretérta da BHCM.

O Cerrado é caracterizado por solos naturalmente pobres em nutrientes, condição atribuída à sua origem geológica, ligada a antigos depósitos sedimentares submetidos a intensos processos de pedogênese ao longo de milhares de anos. Essa base geológica, aliada à diversidade das formações fitofisionômicas do bioma, influencia diretamente as propriedades físico-químicas dos solos, refletindo em diferentes graus de suscetibilidade à degradação (LEITE, 2011).

No contexto das savanas tropicais, o Cerrado configura-se como uma de suas expressões mais representativas. A savana é considerada uma vegetação xeromorfa, composta por plantas adaptadas a condições de seca prolongada e alta luminosidade, predominando as comunidades arbórea e herbácea. A vegetação arbórea apresenta árvores médias ou baixas, espaçadas e de copas amplas, que coexistem com uma rica comunidade herbácea formada por caméfitos, hemicriptófitos, geófitos e terófitos, todos adaptados ao clima sazonal típico das regiões tropicais (MENDES, 2004; BDIA, 2023; IBGE, 2012).

A variação dos tipos de savana depende das condições climáticas, geográficas e da vegetação predominante em cada região. Embora o bioma Cerrado compreenda diferentes tipos de formações savânicas, que variam de campos limpos a áreas densamente arborizadas, na área

de estudo foi identificada exclusivamente a ocorrência da Savana Florestada. (BDIA, 2018). Conforme pode ser observado na Figura 18, um fragmento da Savana Florestada encontra-se nas áreas de APP (Área de Preservação Permanente) do córrego Mutum.



Figura 18 - Fragmento de Vegetação Pretérta (Savana Florestada), no ponto 3 da atividade de campo (Br 382). Fonte: Próprio autor (22/03/2024).

Essa fitofisionomia representa uma das formações mais densas do Cerrado, caracterizada por um estrato arbóreo contínuo, com árvores de médio porte, e estrutura que se aproxima das formações florestais abertas (BDIA, 2023; IBGE, 2012).

Além das formações típicas do Cerrado, na BHCM também identificou áreas de contato entre Savana e Floresta Estacional. Essas zonas de transição conhecidas como ecótonos, sendo a mistura de espécies, ou encraves quando as fisionomias se interpenetram sem se misturar, reúnem elementos de ambos os tipos de vegetação. Tais formações são compostas por gêneros que se expandiram ao longo dos cursos d'água originados nos planaltos e serras cratônicas, que funcionam como divisores naturais das principais bacias hidrográficas brasileiras (IBGE, 2012; BDIA, 2018).

Por meio dos dados do Bdia (2022), reclassificados para vegetação pretérta, a Savana Florestada ocupava 95,54% e o contato Savana/Floresta Estacional 4,45 % da área da BHCM (Figura 16 - A; Tabela 13).

Tabela 13 - Área ocupada pela vegetação Pretérta e grau de vulnerabilidade

Vegetação Pretérta	Área		Vulnerabilidade	
	Km ²	%	Índice	Grau
contato Savana/ Floresta Estacional	16,00	4,457	1,5	Moderadamente
Savana Florestada	343,00	95,543	1,5	Estável
Total	359,00	100		

Fonte: Organizado pelo Autor (2025)

Tanto a Savana Florestada como o contato Savana/Floresta Estacional recebeu o índice de vulnerabilidade 1,5, resultando no grau moderadamente estável. Ressaltando que se trata da vegetação natural da área da BHCM antes da intervenção antrópica (Figura 16 - B).

5.1.6 Vulnerabilidade Potencial da BHCM

As características das Unidades Territoriais básicas (UTBs), resultaram na definição da vulnerabilidade potencial da BHCM (Figura 19). A vulnerabilidade potencial corresponde à susceptibilidade natural do ambiente sem a interferência antrópica (TOMAZONI; GUIMARÃES; TOMAZONI, 2025).

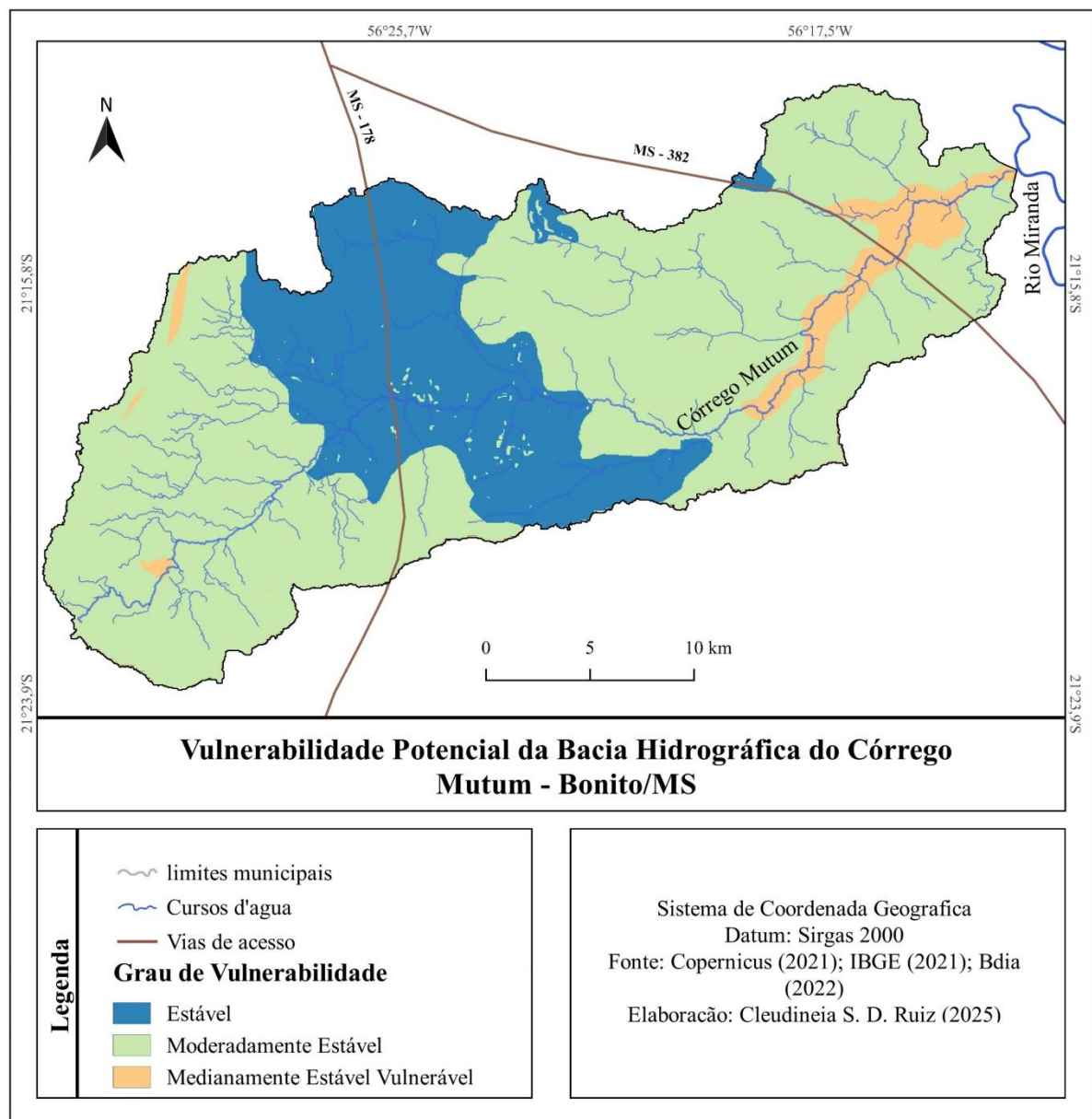


Figura 19 - Vulnerabilidade Potencial da BHCM.

A análise da vulnerabilidade potencial indicou baixa fragilidade natural na BHCM, sendo 25,8% (92,30 km²) da área classificada como estável, 69,4% (248,55 km²) como moderadamente estável e apenas 4,8% (17,15 km²) apresentando condição medianamente estável/vulnerável (Figura 19; Tabela 14).

Tabela 14 - Vulnerabilidade Potencial das UTBs.

Indice	Grau	Km	%
1,0 a 1,3	Estável	92,30	25,8
1,4 a 1,7	Moderadamente Estável	248,55	69,4
1,8 a 2,2	Medianamente Estável/Vulnerável	17,15	4,8%
2,3 a 2,6	Moderadamente Vulnerável	0,00	0,00
2,7 a 3,0	Vulnerável	0,00	0,00
Total		358,00	100%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

A BHCM apresenta predominância da classe Moderadamente Estável/Vulnerável, com estabilidade concentrada na área central. Essa estabilidade foi influenciada pela geologia da região, que determina a resistência e profundidade do solo, e pela classe de solos (Latosolos Vermelhos) que, por serem profundos e bem desenvolvidos, conferem maior resistência natural à perda de solo.

5.2 Vulnerabilidade Emergencial.

Com o passar do tempo, o uso e ocupação da terra transformam significativamente a paisagem, alterando tanto a estrutura ecológica quanto a funcionalidade do ecossistema. Para analisar essa transformação na BHCM, realizou-se um estudo temporal de 40 anos, com intervalo de 10 anos para cada ano analisado (1984, 1994, 2004, 2014 e 2024). Ao consolidar o mapa de uso e ocupação da terra de cada ano analisado com a vulnerabilidade potencial da BHCM, obteve-se a vulnerabilidade emergencial.

5.2.1 Uso e Cobertura da Terra e Vulnerabilidade Emergencial de 1984-2024.

De acordo com os dados analisados do Bdia (2022) a vegetação pretérita da BHCM é composta por Savana Florestada e o contato Savana/Floresta Estacional (Figura 18-A). Em 1984, a área da BHCM já se apresenta com 61,1 % da sua área antropizada e apenas 38,9% permanecem com a vegetação Pretérita, como mostra a figura 20-A e a tabela 15.

