

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

Cleudinéia Santos Domingos **Ruiz**¹, Emerson Figueiredo **Leite**²

(1 – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Programa de Pós-Graduação em Geografia, neiasd2016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3905-4052>; 2 – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Programa de Pós-Graduação em Geografia, emerson.leite@ufms.br, <https://orcid.org/0000-0003-2672-187X>)

Resumo: Este trabalho analisa a vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum, localizada em Bonito (MS), aplicando a metodologia de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo. O objetivo foi avaliar a vulnerabilidade potencial, integrando as características naturais das Unidades Territoriais Básicas, e a vulnerabilidade emergencial, considerando o uso e ocupação da terra como variável. A vulnerabilidade potencial indicou uma proteção natural à perda de solo, sendo 25,8% da sua área classificada como estável, 69,4% moderadamente estável e 4,8% medianamente estável/vulnerável. Em relação a vulnerabilidade emergencial, áreas consideradas estáveis a Medianamente estáveis/vulneráveis corresponderam a 39,38% da bacia, e, a maior porção, 60,62% correspondendo às classes moderadamente vulnerável e vulnerável. Os resultados indicam que áreas classificadas como moderadamente vulneráveis e vulneráveis podem se degradar rapidamente devido a intensificação do uso da terra observado. Recomenda-se práticas conservacionistas como terraceamento, manutenção de cobertura vegetal, curvas de nível, reflorestamento de APPs antes que o problema se torne crítico.

Palavras-chave: vulnerabilidade ambiental; uso e ocupação da terra; sensoriamento remoto.

NATURAL VULNERABILITY TO SOIL LOSS IN THE MUTUM CREEK BASIN, BONITO - MS.

Abstract: The environmental vulnerability of the Mutum Creek basin (358 km², Bonito County, Mato Grosso do Sul) was assessed using the Natural Vulnerability to Soil Loss method. Potential vulnerability was evaluated by integrating the natural characteristics of Basic Territorial Units, while emergency vulnerability was determined based on land use and

occupation data. The potential vulnerability assessment revealed natural protection against soil loss, with 25.8% of the area categorized as stable, 69.4% as moderately stable, and 4.8% as fairly stable/vulnerable. As regards emergency vulnerability, 39.38% of the basin area was considered stable and fairly stable/vulnerable, while 60.62% was categorized as moderately vulnerable and vulnerable. The results showed that moderately vulnerable and vulnerable areas can undergo rapid degradation, owing to heightened land use activity. Soil conservation practices, such as terracing, preservation of vegetation cover, contour lines, and reforestation of Areas of Permanent Protection, should be implemented before the problems identified reach critical levels.

Keywords: environmental vulnerability; land use and occupation; remote sensing.

VULNERABILIDAD NATURAL A LA PÉRDIDA DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ARROYO MUTUM, BONITO - MS

Resumen: Este trabajo analiza la vulnerabilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Arroyo Mutum, ubicada en Bonito, Mato Grosso do Sul, aplicando la metodología de Vulnerabilidad Natural a la Pérdida del Suelo. El objetivo fue evaluar la vulnerabilidad potencial, integrando las características naturales de las Unidades Territoriales Básicas, y la vulnerabilidad en emergencias, considerando el uso y la ocupación de la tierra como variable. La vulnerabilidad potencial indicó una protección natural contra la pérdida de suelo, con un 25,8 % de su superficie clasificada como estable, un 69,4 % como moderadamente estable y un 4,8 % como medianamente estable/vulnerable. En cuanto a la vulnerabilidad en emergencias, las zonas consideradas estables a medianamente estables/vulnerables correspondieron al 39,38 % de la cuenca, siendo la mayor parte, el 60,62 %, correspondiente a las clases moderadamente vulnerable y vulnerable. Los resultados indican que las áreas clasificadas como moderadamente vulnerables y vulnerables pueden degradarse rápidamente debido a una mayor intensidad en el uso de la tierra. Se recomiendan prácticas conservacionistas, como el aterrazamiento, el mantenimiento de la cubierta vegetal, las curvas de nivel y la reforestación de las APP, antes de que el problema se vuelva crítico.

Palabras clave: vulnerabilidad ambiental; uso y ocupación de la tierra; teledetección.

Introdução

O ser humano sempre utilizou os recursos naturais para desenvolver suas atividades e com o passar do tempo esse uso foi intensificado, principalmente a partir da Revolução Industrial (séc. XVIII e XIX), impulsionado pela urbanização, mecanização e agricultura intensiva (Alves, 2019). As rápidas transformações no espaço geográfico, podem resultar em impactos irreparáveis ao meio ambiente (Piroli, 2022).