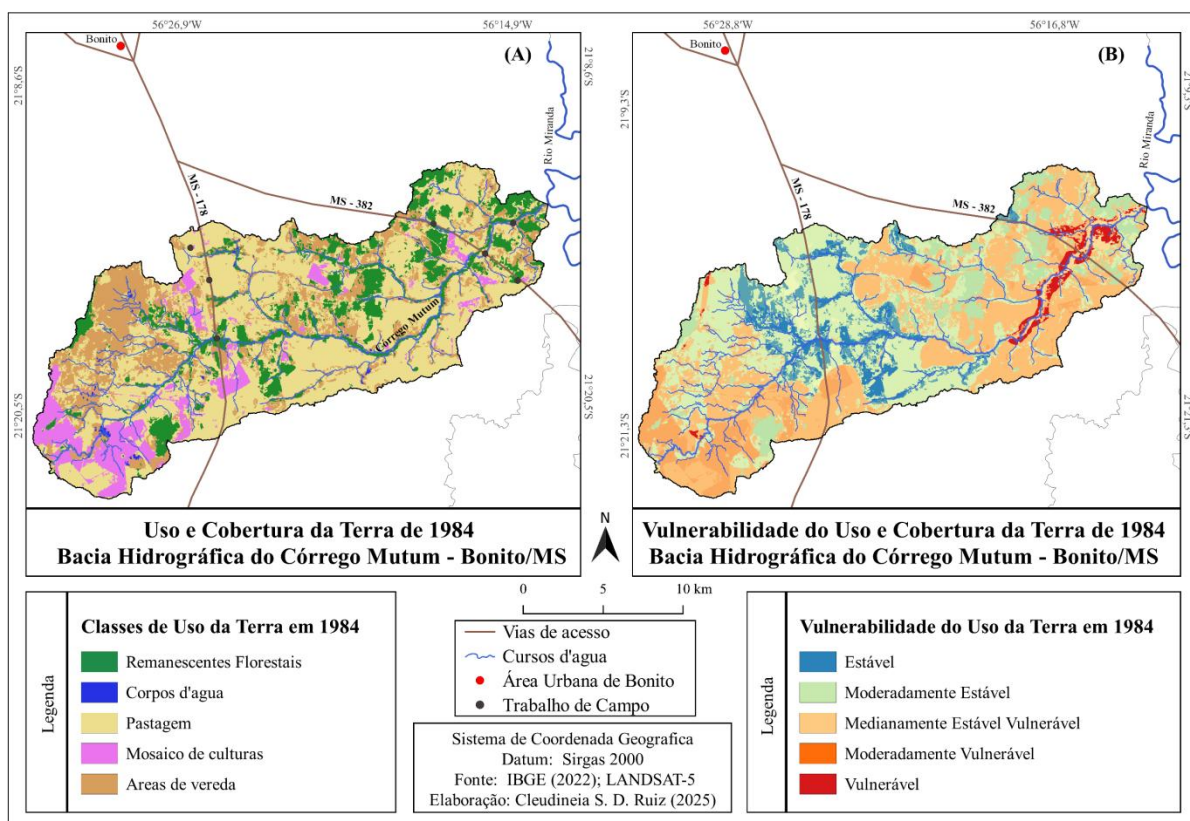


Figura 20 - (A) Uso e cobertura da terra de 1984; (B) Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 1984.

Em 1984, há um destaque para pecuária (pastagem), tendo 52% da área da BHCM ocupada pela classe (Figura 20-A; Tabela 15). De acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001) o índice de vulnerabilidade aplicado para pastagem é 2,8. Ao cruzar os dados de uso e ocupação da terra de 1984 com a vulnerabilidade potencial da BHCM, constatou áreas com grau de vulnerabilidade Moderadamente Estável e áreas com grau de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável para classe (Figura 20-B e tabela 15).

O mosaico de culturas ocupa 9,1% (32,63km²) de área, cujo índice de vulnerabilidade aplicado de acordo com Crepani et al. (2001) é de 3,0. Em 1984 o grau vulnerabilidade está alterando de Medianamente Estável/Vulnerável para Moderadamente vulnerável (Figura 20-B; Tabela 15).

Os Remanescentes Florestais ocupando 15% (52,42) da área da BHCM, o grau de vulnerabilidade atribuído para classificar o tipo de vegetação de acordo com a metodologia aplicada para vegetação pretérta (Savana Florestada e o contato Savana/Floresta Estacional) é de 1,5 como discutido anteriormente na classe de vegetação pretérta. Porém Crepani et al. (2001) aponta que a vulnerabilidade da vegetação depende do grau de cobertura vegetal, sendo

assim as áreas com alta densidade de vegetal possui estabilidade. Sendo assim, as áreas onde possui vegetação pretérta apresentou vulnerabilidade Estável e Moderadamente Estável (Figura 20 – B).

Tabela 15 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 1984.

Classe de Uso	Área		Validação da Classificação		Índice de Vulnerabilidade
	KM ²	%	Índice Kappa	Exatidão global %	
Remanescentes Florestal	52,42	15	0.95	96.68	1,5
Corpos d'agua	1,52	0,4			-
Pastagem	187,10	52			2,8
Mosaico de Cultura	32,63	9,1			3,0
Area de vereda	84,27	23,5			1,8
Total	358,00	100			

Fonte: Elaborado pelo do autor (2025).

Durante a classificação das imagens, na vegetação pretérta (Savana Florestada) foram identificadas áreas úmidas (Áreas de Vereda). De acordo com o Código Florestal Brasileiro, (2012, p. 13), na Lei nº 12.651/2012, Art. 3 - XII, as Áreas de Vereda são “fitofisionomias de savana, encontrada em solos hidromórficos, usualmente com a palmeira arbórea, *Mauritia flexuosa* – buriti – emergente, sem formar dossel, em meio a agrupamentos de espécies arbustivo-herbáceas.” As veredas são ecossistemas típicos de regiões de cerrado, caracterizados por áreas baixas e encharcadas onde ocorre fluxo lento de água. Elas se formam em solos com camadas superficiais permeáveis e camadas inferiores impermeáveis, criando condições para o desenvolvimento de vegetação específica, como o buriti, e desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade e dos ciclos hídricos regionais. A Lei nº 12.651/2012 determina ainda a necessidade da delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em zonas rurais ou urbanas, conforme descrito no Art. 4 – XI: “a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado”.

Além da definição legal prevista no Código Florestal, é importante destacar o papel ecológico das veredas como ambientes úmidos de grande relevância para o equilíbrio ambiental. Caracterizadas por solos hidromórficos e localizadas em terrenos depressivos, essas áreas atuam na regulação do ciclo hidrológico e na manutenção da biodiversidade (OLIVEIRA, 2022).

Em 1984, as áreas de vereda ocupavam 23% de área, equivalente a 84,27 km². (Figura 2020-A). A maior Área de Vereda está localizada de Oeste a sudoeste da bacia hidrográfica,

onde se concentram várias nascentes de drenagens que alimentam o canal principal (córrego Mutum). Essa área está associada ao tipo de solo Gleissolo Melânico, sendo solos mal drenados em condições naturais. As Áreas de Vereda recebem índices de vulnerabilidade de 1,8 de acordo com a metodologia aplicada e para esse ano (1984) as áreas ocupadas pelas veredas apresentaram vulnerabilidade Moderadamente Estável (Figura 20).

Em 1994, houve um aumento de 10,9% na área antropizada da BHCM em relação a 1984, acompanhado por uma redução nas áreas de vereda, refletindo o avanço das atividades agropecuárias na região. Nesse ano, a vegetação pretérita correspondia a 27,9% da área, enquanto as áreas antrópicas totalizavam 72%, conforme demonstrado na figura 21-A e na tabela 16.

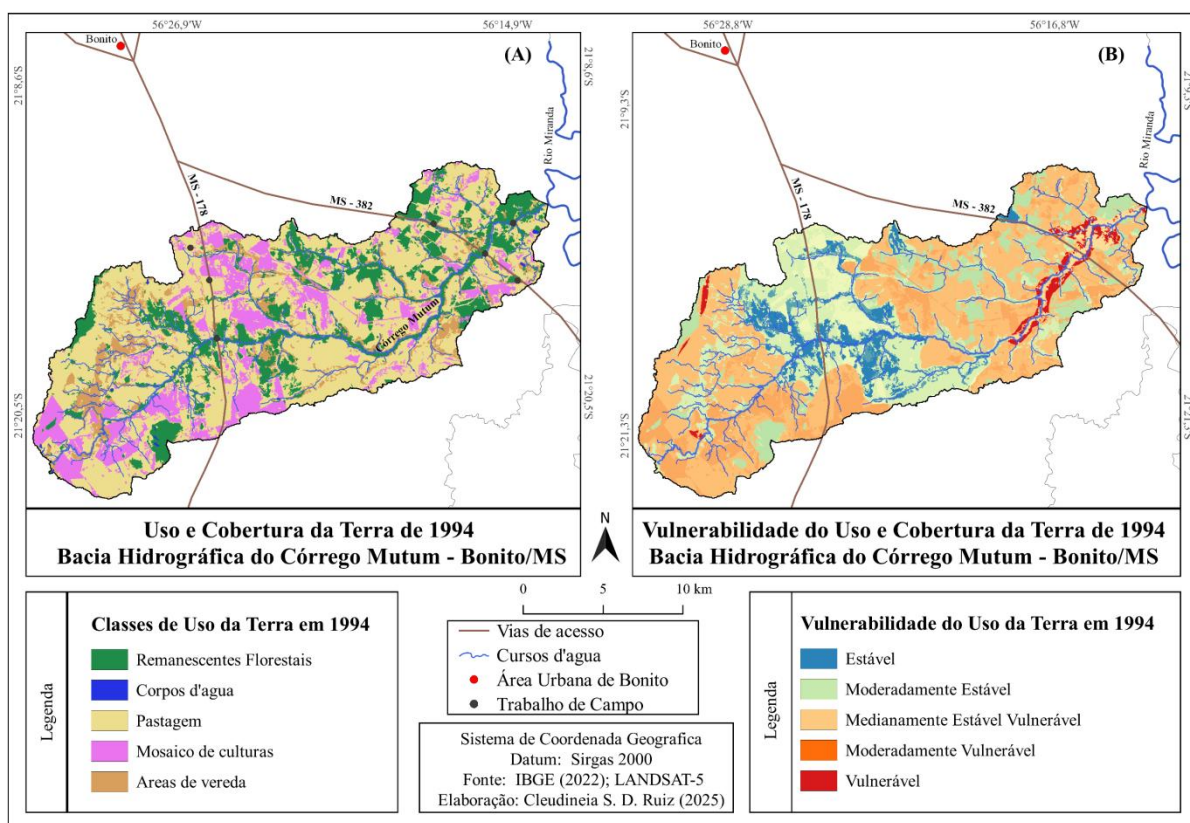


Figura 21 - (A) Uso e cobertura da terra de 1994; (B) Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 1994.

Da vegetação Pretérita, 17,6% (63.00 km²) da área da BHCM é ocupado pelos Remanescentes Florestais (Savana Florestada e o contato Savana/Floresta Estacional), apresentando vulnerabilidade que variou de Estável à Moderadamente Estável. 10,3% da BHCM (37,00 km²) são ocupados pelas áreas de vereda. A redução dessas áreas pode estar relacionada com período de seca, no qual são usadas para pastagem. As áreas classificadas como

veredas para esse ano (1994) apresentaram grau de vulnerabilidade Moderadamente Estável (Figura 21; Tabela 16).

Tabela 16 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 1994.

Classe de Uso	Área		Validação da Classificação		Índice de Vulnerabilidade
	KM ²	%	Índice Kappa	Exatidão global %	
Remanescentes Florestal	63.00	17,6	0.9	92.88	1,5
Corpos d'agua	0.65	0,1			-
Pastagem	197.2	55,2			2,8
Mosaico de Cultura	60.14	16,8			3,0
Area de vereda	37.00	10,3			1,8
Total	358,00	100			

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Da área antrópica, 55,2% (197,2 km²) corresponde à classe de Pastagem. A vulnerabilidade para a classe variou, na área central da BHCM onde apresentou estabilidade na vulnerabilidade natural, apresentou grau de vulnerabilidade Moderadamente Estável. Para as demais áreas de Pastagem a vulnerabilidade foi classificada como Medianamente Estável/Vulnerável (Figura 21; Tabela 16).

A classe Mosaico de Culturas ocupa 16,8% (60,14 km²) de área da BHCM, cujo índice de vulnerabilidade aplicado para essa classe de acordo com Crepani et al. (2001) é de 3,0 com grau de vulnerabilidade Moderadamente Vulnerável para 1994. (Figura 21; Tabela 16).

De 1994 até 2004 não houve mudanças significativas na área da BHCM. Em 2004 a vegetação pretérita correspondia a 27,77% da área da bacia, enquanto as áreas antrópicas totalizam em 71,8% da área. Nesse período, observou-se uma leve redução na classe Mosaicos de Cultura e um aumento na área ocupada por pastagens (Figura 22; Tabela 17).

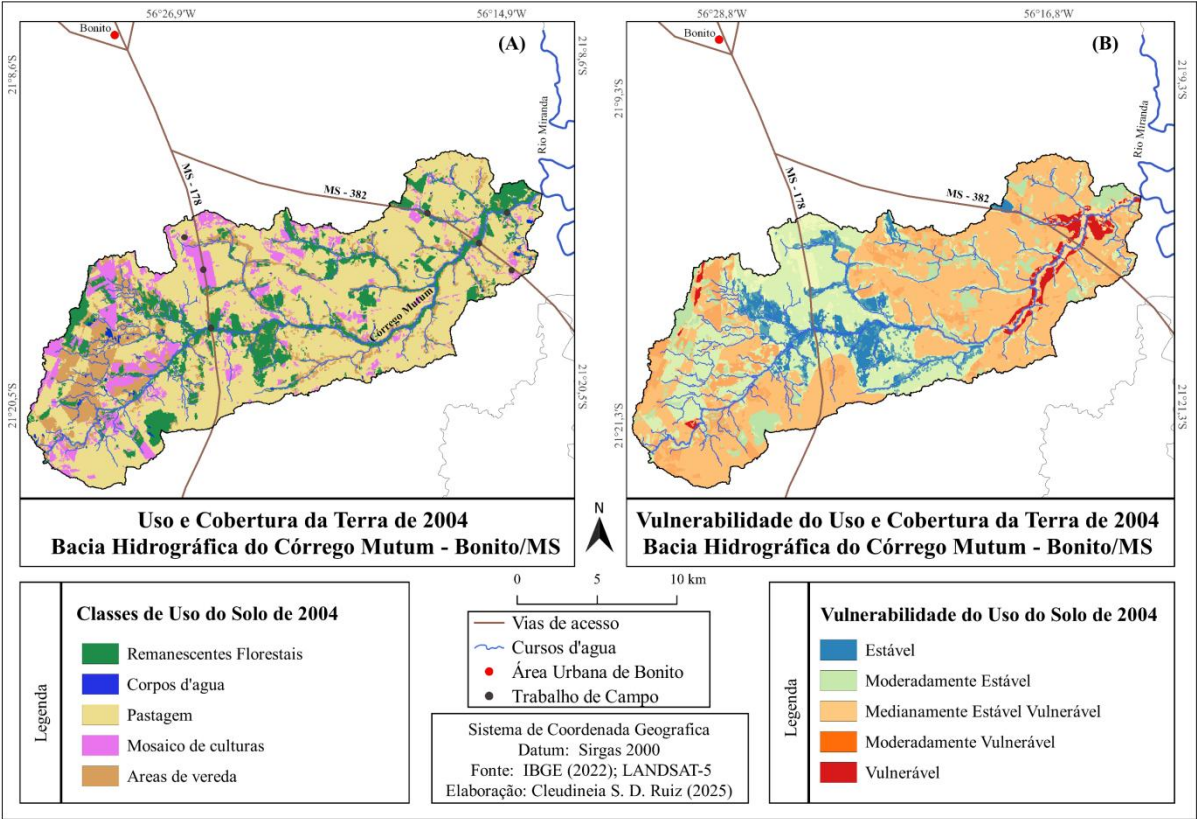


Figura 22 - (A) Uso e cobertura da terra de 2004; (B) Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2004.

Da vegetação Pretérita, 14,90% (53.31 km²) são Remanescentes Florestais, cuja vulnerabilidade varia de Estável à Moderadamente Estável. E, 12,87% da área (46.06 km²) são formados pelas áreas de vereda e, a vulnerabilidade é Moderadamente Estável. (Figura 22 – B; Tabela 17)

Tabela 17 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2004.

Classe de Uso	Área		Validação da Classificação		Índice de Vulnerabilidade
	KM ²	%	Índice Kappa	Exatidão Global %	
Remanescentes Florestal	53,31	14,9	0.97	98.37	1,5
Corpos d'água	1,56	0,43			-
Pastagem	219,81	61,4			2,8
Mosaico de Cultura	37,26	10,4			3,0
Area de vereda	46,06	12,8			1,8
Total	358,00	100			

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Da área antrópica, 61,40% (219,81km²) corresponde à Pastagem, A vulnerabilidade para a classe varia de de Moderadamente Estável à Medianamente Estável/Vulnerável (Figura 22;

Tabela 17). Os Mosaicos de Cultura ocupam 10,40% (37,26 km²) da área e apresenta grau de vulnerabilidade Vulnerável, conforme (Figura 22; Tabela 17).

Em 2014, observa-se um avanço de 12,4% na área destinada à agricultura, acompanhado de uma redução de 5% nas pastagens da área da BHCM, em comparação ao ano de 2004. A vegetação pretérta, teve uma redução de 9,48% nas áreas de vereda, enquanto os remanescentes florestais apresentam um aumento de 3,11%. (Figura 23 – A e Tabela 18).