As discussões sobre uso e ocupação da terra estão diretamente relacionadas ao conceito de paisagem, entendida como uma construção dinâmica e subjetiva, moldada pela percepção humana e pelas experiências culturais, ressaltando a interação entre o observador e o ambiente (Bertrand et al., 1972; Botelho & Silva, 2004; Christofolletti, 1999; Mizukawa, 2020; Oliveira, 2023; Piroli, 2022; Porto & Porto, 2008; Simmel, 2009). A análise da paisagem permite identificar fatores que tornam um espaço mais ou menos vulnerável à erosão. Sendo que a vulnerabilidade corresponde à fragilidade natural de um ambiente, potencializada pelas atividades humanas (Cunha et al., 2022; Junior & Rodrigues, 2012; Ross, 1994).

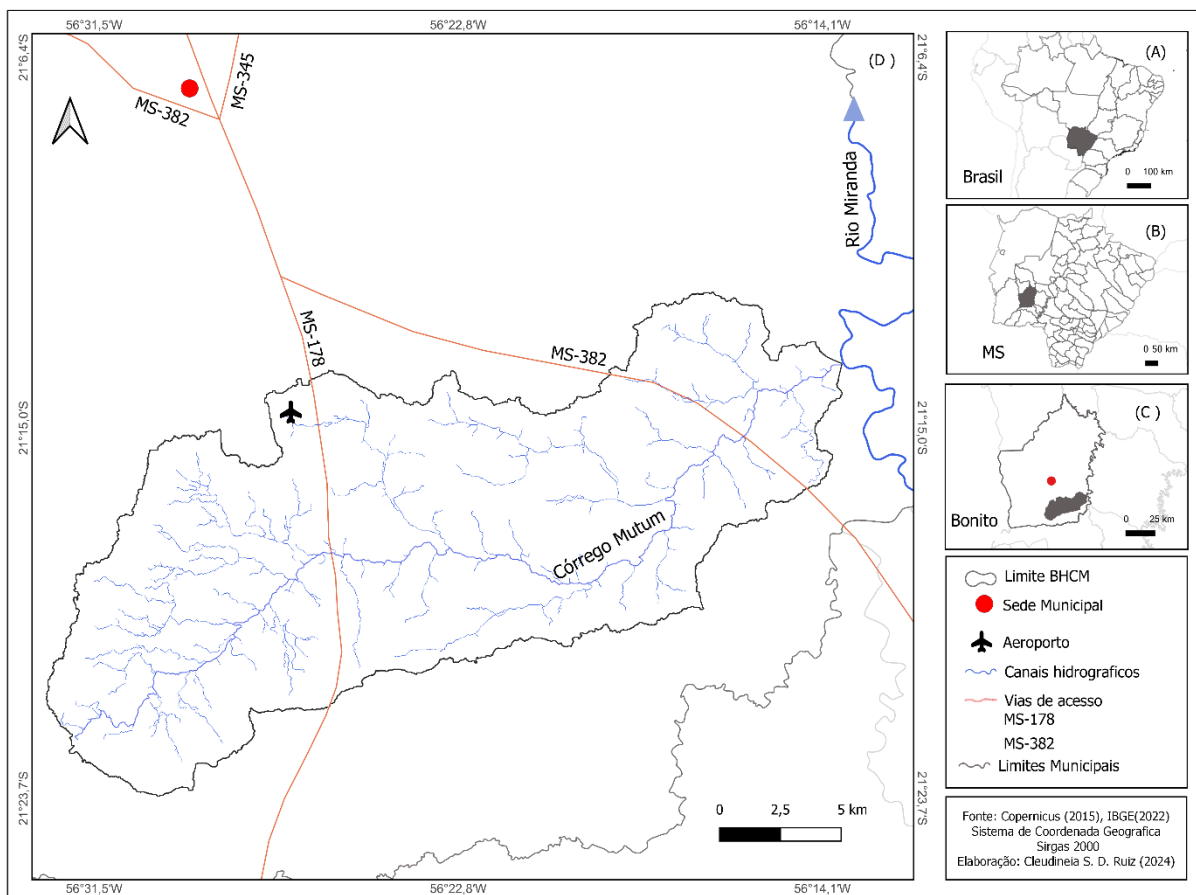
Para compreender a dinâmica espacial e os níveis de vulnerabilidade exige uma abordagem integrada, que considere não apenas os elementos físicos e bióticos, mas também as intervenções antrópicas sobre o território. Assim, a bacia hidrográfica constitui-se uma unidade territorial de análise fundamental para a gestão e o planejamento dos recursos naturais, pois integra de forma abrangente as interações entre os componentes ambientais e as atividades humanas. Diversos autores ressaltam sua relevância como espaço de referência para estudos ambientais, por possibilitar uma visão sistêmica dos processos que afetam o meio físico e social (Carvalho & Pinto, 2010; Mizukawa, 2020; Porto & Porto, 2008; Silva, 2023)