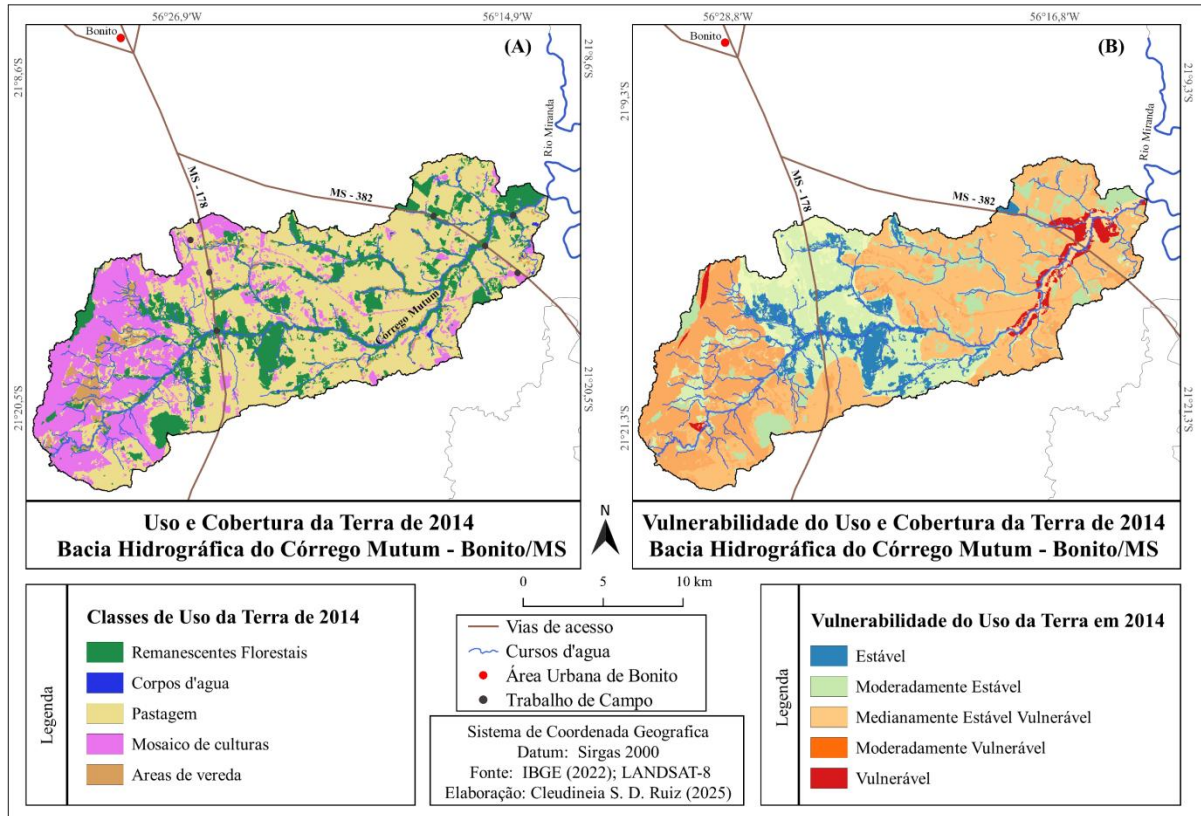


Figura 23 - (A) Uso e cobertura da terra de 2014; (B) Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2014.

Nesse ano, a vegetação pretérta corresponde a 21,4% da área da bacia, enquanto as áreas antrópicas totalizam em 78,43% (Figura 23; tabela 18).

Da vegetação pretérta, 18% da área da BHCM é ocupada pelos Remanescentes Florestais, cuja vulnerabilidade vai de Estável a Moderadamente Estável. E 3,39% da área é ocupada pelas veredas, que apresentam grau de vulnerabilidade Moderadamente Estável. A análise desse ano já aponta que a maior área de vereda vem sendo ocupada pela classe Mosaico de cultura (Figura 23; Tabela 18).

Tabela 18 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2014.

Classe de Uso	Área		Validação da Classificação		Índice de Vulnerabilidade
	KM ²	%	Índice Kappa	Exatidão Global %	
Remanescentes Florestal	64,50	18,0	0,96	97,22	1,5
Corpos d'água	0,64	0,17			-
Pastagem	199,23	55,6			2,8
Mosaico de Cultura	81,50	22,8			3,0
Área de vereda	12,13	3,39			1,8
Total	358,00	100			

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De 78,43% da área antrópica, 22,8% são ocupados pelo Mosaico de Cultura, que apresentam grau de vulnerabilidade Moderadamente Vulnerável (Figura 23; Tabela 18). E 55,63% da área é ocupada pela Pastagem, com vulnerabilidade variando de Moderadamente Estável a Medianamente Estável/Vulnerável (Figura 23; Tabela 18).

Em 2024 a vegetação pretérita corresponde a 23,7% de área, enquanto as áreas antrópicas totalizam em 76,23% de área da BHCM. Em comparação a 2014, não tem mudanças em quantidade de área antrópica e pretérita. Portanto a análise do Uso da Terra de 2024 aponta um grande avanço da agricultura na área da bacia hidrográfica e uma redução da Pastagem, ou seja, áreas que eram ocupadas pela pastagem passam ser ocupadas por agriculturas de ciclos anuais, como foi observado no trabalho de campo (Figura 24 - A).

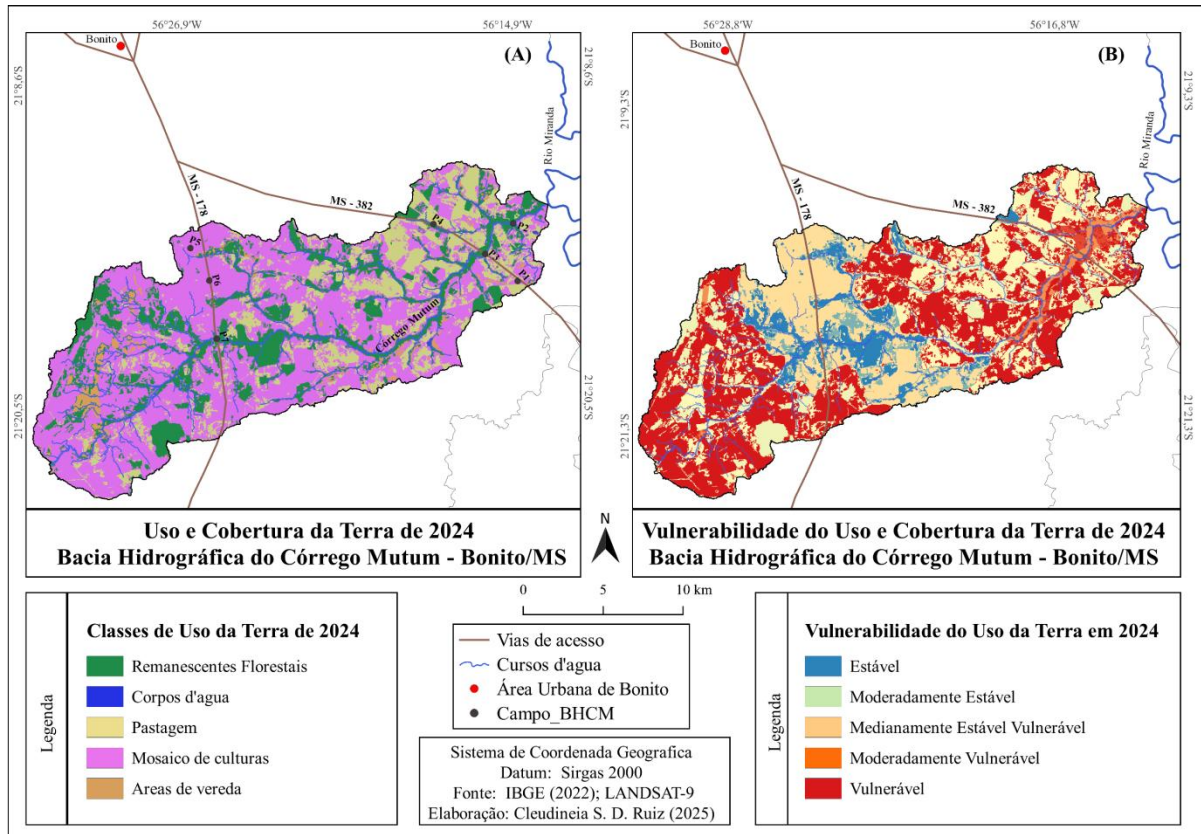


Figura 24 - (A) Uso e cobertura da terra de 2024; (B) Vulnerabilidade do Uso e cobertura da terra de 2024.

Da vegetação Pretérita, 20,40% da área são os Remanescentes Florestais (Savana Florestada e o contato Savana/Floresta Estacional) varia de Estável na área central da bacia à Medianamente Estável/Vulnerável nas demais áreas. Podendo ser observado um fragmento da Savana Florestada na Figura 24, ponto 3 do trabalho de campo (Figura 24- A) onde a classificação da vulnerabilidade foi de Medianamente Estável/Vulnerável.



Figura 25 - Fragmento de Vegetação Pretérita (Savana Florestada), ponto 3 do trabalho de campo, Br 382. Fonte: Próprio Autor (22/03/2024).

As áreas de vereda correspondem a 3,30% da área da BHCM e apresentam grau de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável (Figura 24; Tabela 19). Pode-se observar uma área de Vereda em meio da pastagem (Figura 25), ponto 1 do trabalho de campo (Figura 24 - A).



Figura 26 - Fragmento da Vegetação Pretérita (Área de Vereda). Ponto 1 do trabalho de campo, Br 382. Fonte: Próprio Autor (22/03/2024).

Em 1984 as áreas de vereda ocupavam 23,5% da bacia (Figura 20 – A), em 2024, observa-se que essas áreas alagadas diminuíram para 3,30% (Figura 24 – A; Tabela 19) uma redução de 20,2% de áreas alagadas. Contudo, a maior parte dessas áreas encontram-se atualmente ocupada por atividades agrícolas, o que intensifica os impactos negativos sobre o equilíbrio dos serviços ecossistêmicos. A conversão de áreas úmidas em cultivos agrícolas, aliada

ao uso intensivo do solo, resulta em processos de degradação como a compactação, a erosão e a contaminação dos corpos d'água (FIGUEIREDO, 2020).

Tabela 19 - Uso e Cobertura da Terra e Índice de Vulnerabilidade para 2024.

Classe de Uso	Área		Validação da Classificação		Índice de Vulnerabilidade
	KM ²	%	Índice Kappa	Exatidão Global %	
Remanescentes Florestal	73,03	20,4	0.90	93.98	1,5
Corpos d'agua	0,23	0,07			-
Pastagem	66,75	18,6			2,8
Mosaico de Cultura	206,17	57,5			3,0
Area de vereda	11,82	3,30			1,8
Total	358,00	100			

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Da área antrópica, 18,64% correspondem a áreas de Pastagem em 2024. Com o avanço da agricultura, as áreas que permaneceram como Pastagem apresentou grau de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável. Podendo ser observado no ponto 1 (Figura 27 - A) e ponto 4 (Figura 27 - B) do trabalho de campo.

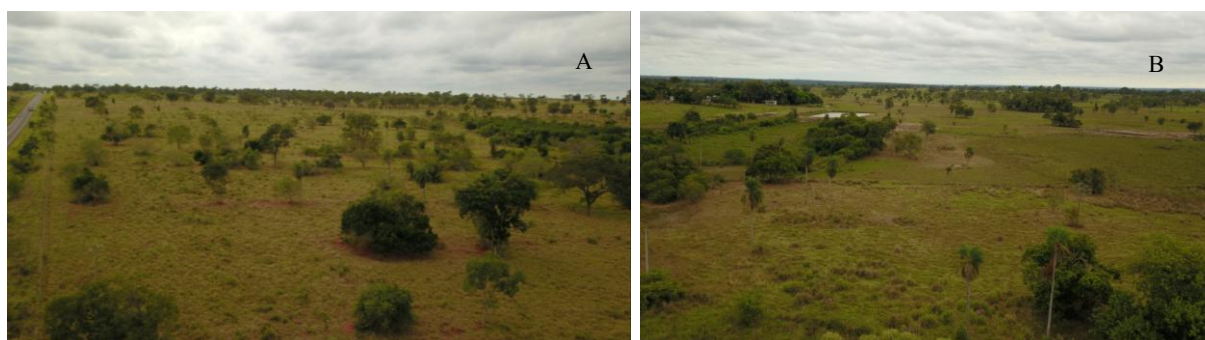


Figura 27 - (A) Área de Pastagem (Ponto 1); (B) Área de Pastagem (Ponto 4) do trabalho de campo (Br 382). Próprio Autor (22/03/2024).

O Mosaico de Cultura ocupa 57,59% da área da BHCM em 2024. Na área central da bacia a vulnerabilidade resultou em Moderadamente Vulnerável, e o restante da área como vulnerável. Apesar de toda a área ser ocupada por algum tipo de cultura teve essa diferença de vulnerabilidade, isso se deve as características das UTBs terem resultado na estabilidade natural da área, sendo uma área mais resistente a degradação. (Figura 23- B; Tabela 19).

No trabalho de campo foi observado grandes áreas com cultivo de soja e Sorgo (Figura 28).



Figura 28 – (A) Cultivo de soja (Ponto 4 do trabalho de campo); (B) cultivo de soja (Ponto 5 do trabalho de campo); (C) Cultivo de sorgo (Ponto 6 do trabalho de campo); (D) Preparação do solo (Ponto 5 do trabalho de campo). Fonte: Próprio Autor (22/03/2024).

A análise temporal de 1984 a 2024 evidenciou uma inversão no uso da terra da BHCM (Figura 29).

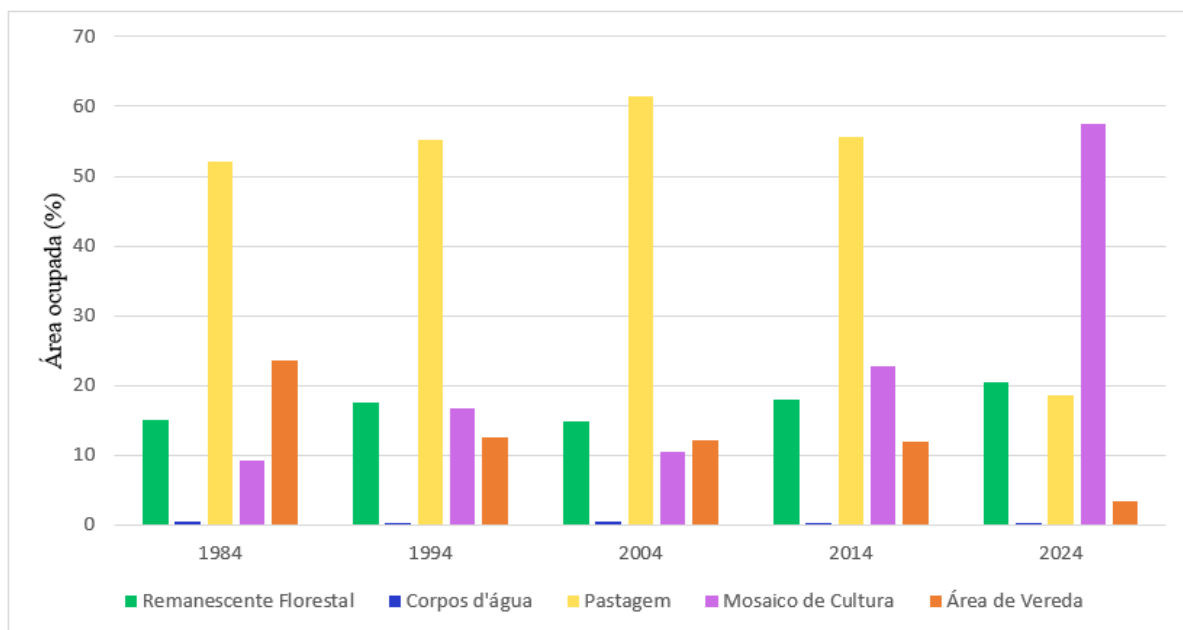


Figura 29 - Uso e cobertura da terra de 1984 - 2024. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em 1984, a classe predominante era a pastagem, que ocupava 52% da área da bacia. Esse percentual aumentou para 55,2% em 1994 e, posteriormente, para 61,4% em 2004. Em 2014, houve uma redução para 55,6%, e em 2024 a pastagem representa apenas 18,6% da área total. (Figura 29; Tabela 20)

Os Mosaicos de cultura em 1984 ocupavam 9,1% de área, sem muito avanço até 2014, que chegou ocupar 22,8% de área. Em 2024 apresenta um impressionante avanço da agricultura para 57,5% da área da BHCM. Sendo assim áreas que eram usadas para pastagem passam ser ocupadas pela agricultura (Mosaicos de cultura) conforme mostra na tabela 20.

Tabela 20 - Área das Classes de Uso e Cobertura da Terra de 1984 a 2024.

Classe de Uso	Área									
	1984		1994		2004		2014		2024	
	Km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
Remanescentes Florestal	52,4	15	63,00	17,6	53,31	14,9	64,50	18,0	73,0	20,4
Corpos d'agua	1,52	0,4	0,65	0,1	1,56	0,43	0,64	0,17	0,23	0,07
Pastagem	187,1	52	197,2	55,2	219,8	61,4	199,2	55,6	66,75	18,6
Mosaico de Cultura	32,63	9,1	60,14	16,8	37,26	10,4	81,50	22,8	206,1	57,5
Área de vereda	84,27	23,5	37,00	12,5	46,06	12,8	12,13	3,39	11,82	3,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Essa inversão da pastagem para cultivo da soja na área da BHCM, está ligada à expansão agrícola na região do município de Bonito, impulsionada por maior lucratividade da cultura em comparação à pecuária. (HIRAKURI et al, 2020). Essa mudança do tipo de uso da terra, além de alterar a paisagem, também reflete na vulnerabilidade da área da BHCM.

A vulnerabilidade muda conforme o uso da terra, ao analisar os resultados obtidos de vulnerabilidade emergencial de 1984 até 2024, observa-se a dinâmica de transformação na

ocupação da área da BHCM. Para o ano que apresentou o avanço na agricultura, observa-se também o aumento de áreas classificadas como vulneráveis, evidenciando os impactos da intensificação agrícola sobre a estabilidade ambiental da BHCM (Figura 30; Tabela 21).

Tabela 21 - Área da Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 - 2024).

Vulnerabilidade		1984		1994		Área 2004		2014		2024	
Índice	Grau	Km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
1,0 a 1,3	Estável	33,31	9,51	28,66	8,00	29,91	8,37	25,3	7,10	34,05	9,51
1,4 a 1,7	Moderadamente Estável	146,96	41,11	112,01	31,28	116,02	32,46	97,16	27,14	0	0
1,8 a 2,2	Medianamente Estável/Vulnerável	10,26	2,90	21,90	6,11	16,14	4,51	20,40	5,69	106,90	29,87
2,3 a 2,6	Moderadamente Vulnerável	158,46	44,30	187,60	52,40	186,55	52,11	205,3	57,34	63,95	17,86
2,7 a 3,0	Vulnerável	8,01	2,18	7,85	2,22	9,40	2,55	9,8	2,73	153,05	42,76

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A classe de vulnerabilidade Estável não apresenta mudanças significativas ao longo do período analisado (Tabela 21; Figura 30).

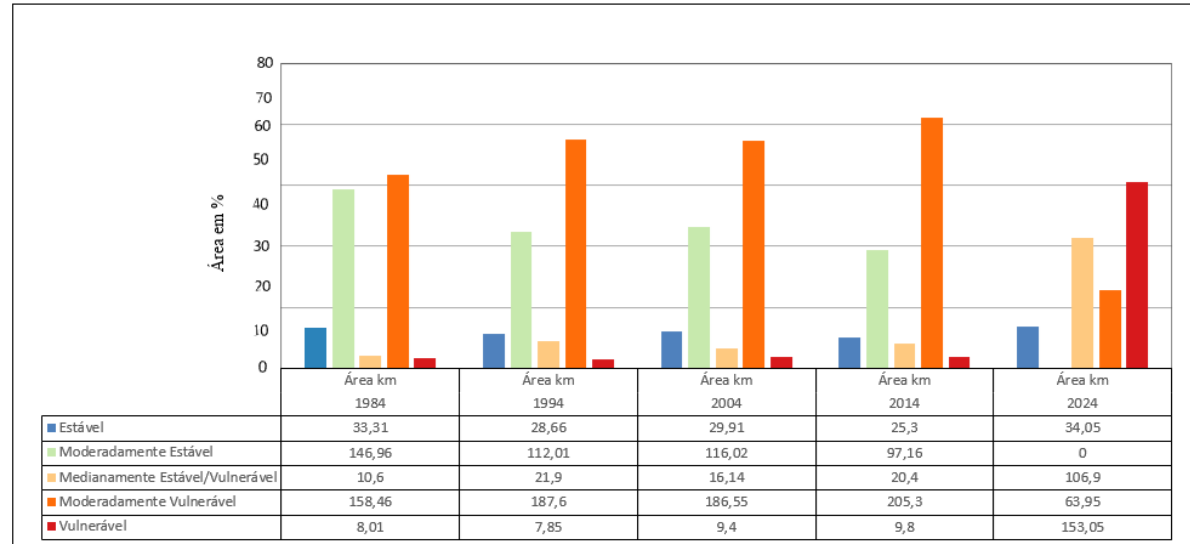


Figura 30 - Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 – 2024). Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A classe Moderadamente Estável aparece com percentual considerável em 1984 (41,11%) e foi reduzindo gradativamente sua área até 2014 (27,14%), em 2024 a classe desaparece completamente; A classe Medianamente Estável/Vulnerável apresentou baixo percentual em área de 1984 (2,90%) até 2014 (5,69%), aumentando para 29,87% em 2024; A classe Moderadamente Vulnerável aparece em 1984 com 44,30% de área e foi aumentando sua área até 2014 (63,95%), em 2024 diminui para 17,86%; A classe Vulnerável teve baixo percentual de área ocupada de 1984 (2,18%) até 2014 (2,73%), aumentando sua área para (42,76%) em 2024 (Figura 30; Tabela 21).