Essa abordagem demanda o uso de ferramentas que possibilitem representar e compreender espacialmente os processos que ocorrem nas transformações ambientais. As geotecnologias permitem a coleta, o processamento e a espacialização de dados georreferenciados, transformando-os em produtos cartográficos, contribuindo para análises mais precisa para o planejamento ambiental (Alves, 2019; Cubas & Taveira, 2020; Rosa, 2013; Santos & Sá, 2023).

Os interesses econômicos de curto prazo têm levado à remoção da vegetação nativa e ao uso inadequado do solo, intensificando a fragilidade ambiental e ocasionando degradação, perda da biodiversidade e assoreamento dos corpos hídricos (Cunha et al., 2022; Mizukawa,

2019). Esse processo é evidente em Mato Grosso do Sul, especialmente na Bacia Hidrográfica do Córrego Mutum (BHCM), em Bonito, selecionada como área de estudo.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.



A BHCM, totalmente inserida no setor rural, constitui-se afluente da margem esquerda do Rio Miranda, uma das principais bacias hidrográficas do estado. Situa-se entre os paralelos 21°12' e 21°23' S e os meridianos 56°13' e 56°32' W, ao sudeste de Bonito, abrangendo uma área de 358 km² (Figura 1). De acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município de Bonito possui 23.659 habitantes e área total de 5.378,939 km².

Observa-se na área de estudo a predominância de atividades agropecuárias, em um processo de transição do uso da terra, marcado pela substituição da pecuária por atividades agrícolas, dinâmica que pode gerar impactos econômicos positivos para o município de Bonito, mas também intensificar impactos ambientais. O cultivo de grãos, em especial, demanda maior

revolvimento do solo quando comparado à pecuária, o que pode potencializar os processos erosivos, reforçando a importância da análise da vulnerabilidade natural à perda do solo da BHCM.

O estudo da vulnerabilidade permite avaliar a interação entre fatores naturais e a ação humana, identificando fragilidades e orientando o uso sustentável dos recursos. Quando associada as geotecnologias, como o sensoriamento remoto, o geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), essa abordagem possibilita compreender com maior precisão a dinâmica das bacias hidrográficas. (Mizukawa, 2020; Santos, 2024; Tomazoni et al., 2025). Nesse contexto, a pesquisa aplica a metodologia de Crepani et al. (2001), a fim de analisar a vulnerabilidade potencial e a vulnerabilidade emergencial da BHCM.

Materiais e Método

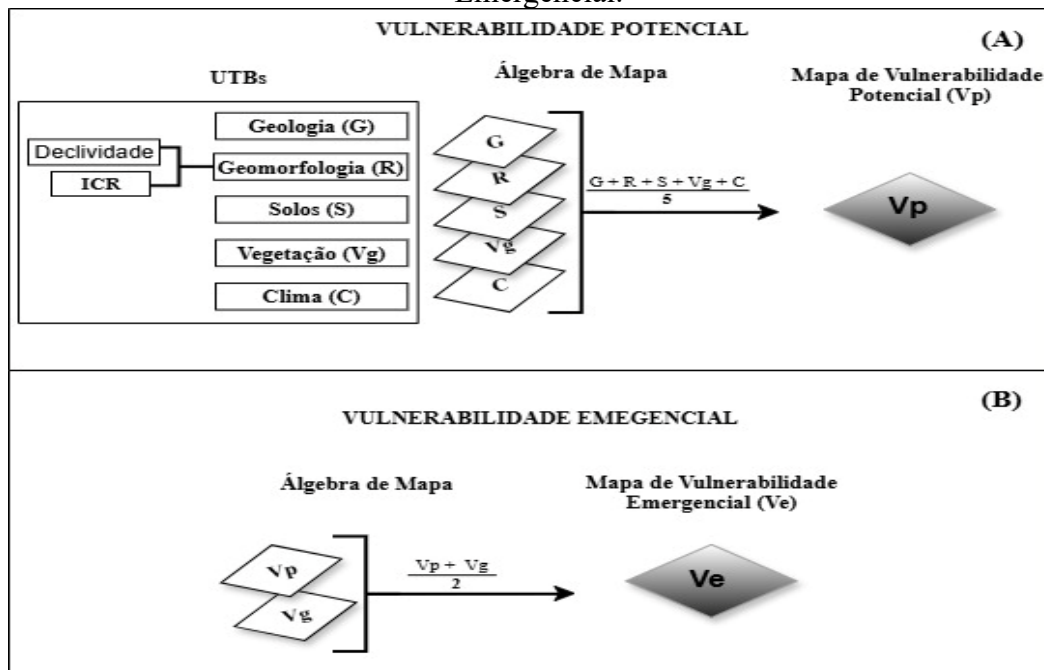
Para desenvolver a pesquisa, foi utilizada a metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solo proposta por Crepani et al. (2001), considerando as características morfodinâmica da superfície terrestre. O autor propõe 21 unidades de paisagem, cujo grau de vulnerabilidade vai de estável à vulnerável. 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 classifica como vulneráveis atribuindo valores próximos a 3 (Crepani et al., 2001).