Em um período de 30 anos (1984 – 2014) da análise a classe Moderadamente Vulnerável, obteve um maior percentual de área ocupada, indicando uma condição de fragilidade intermediária, mas já preocupante. No período de 10 (2014 – 2024) observa-se uma redução expressiva dessa classe para 17,86% e um aumento significativo da classe Vulnerável (42,76%), o que demonstra uma intensificação da fragilidade na última década analisada (Figura 30; Tabela 21).

Os dados apontam para uma intensificação na ocupação agrícola e substituição das pastagens pela agricultura, gerando maior pressão sobre o solo e nos recursos hídricos. O aumento da vulnerabilidade emergencial na BHCM é o reflexo da expansão da agrícola no município de Bonito/MS.

Embora Bonito seja amplamente reconhecido por seu ecoturismo e conservação ambiental, a expansão da agricultura, especialmente da soja, levanta preocupações sobre os impactos ambientais, como a redução da vegetação nativa e a pressão sobre áreas de preservação permanente. Portanto, é essencial implementar práticas agrícolas sustentáveis e políticas de uso do solo que equilibrem o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental na região (HIRAKURI et al, 2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho realizou análise da vulnerabilidade da Bacia da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum, no município de Bonito/MS, que possui extensão territorial de 358 km². Para desenvolver a análise, foi aplicada a metodologia de Vulnerabilidade Natural à Perda do Solo, proposta por Crepani et al. (2001), com objetivo de avaliar a fragilidade das condições naturais da bacia hidrográfica (Vp) e a vulnerabilidade decorrente do uso da terra (Ve), a fim de compreender como o tipo de uso influencia no grau de vulnerabilidade da área.

A metodologia possibilitou classificar individualmente a vulnerabilidade das UTBs (geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação pretérita). No qual a geologia obteve predominância do Grupo Cuiabá (53,9%) classificada com vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável, seguida da formação Aquidauana (Moderadamente Vulnerável). A Geomorfologia obteve predominância de terrenos suaves e baixa rugosidade, sendo 99,28% da área classificada com vulnerabilidade estável. Os solos profundos como o Latossolo vermelho garantiram a estabilidade da área. O clima, obteve índices pluviométricos variando de 75mm a 150mm, correspondendo a estabilidade da área. A vegetação pretérita foi classificada com grau Moderadamente Estável. Posteriormente, por meio de álgebra de mapas integrou os dados das UTBs resultando na Vulnerabilidade Potencial (Vp) da BHCM.

O resultado da Vp evidenciou que a BHCM possui proteção natural à perda do solo, sendo 25,8% da sua área classificada como estável, 69,4% moderadamente estável e 4,8% medianamente estável/vulnerável. A área central da bacia apresentou maior estabilidade, isso ocorreu pela influência da geologia local e os solos (Latosolos Vermelhos,) profundos e bem desenvolvidos, resultando em maior resistência natural à perda de solo, colaborando com a estabilidade da área.

Ao integrar a vulnerabilidade potencial (Vp) ao uso da terra obteve-se a vulnerabilidade emergencial (Ve). Para obter o uso da terra, foi desenvolvido o estudo temporal de 40 anos (1984; 1994; 2004; 2014; 2024) por meio de classificação de imagens de satélites, processadas pelas geotecnologias no software QGIS 3.22.

Os resultados apresentaram alterações significativas no uso da terra. A classe dos remanescentes florestais se manteve em média de 17,9 % de área ocupada, a vulnerabilidade da classe variou de Estável a Moderadamente Estável durante a análise. A classe áreas de vereda ocupava 23,5% de área em 1984, passou a ocupar 3,30% de área em 2024, a vulnerabilidade da área ocupada pela classe foi Moderadamente Estável. De 1984 até 2014, o uso da terra predominante foi a pastagem, cuja classe de vulnerabilidade predominante foi Moderadamente

Vulnerável, indicando uma condição de fragilidade intermediária a preocupante. Em 2024, com o desenvolvimento da agricultura no município de Bonito, ocorreu uma inversão na classe de uso da terra (pastagem para mosaico de culturas) intensificando a fragilidade da área e elevando o grau de Vulnerabilidade para Vulnerável. A área central da BHCM apresentou maior resistência às pressões antrópicas determinada pelas suas características de estabilidade potencial.

O desenvolvimento da pesquisa ampliou a compreensão sobre a dinâmica territorial em bacias hidrográficas, mostrando como o tipo de uso da terra interfere na fragilidade natural, aumentando sua vulnerabilidade. O uso de geotecnologias para aplicar a metodologia transformou teorias em práticas e o trabalho de campo permitiu atualizar e validar os resultados obtidos, consolidando meu aprendizado e fortalecendo a importância de desenvolver estudos ambientais e aplicar práticas sustentáveis na gestão de bacias hidrográficas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOZZI, Sylvio Luiz; VIADANA, Adler Guilherme. A bacia hidrográfica como unidade espacial de análise. **I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço e X Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP, Rio Claro/SP**. P. 5343 – 5360, 07 de outubro de 2010.

ALBUQUERQUE, Amanda Menezes de. Diagnóstico físico conservacionista como subsídio para o manejo e recuperação de áreas degradadas na bacia hidrográfica do médio curso do rio Jaguaribe (CE)-Brasil. 159 p. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

ALBUQUERQUE, Rafael Walter de. Monitoramento da cobertura do solo no entorno de hidrelétricas utilizando o classificador SVM (Support Vector Machines). Doutorado [**Tese**] Universidade de São Paulo/SP. 2012.

ALVES, Lorrane Barbosa. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Laranja Doce/MS. 214 p. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

ANDREOLA, Rafaela. Support Vector Machines na classificação de imagens hiperespectrais. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 2009.

AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALETTA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo, SP: Blucher, 2017.

BARATA, Teresa Salgueiro. Paisagem e Geografia. **Finisterra**, Lisboa, v. 36, n. 72, p. 37-53, 2001.

BARBOSA, Liriane Gonçalves; GONÇALVES, Diogo Laercio. A paisagem em geografia: diferentes escolas e abordagens. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, Anápolis, v. 3, n. 2, p. 92-110, dez, 2014.

BEZERRA, Ulisses Alencar; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; SILVA, Bernardo Barbosa da; LEITE, Antônio Celso Leite de Sousa; SILVA, Luisa Thaynara Muricy de Souza. Comparativo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os Sensores OLI-Satélite Landsat-8 e MSI-Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ**, Rio de Janeiro/RJ, v. 41, p. 167-177, 2018.

BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do Meio Físico de Bacia Hidrográficas: Modelo e Aplicação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BERTRAND, Georges; ZARAGOZA, Fernando; POZZAN, Silvana. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 3, p. 1-24, 1972.

BOLÓS, Maria de. La idea de paisaje en la Geografía. In: _____. **Manual de ciencias del paisaje: teoría, método y aplicaciones**. Barcelona: Masson, 1992. p. 3-11.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado; SILVA, Anderson Soares da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: Vitte, Antônio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira (org.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. P 153 – 188.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (orgs). **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 269-300.

BOLFE, Édson Luis; PEREIRA, Rudiney Soares; MADRUGA, Pedro Roberto de Azambuja; FONSECA, Eliana Lima da. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 85-90, jan/fev, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP – Pantanal)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/arquivos/recomendacao-cnzu-no-6.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.

BRASIL. **Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL: folha SF.21 Campo Grande – geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: MME, 1982. 416 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (CPRM). Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul** (esc. 1:1.000.000). [livro]. Campo Grande, 2006.

CASTRO, José Flávio Moraes. História da Cartografia e das Geotecnologias. In: SILVA, Charlei Aparecido da; LEITE, Emerson Figueiredo (orgs.). **Cartografia e Geotecnologias: conceitos e aplicações**. 1. ed. Porto Alegre, RS: TotalBooks, 2023. p. 69–107. Disponível em: https://totalbooks.com.br/cartografiageotecnologias/?fbclid=IwQ0xDSwMY2bhjbGNrAxjZdwEdu_aDwIasYmCZmq_tXEAslTMlVsCaeIkFAsIszZgPqY5jJfZdCczlVSG&sfnsn=wiwspw. Acesso em: 30 set. 2024.

CARVALHO, Elisângela Martins de. **Análise diagnóstica de indicadores de erosão do solo na bacia hidrográfica do Córrego João Dias. Aquidauana/MS**. 2012. 143 f. Doutorado (Tese) Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

CARVALHO, Elisangela Martins de; PINTO, Sergio Anjos Ferreira. A utilização de modelos para análise de bacias hidrográficas. In: **I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço**, n. 1, 2010, Rio Claro/SP. Anais do I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço e X Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP/Rio Claro, 2010. p. 1247-1261, Disponível em: <https://sites.google.com/site/organizaocaodoespaco/anais>. Acesso em: 10 ago. 2024.