A partir dessa proposta metodológica foram adotados os termos de vulnerabilidade potencial (refere-se à susceptibilidade natural da área) e vulnerabilidade emergencial (considera a intensificação dessa vulnerabilidade devido à ação antrópica) que foram abordados por Tomazoni et al. (2025).

Vulnerabilidade Potencial

Para a vulnerabilidade potencial, foi criado um banco de dados no *software* QGIS 3.22, contendo dados vetoriais e matriciais relacionadas às UTBs (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima). Para definir a geomorfologia, foi analisado o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) e a declividade. Em seguida, aplicou os pesos para cada classe, e realizou-se a álgebra de mapas para gerar a vulnerabilidade potencial à perda do solo da bacia hidrográfica (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma Metodológico: (A) Vulnerabilidade Potencial; (B) Vulnerabilidade Emergencial.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Crepani et al (2001).

Para a geologia, o autor relaciona a história evolutiva do ambiente ao grau de coesão das rochas. Rochas de baixa coesão são mais suscetíveis à ação dos agentes modeladores do relevo e à perda de materiais, favorecendo os processos de morfogênese, rochas mais coesas tendem a resistir a esses agentes, contribuindo para a formação e manutenção de solos mais desenvolvidos e favorecendo os processos de pedogênese (Crepani et al., 2001; Santos, 2024).

Para determinar a vulnerabilidade da classe Geologia, utilizou-se os dados em formato vetorial (shapefile), disponibilizados pelo Banco de Dados de Informações Ambientais (Bdia, 2022), aplicou os índices de acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001) gerando o fator G.

Para determinar a geomorfologia adotou-se a Concentração da Rugosidade (ICR) e a Declividade como indicador morfométrico. A metodologia do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), desenvolvida por Sampaio & Augustin (2014) é a soma dos valores de declividade dos pontos existentes dentro de uma determinada área (rugosidade do relevo). O que permite quantificar a rugosidade do terreno por meio do estimador de densidade kernel, resultando em duas abordagens distintas: o ICR-Global, cujo raio de análise é fixo e as classes

morfométricas padronizadas, e o ICR-Local, que oferece maior flexibilidade na definição dos parâmetros de análise e na classificação dos valores obtidos.

Para adaptar o ICR a metodologia de Crepani et al. (2001), foi adotado o ICR- local, cujo raio de análise inicial é 564 metros (Sampaio & Augustin, 2014). Para gerar o ICR-Local, utilizou-se MDE (Qgis 2.18) disponibilizado pelo Copernicus (2015), gerou-se a declividade, aplicou-se a densidade de Kernel (raio de 560), resolução 30 m, interpolador Epanechnikov, gerando ICR - Local.

A declividade influencia diretamente o escoamento superficial, pois condiciona a transformação da energia potencial das águas pluviais em energia cinética, aumentando sua velocidade e capacidade de transporte. Esse processo favorece a intensificação dos processos erosivos e a modelagem do relevo, prevalecendo a morfogênese. (Crepani et al., 2001)

Para gerar a declividade, utilizou-se o modelo digital de elevação global (MDE) disponibilizado pelo Copernicus (2015), com resolução espacial de 30 metros. Utilizando a reclassificação de acordo com as classes de 1 a 3 propostas por Crepani et al (2001).