COSTA, Grenda Juara Alves; VIEIRA, Carla Iamara de Passos. Geotecnologias Para Análise da Vulnerabilidade Ambiental do Núcleo de desertificação do Piauí. **Caderno Prudentino De Geografia**, Presidente Prudente, v. 40, n. 2, p. 59–76, 2018.

CUBAS, Monyra Gutierrez; TAVEIRA, Bruna Daniela de Araujo. **Geoprocessamento: fundamentos e técnicas**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2024.

CUNHA, Giulliana Karine Gabriel; MEDEIROS, Caroline Eloize Barreto de; MELO Jéssica Freire Gonçalves de; CUNHA; Karina Patrícia Vieira da. Vulnerabilidade do solo a erosão hídrica e sua relação com o uso e ocupação da microbacia do rio Currais Novos-RN. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2022, Campina Grande. **Anais do I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**. Campina Grande: Editora Realize, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63984>. Acesso em: 12 jul. 2024.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Sebastião de; PALMEIRA, Alessandro Ferraz. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2004.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete. BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRISTIANINI, Nello; SHAW-TAYLOR, João. **Uma introdução as máquinas vetor de suporte e outros métodos de aprendizagem baseados em kernel**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. E-book Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/robotica/article/abs/an-introduction-to-support-vector-machines-and-other-kernelbased-learning-methods-by-nello-christianini-and-john-shawetaylor-cambridge-university-press-cambridge-2000-xiii189-pp-isbn-0521780195-hbk-2750/697C0FBEE1A82FBF2761D04BE5B669AA#access-block>

CHISTOFOLETTI, Antônio. **A Modelagem de sistemas ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2006. **Geologia e recursos minerais do estado de Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande. CPRM, 2006. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10217>. Acesso: 10. Agost. 2022.

DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes; PEREIRA, Osvaldo Alves. Estudo da Utilização de GPUs no Processamento de Imagens de Satélite. **UNICIÊNCIAS**, Cacoal, v. 27, n. 2, p. 104-113, 2023.

DIAS, Daniéli Flores, TRETIN Romario, MARQUES Rodrigo Diniz, ROSA Eloisa Penna da. Análise temporal do uso e ocupação da terra no Município de Rosário do Sul- RS. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. 2017, Campinas. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 6925-6935

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília, 2018. 353p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 353 p.

FERREIRA, Marcos Cesar. **Iniciação à análise geoespacial**. São Paulo: Scielo – Editora UNESP, 2016

FIGUEIREDO, Maria Cléa Brito de; TEIXEIRA, Adunias; ARAÚJO, Lúcia de Fátima Pereira; ROSA, Morsyleide Freitas; PAULINO, Walt Disney; MOTA, Suetônio; ARAÚJO, José Carlos. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. São Paulo, vol. 12, nº 4, p. 399-409 , 2007.

FIGUEIREDO, Helen Rezende de; GRIS, Darlene; DALMAS, Fabricio Bau; LOUBET, Luciano Furtado; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. Análise de impactos ambientais através de geotecnologias em área úmida do município de Bonito–MS, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 31, p. 13–26 2020.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, Tereza Gallotti (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Editora Oficina de Textos, São Paulo 2008. p. 11–30.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 322 p. [E-book]. disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 fev. 2024.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. [E-book]. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 21 maio 2024.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

FRANTZ, David; RUFIN, Philippe; JANZ, Andreas; ERNST, Stefan; PFLUGMACHER, Dirk; SCHUG, Franz; HOSTERT, Patrick. Understanding the robustness of spectral-temporal metrics across the global Landsat archive from 1984 to 2019—a quantitative evaluation. **Remote Sensing of Environment**, v. 298, p. 113-823, 2023.

GAROFALO, Danilo Francisco Trovo; MESSIAS, Cassiano Gustavo; LEISENBERG, Veraldo; BOLFE, Edson Luis; FERREIRA, Marcos Cesar. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat-8 aplicados ao mapeamento temático. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.593-604, jul. 2015

GOMES, João Victor Pacheco; CUBAS, Monyra Gutierrez. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 maio 2024.

GONÇALVES, Marcelo. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto para análise ambiental e geográfica**. Curitiba, PR: Intersaberes, 2023. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 jun. 2024.

GOMES, Alessandra Rodrigues. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento da área piloto de Parnamirim (PE). Mestrado [**Dissertação**] Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

GUERRA, Antonio Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geologia e geomorfologia: uma abordagem geográfica**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi; CONTE, Osmar; PRANDO, André Mateus; CASTRO, Cesar de; BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antônio. **Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 88 p. (Documentos / Embrapa Soja, 435). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131491/1/Doc-435.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados de Informações Ambientais – BDiAWeb**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 171 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 7).

JUNIOR, Carpi Salvador. Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogiguaçu. Doutorado [Tese] Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 171 p. 2001.

JÚNIOR, José Fernando Pinese; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de Análise Hierárquica –AHP– Como Auxílio na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia –USP**, Volume 23, 2012.

JÚNIOR, Juarez Antônio da Silva; PACHECO, Admilson da Penha. Uso do classificador Support Vector Machines para o mapeamento da cobertura do solo usando imagens de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1304-1319, 2023.

KARASIAK, Nicolas. **Dzetsaka Qgis Classification plugin**. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. Acesso em: 10 de julho de 2024. DOI: 10.5281/zenodo.2552284. 2016

LEITE, Emerson Figueiredo; Rosa, Roberto. Evolução conceitual da bacia Hidrográfica sob o enfoque da paisagem integrada. **GeoPentanal**, Corumbá/MS, V.5, N. 8, p. 131- 144. 2010

LEITE, Emerson Figueiredo. Utilização do geoprocessamento na análise ambiental por diagnóstico físico conservacionista: Estudo de caso na microbacia Hidrográfica do córrego Vilas Boas, Miranda-MS. Aquidauana- MS, 2007, 139 p. Mestrado [Dissertação] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007

LEONARDI, Ivan Rodrigo. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto para recursos hídricos**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2024.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Departamento de ciências florestais. 2008.

LIMA, Adalto Gonçalves de. A bacia hidrográfica como recorte de estudos em geografia humana. Londrina: **GEOGRAFIA**. v. 14, n. 2, p. 173-184, 2005.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 jun. 2024.

LORENZZETTI, João Antonio. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 maio 2024.

PAL, Manavendra; MATHER, Paul Michael. Support vector machines for classification in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 5, p. 1007-1011, 2005.

MARTINS, Suelem Farias Soares; SANTOS, Alex Mota dos; SOUZA, Icaro Andrade; SILVA, Ioná Gonçalves Santos; FERNANDES, Mariana; SOUZA, Paulo Sérgio Vila Nova; SILVA, Carlos Fabricio Assunção da; NUNES, Fabrizia Gioppo; LISBOA, Gerson dos Santos. Processamento Digital de Imagens para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão de Literatura. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 9, n. 2, p. 131-143, 2023.

MATO GROSSO DO SUL. **Atlas multirreferencial**. Campo Grande: SEPLANCT/MS, 1990.

MELO, Neli Aparecida de. Gestão em Bacias Hidrográficas Urbanas para Superação de Compartimento Ambiental. In: **Boletim Paulista de Geografia**. n. 76, p. 23-66. São Paulo. 1999.

MELO, Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto; MENDONÇA, Luís Felipe Ferreira de; SANTANA, Juliet Oliveira; RAIMUNDO, Ramille Daniele Pinto. Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 2, n. 2, 2021.

MENDES, Carlos André B. **Bacia Hidrográfica do Rio Miranda: estado da arte**. Editora UCDB, 2004. 177 p.

MESSIAS, Cassiano Gustavo; AMORIM, Raul Reis. Mapeamento do Uso e Ocupação das Terras na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (MG) em 2018, por Meio de Classificação Orientada a Objetos. **Anais do I CoBICET – I Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**. 2020.

MENDES, Danilo Ferreira; SILVA, Samuel Ferreira da; FERRARI, Jéferson Luiz; SANTOS, Alexandre Rosa dos; GARCIA, Ricardo Ferreira. Acurácia temática do classificador por máxima verossimilhança em imagem de alta resolução espacial do satélite Geoeye-1. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 107-118, 2015.

MIRA, Ítalo Rafael Costa de; CARVALHO, Débora Silva; SOUZA, Denise Silva Leão de; SILVA, Márcio Luiz da. Vulnerabilidade Ambiental da Sub-Bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1352-1370, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/251565/41298>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

MIZUKAWA, Alinne. **Comitê de bacias hidrográficas**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. 91 p. [livro] disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2024.

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos campos: INPE, p. 1-7, 2002.

MOREIRA, Maurício A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa, MG: Oficina de Textos, 2012. 422 p.

MOREIRA, Adriana Aparecida; FERNANDES, Fernando Hiago Souza; NERY, César Vinícius Mendes. Aplicação do algoritmo Support Vector Machine na análise espaço temporal do uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Vieira. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 50, p. 152-163, 2014.

MOREIRA, Adriana Aparecida; FERNANDES, Fernando Hiago Souza; ALMEIDA, Rodrigo Praes de; NERY, César Vinícius Mendes. O algoritmo Support Vector Machine aplicado ao

mapeamento do uso e ocupação do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 02, p. 291-303, 2014.

MOREIRA, Thais. Rizzo; SANTOS, Alexandre Rosa dos; DALFI, Raphael Lima; CAMPOS, Rapael Ferraço dos; SANTOS, Gleissy Mary Amaral Dino Alves dos; EUGENIO Fernando Coelho. Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Floresta e Ambiente**, 2015.

MORAGAS, Washington. Mendonça. Análise do sistema ambiental do alto rio Claro - Sudoeste de Goiás: Contribuição ao planejamento e gestão. Doutorado [Tese] Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

NASCIMENTO, Renata Fernandes Figueira; ALCÂNTARA, Enner Herino; KAMPEL, Milton; STECH, José Luiz; NOVO, Evelyn Márcia Leão de Moraes; FONSECA, Leila Maria Garcia. O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2079-2086.9

NASCIMENTO, Quincas do; Nascimento, André Luiz. **Construção do raciocínio geográfico: conceitos e práticas na escola**. Viseu, 2023.