Posteriormente, reclassificou o ICR-Local e a Declividade de 1 a 3 de acordo com metodologia Crepani et al (2001), e calculado por álgebra de mapas por meio da equação (1) para criação do fator R.

$$R = (ICR + D) / 2 \quad (1)$$

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.

Para determinar a vulnerabilidade da classe solo, utilizou dados em formato vetorial (shapefile), disponibilizados pelo Bdia (2022), aplicou-se os índices de acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001) gerando o fator S.

A vegetação é um elemento de proteção natural da paisagem contra os processos modificadores das formas de relevo. Sendo a densidade da vegetação, 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 (Crepani et al.,2001; Leite, 2007)

Para determinar a vulnerabilidade da classe de vegetação, utilizou-se dos dados em formato vetorial (shapefile), disponibilizados pelo Bdía (2022), reclassificou para vegetação pretérita e aplicou os índices de acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001) gerando o fator Vg.

Para a 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 curtos 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 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), com recorte temporal de 1991-2020 das estações mais próximas a área de estudo.

Os dados foram tratados em uma planilha do Excel (formato CSV) e calculado a intensidade pluviométrica (divide-se o valor da precipitação média anual em mm, pela duração do período chuvoso em meses) para cada estação de acordo com a metodologia aplicada. (Crepani et al., 2004).

Posteriormente, inserido no 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 dos dados a partir do método IDW (Interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância), gerando o mapa pluviométrico, após reclassificou de acordo com a metodologia (1 a 3) gerando o fator C.

Com os dados das UTBs reclassificado de 1 a 3 de acordo com a metodologia de Crepani et al (2001), realizou-se álgebra de mapas no software Qgis 3.22, na função calculadora raster, por meio da equação 2:

$$V = (G + R + S + Vg + C) / 5 \quad (2)$$

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.

Vulnerabilidade Emergencial

Para a vulnerabilidade emergencial, utilizou-se o uso da terra da BHCM para vegetação. No qual foi desenvolvido um estudo temporal de 40 anos com intervalos 10 anos entre as etapas. Para elaborar os mapas foi utilizado imagens dos satélites Landsat 5, 8 e 9, com resolução espacial de 30 metros, obtidas gratuitamente no Earth Explorer.

As imagens foram pré-processadas no *software* Qgis 3.22, pelo Plugin SCP (Semi-Automatic Classification), classificadas pelo plugin dezetsaka por meio do algoritmo SVM, apontando as classes (Remanescentes Florestais, Pastagem, Mosaico de cultura e Áreas de vereda). Posteriormente aplicou-se o crivo para melhorar a resolução das imagens, e validou a classificação por meio do índice Kappa e exatidão global para avaliar o nível da classificação.

Para calcular a vulnerabilidade emergencial (V_e), realizou-se a álgebra de mapas para obter uma média aritmética entre a vulnerabilidade potencial (V_p) e o mapa de uso da terra (V_g). 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. (2001). Em seguida no *software* Qgis 3.22, na função calculadora raster por meio da equação 3:

$$V_e = (V_p + V_g) / 3 \quad (3)$$

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).

Resultados e discussões

Vulnerabilidade para a classe Geologia.

A Geologia da BHCM 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 (Tabela 2).

Os Depósitos Aluvionares e a formação Xaraiés pertencem ao período Quaternário/Holoceno da era Cenozóica. Os Depósitos Aluvionares São as formações mais recentes da classificação. 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, 2023). Eles representam a classe geológica com o maior índice de vulnerabilidade (3) de acordo com a metodologia aplicada. Por serem inconsolidados, estão sujeitos a erosão com maior facilidade.

Tabela 2 - Classes geológicas e valores de vulnerabilidade para a litologia.

Classes	Litologia	Área		Índice	Vulnerabilidade Grau
		km ²	%		
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	
Formação Xaraiés	calcário	6,0	1,68%	2,9	Vulnerável
	Siltitos		1,73%	2,7	
Formação Cerradinho	argilitos	6,2			

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. Constituindo a base do Grupo Corumbá (Brasil, 2006; BDIA, 2023).

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-arroxeadada e esbranquiçada, com granulometria variando de fina a grosseira. Apresenta também conglomerados, intercalações de siltitos e argilitos, além de algumas lentes de diamictito (BDIA, 2023; Brasil, 1982; Mato Grosso do Sul, 1990).

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 desagregam 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 (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais [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.

Vulnerabilidade para a classe Geomorfologia.

De acordo com a declividade, a BHCM apresenta relevo que varia de muito baixa a média inclinação. Sendo 52,10% da área apresenta relevo muito baixo, 42,71% com relevo baixo e apenas 5,12% média inclinação, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Área ocupada pela declividade e ICR.

Classes	Declividade (%)	Área		ICR	Área	
		km ²	%		km ²	%
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		

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. A baixa concentração de rugosidade, presente em mais de 60% da área da BHCM, 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 vulnerabilidade natural da Geomorfologia é resultante da média ponderada da Declividade e do ICR-Local calculados pela álgebra de mapas (Tabela 4).

Tabela 4 - Área ocupada pelo grau de Vulnerabilidade.

Índice	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 %

A análise integrada entre a declividade e o ICR revelou que a BHCM apresenta estabilidade em 99,28% da área. 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.

Vulnerabilidade para classe Solos.

Foi identificado a presença de quatro classes de solos na área da BHCM: Plintossolos Argilúvico, Gleissolos Melânico, Latossolos Vermelho e Nitossolos Vermelho, com predominância do Latossolos vermelho. Da região central da BHCM, de norte a sul e se

estendendo para leste, totalizando em 64,24% da área da bacia (Tabela 5). 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 5 – Área ocupada pelo solo e grau de vulnerabilidade.

Classes	Área		Vulnerabilidade	
	km ²	%	Índice	Grau
Latossolos vermelho	230,0	64,24	1,0	Estável
Nitossolosvermelho 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

Os Latossolos são solos antigos, profundos e porosos, altamente intemperizados e pobres em minerais primários ou secundários, o que os torna menos resistentes. Variam de caulíníticos a oxídicos e apresentam horizontes bem definidos devido ao intemperismo e à lixiviação. Os Latossolos Vermelhos, em particular, possuem horizonte B latossólico sob qualquer horizonte A, até 200 cm da superfície, ou até 300 cm quando o horizonte A excede 150 cm de espessura. (Brasil, 1982; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa], 2012).

O Nitossolos 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 alumínico, 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 solos minerais com horizonte B inicial sob o horizonte superficial, variando de bem a mal drenados, rasos a profundos. Apresentam cores do marrom ao vermelho-escuro, textura argilosa a muito argilosa e estrutura em blocos ou prismática, de grau moderado a forte, com cerosidade expressiva. 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 (Embrapa, 2018; IBGE, 2013). Foi identificado um depósito de Plintossolo

Argilúvico na área mais baixas do córrego Mutum, situado a leste da BHCM ocupando 4,13%, de área, sendo um solo raso (em formação), podendo ser erodido com muita facilidade. De acordo com a metodologia aplicada o índice de vulnerabilidade para essa classe é 3,0, classificado como vulnerável.

A classe Gleissolos Melânicos compreende 12,37% da BHCM, localizada a oeste, estendendo-se para o noroeste. Essa classe de solo possui minerais hidromórficos, mal drenados, com horizonte glei entre 50 e 150 cm de profundidade, abaixo dos horizontes A, E ou de um hístico pouco espesso. Não apresentam textura exclusivamente arenosa nem horizonte vértico, e outros horizontes diagnósticos, se presentes, ocorrem a mais de 200 cm. Permanecem permanentemente ou periodicamente saturados por água, que pode ascender por capilaridade até a superfície. Essa condição favorece a gleização, resultando em cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas pela redução e dissolução do ferro (Embrapa, 2012).

De acordo com a metodologia os Gleissolos Melânicos receberam um índice de vulnerabilidade 3,0, classificados como vulneráveis.

Vulnerabilidade para a classe Clima.

Para definir o clima analisou-se as estações mais próximas, gerado o clima da área de estudo. Cujas intensidades pluviométricas variou de 83,16 a 141,63 mm, que indicou índices de vulnerabilidade de 1,2 a 1,4, conforme estabelecidos por Crepani et al. (2001), como mostra na tabela 6.

Tabela 6 - Intensidade pluviométrica e Vulnerabilidade do Clima.

Estação	Latitude	Longitude	Precipitação anual (mm)	IP (Intensidade pluviométrica)	Vulnerabilidade Índice	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 (Nhecolândia)	18,9886	56,6227	1046,2	87,18	1.2	
Ponta Porã	22,5525	55,7163	1699,6	141,63	1.4	

Recortou para a área de estudo, reclassificou de acordo com a metodologia, resultando no grau vulnerabilidade Estável para a área da BHCM.