NOVO, Evlyn Marcia Leão de Moraes. **Ambientes Fluviais**. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 322p. [livro] disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 31 jan. 2024.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2010.

NUNES, Hikaro Kayo de Brito; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de. Vulnerabilidade socioambiental de setores censitários às margens do rio Poti, Teresina-Piauí-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, volume. 11, n. 6, p. 1941-1962, 2018.

OLIVEIRA, Beatriz Salgado Cardoso de. Transformações de paisagem no Baixo Augusta: São Paulo. Doutorado [Tese]. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

OLIVEIRA, Valdecy Sousa de. Caracterização geoturística da área de proteção ambiental (APA) da estrada Parque de Piraputanga, nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti – MS. 123 p. Mestrado [Dissertação]. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2017.

OLIVEIRA, Cristina Silva de; NEVES, Carlos Eduardo das; NETO, Roberto Marques. A filosofia e o método da abordagem geossistêmica na Geografia Física. **Ateliê Geográfico**. Goiânia, v. 15, n. 3, p. 87 – 107, 2021.

PARR, David. **Machine Learning Classification in Qgis**. Disponível em: <https://daveparr.com/2024/03/01/machine-learning-classification-in-qgis/>. Acesso em: 10 de julho de 2024.

PIROLI, Edson Luís. **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas**. [Livro online] São Paulo: Editora Unesp Digital, 2022. disponível em SciELO Books | Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas. Acesso em 05 jan. 2024

PORTO, Monica Ferreira do Amaral; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

POTT, Arnildo; DAMASCENO JUNIOR, Geraldo Alves; SILVA, Marta Pereira da. Características da bacia hidrográfica do Rio Miranda. **Revista Geo Pantanal**, Corumbá/MS, v. 9, n. 16, p. 125-140, jan/jun, 2014.

PUNTEL, Geovane Aparecida. Paisagem: uma análise no ensino da Geografia. Mestrado [Dissertação] Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. – Novo Hamburgo (RS): **Fevale**, 2013.

ROCHA, Paulo Cesar; SANTOS, Aline Aparecida dos; Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator**, v. 17, p. 1-18, Fortaleza, 2018.

ROCHA, Dyego Freitas.; ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. Q. Riscos e vulnerabilidades na geografia: breves considerações. **Revista GeoUECE** (Online), v. 08, n. 14, p. 165-189, Ceará, 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br>. Acesso em 11 de julho de 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>. Acesso em: 12 jul. 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9. ed. São Paulo: Contexto, 98p, 1990. [livro] disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 31 jan. 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. [Livro] Editora contexto, São Paulo, 1991

RIDEEL, Equipe. **Manual compacto de geografia do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Rideel, 2010. 360 p.[livro]. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 25 jan. 2024.

ROSA, Lúcia Maria Alves. **Cartografia digital e geoprocessamento: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

SALGUEIRO, Teresa Barata. Paisagem e geografia. **Finisterra**, v. 36, n. 72, p. 37-53, 2001.

SANTOS, Denilson Rocha dos. Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo no Município de Anastácio/MS: subsídio para o zoneamento ecológico-econômico. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2023.

SANTOS, Patrícia Tinoco; MARTINS, Alécio Perini. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. Volume 36, 2018.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Vulnerabilidade Ambiental**. [Livro] (formato digital). Brasília: MMA, 2007. 192 p. Disponível em: https://fld.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf. Acesso em 11 de julho de 2024.

SANTOS, Fernando Ricardo dos; SÁ, Ricardo Antunes de. **Geotecnologias na educação**: geografia escolar à luz do pensamento complexo. Curitiba, PR: Appris, 2023. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 maio 2024.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio à cartografia geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 47–60, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>.

SILVA, Francicélio Mendonça da. Análise da vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Curimataú/Cunhaú, Baía Formosa e Canguaretama - RN. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal, RN, 2013.

SILVA, Francisco Jonh Lennon Tavares da; ROCHA, Dyego Freitas; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de. Geografia, geotecnologias e as novas tendencias da geoinformação: indicação de estudos realizados na região Nordeste. IterEspaço: **Revista de geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 6. P. 176-197, 2016. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/iterespaco/article/view/6488/4154> Acesso em: 26 fev. 2024.

SILVA, Mayara; SILVA, Ana Beatriz; PONTES, Altem; MORALES, Gundisalvo. Caracterização Da Vulnerabilidade Ambiental da Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, Estado do Pará. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. v. 16 n.29. Goiânia, 2019.

SILVA, Kassia Raylene Sousa da. Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Bonito-MS. Mestrado [**Dissertação**] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2023.

SIMMEL, Georg. **A Filosofia da Paisagem**. Covilhã: LusoSofia Press, 2009.

SOARES, Stela de Almeida. **Gestão de recursos hídricos**. [Livro]. Editora InterSaberes, Curitiba, 2015.

SOUZA, Lucas Barbosa e; LIMA, Péricles souza; SANTOS, Simoni Rodrigues. Da teoria dos geossistemas à geografia física crítica: o que há de novo na busca por abordagens integradoras na ciência geográfica. **OKARA: Geografia em Debate**, v. 14, n. 1, p. 122-136, 2020.

SOUZA, Beatriz Fernandes Simplicio; TEIXEIRA, Adunias dos Santos; SILVA, Francisco de Assis Tavares Ferreira da. Classificação de bioma caatinga usando Support Vector Machines (SVM). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 7917-7924, 2009.

SCHIAVETTI, Alexandre, CAMARGO, Antônio Fernando Monteiro. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Bahia: Editus, 2002. 293 p.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel; MENDONÇA, Francisco de Assis. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. [livro]. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2024.

TAVEIRA, Bruna Daniela de Araújo, **Hidrologia e gestão de bacias**. Curitiba: InterSaberes, 2018.

TEIXEIRA, Euller Pimentel. Análise espacial e temporal do uso e cobertura do solo nas reservas extrativistas da costa Paraense. **UFRA**. Campo universitário de Capanema, 2022.

TOMAZONI, Julio Caetano; GUIMARÃES, Elisete; TOMAZONI, Eduardo Caetano. Vulnerabilidade ambiental das unidades territoriais das paisagens do sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 18, n. 2, p. 955-972, 2025.

TROLL, Carl. **Die geographische Landschaft und ihre Erforschung**. Berlin: Springer, 1950. Disponível em: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-38240-20. Acesso em 16 maio de 2024.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. **IBGE**, Diretoria Técnica, 1977. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~edugeo/GB082/Bibliografia/Tricart_Ecodinamica.pdf. Acesso em 12 de julho de 2024.

VAPNIK, Vladimir Naumovich. **The Nature of Statistical Learning Theory**. Livro. Second edition. Statistic for Engineering and Information Science. Springer Publisher. 2000.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Lucimar de Fátima dos Santos; PINTO, Bruno Fleck; SILVA, Luís Alberto Pires da. **Paisagem: leituras, significados e transformações**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 258 p. 2012.

VENCESLAU, F. R.; MIYAZAKI, L. C. P. Processos, análises e gestão de bacias hidrográficas em ambientes urbanos: o caso do córrego São José –Ituiutaba/MG. **Revista: Geografia em Atos, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente**, n. 09, v. 02, p. 71-92, 2019.

VITTE, Antônio Carlos. O desenvolvimento do conceito de paisagem e sua inserção na geografia física. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 6 (11), 71-78, 2007.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 03 jul. 2024.

ZAMPRONI, Kendra; BIONDI, Daniela; MARIA, Tamara Ribeiro Botelho de Carvalho; BOBROWSKI, Rogério. Características fitossociológicas da arborização viária de Bonito-MS. **REVSBAU**, Curitiba, v. 14, n. 4, p. 13 25, 2019.

PROJETO DE PESQUISA: Análise Espacial Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga sob a ótica da Paisagem. Emerson Figueiredo Leite

1

Ponto núm.:		N. Fotos→		Lat.		Long.		Alt.	
Vegetação e Flora									
Tipos de extratos									
☐ Arboreo ☐ Arbustivo ☐ Herbáceo ☐ Escandescente ☐ Epifítico ☐ Gramíneo									
VEREDA 15 10 5 Formação de campo Formação de cerrado Formação florestal Campo limpo Campo sujo Campo cerrado Cerrado semio aberto Cerrado									
Ecótono do Cerrado									
Ross (2003)									
Aspectos geológicos e geomorfológicos									
Formas de Relevo									
☐ Colinas ☐ Morrotes ☐ Morros ☐ Escarpas									
Tipo de relevo									
☐ Plano (< 5%) ☐ suave ond. (5-15%) ☐ ond. (15-25%) ☐ Abrupto (25-45%) ☐ Muito Abrupto (> 45%)									
Tipo de declividade									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta ☐ moderada									
Estabilidade dos taludes									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Rochas exposta									
☐ Laminar ☐ Sulcos ☐ Boçoroca ☐ Coluviões ☐ Deslizamento ☐ Desbarrancamento									
Erosão									
☐ Aglomerado ☐ Área Rurbanda ☐ Área Urbana ☐ Outros									
Infraestrutura e ocupação da terra									
População									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Adensamento da população									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Intensidade do uso da terra									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Condições de Vias de acesso									
☐ Mineração ☐ Praias arenosas ☐ Agricultura ☐ Queimada recente ☐ Pecuária ☐ Desmatamento									
Solo exposto									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Água									
Disponibilidade									
☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta									
Vizinhança das águas									

PROJETO DE PESQUISA: Análise Espacial Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga sob a ótica da Paisagem.	2	Emerson Figueiredo Leite
ANOTAÇÕES FINAIS E CROQUIS Listar as potencialidades ou restrições/outras características para uma proposta de manejo.		