Vulnerabilidade para a classe Vegetação Pretérita

Para a análise da vegetação, foi considerada a vegetação existente antes da interferência antrópica. A vegetação pretérita identificada na área da BHCM foi Savana Florestada (Cerrado) e áreas de transição com Floresta Estacional. O Cerrado apresenta solos pobres em nutrientes, originados de antigos depósitos sedimentares submetidos à pedogênese, cuja diversidade fitofisionômica influencia suas propriedades e suscetibilidade à degradação. É uma expressão das savanas tropicais, com vegetação xeromorfa adaptada à seca e alta luminosidade, predominando árvores médias ou baixas, espaçadas, e rica comunidade herbácea formada por caméfitos, hemicriptófitos (IBGE, 2012; Leite, 2007; Mendes et al., 2004).

Tabela 7 - Área ocupada pela vegetação Pretérita e grau de vulnerabilidade

Vegetação Pretérita	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

Além das formações típicas do Cerrado também foram identificadas áreas de contato entre Savana e Floresta Estacional. Esses ecótonos ou encraves reúnem elementos de ambas as vegetações e são compostos por gêneros que se expandiram ao longo dos cursos d'água originados nos planaltos e serras cratônicas, divisores naturais das principais bacias hidrográficas brasileiras (IBGE, 2012).

A Savana Florestada ocupava 95,54% e o contato Savana/Floresta Estacional 4,45 % da área da BHCM, ambas receberam índice de vulnerabilidade de 1,5, resultando no grau moderadamente estável

Vulnerabilidade Potencial da BHCM

As características das UTBs, resultaram na definição da vulnerabilidade potencial da BHCM (Figura 5). A vulnerabilidade potencial corresponde à susceptibilidade natural do ambiente sem a interferência antrópica (Tomazoni et al., 2025).

A análise da vulnerabilidade potencial indicou baixa fragilidade natural na BHCM, sendo 25,8% da área classificada como estável, 69,4% como moderadamente estável e apenas 4,8% apresentando condição medianamente estável/vulnerável (Tabela 8).

Figura 5 - Vulnerabilidade Potencial da BHCM.

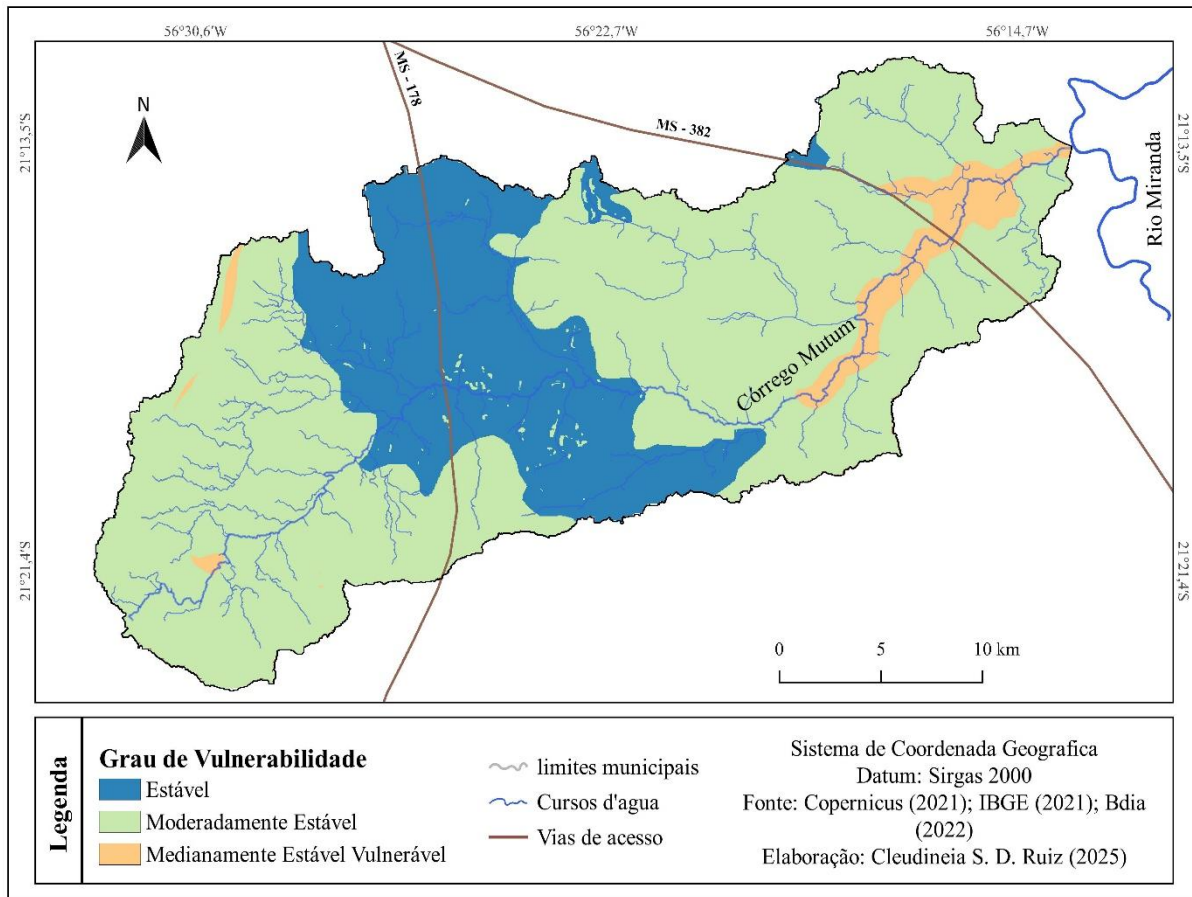


Tabela 8 - Vulnerabilidade Potencial das UTBs.

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

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.

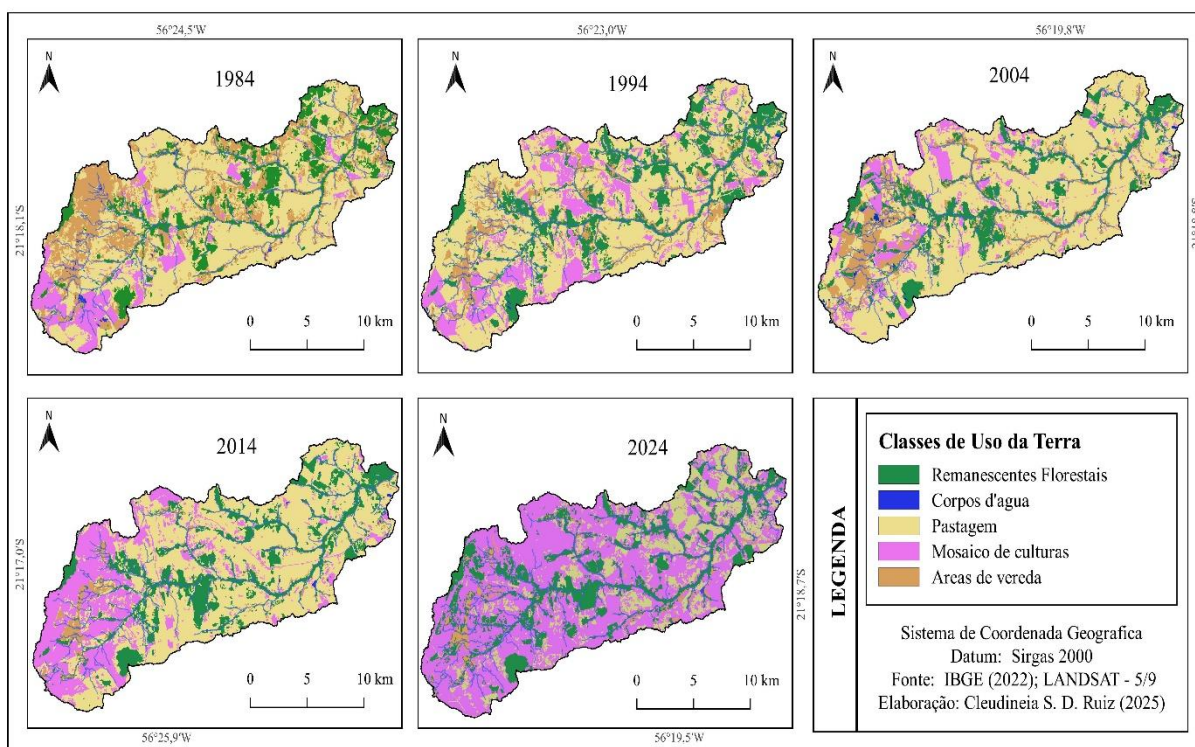
Vulnerabilidade Emergencial.

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 o estudo temporal (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.

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 pela Savana Florestada e o contato Savana/Floresta Estacional. 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 6 e tabela 9.

Figura 6: Uso e Cobertura da Terra (1984 – 20224)



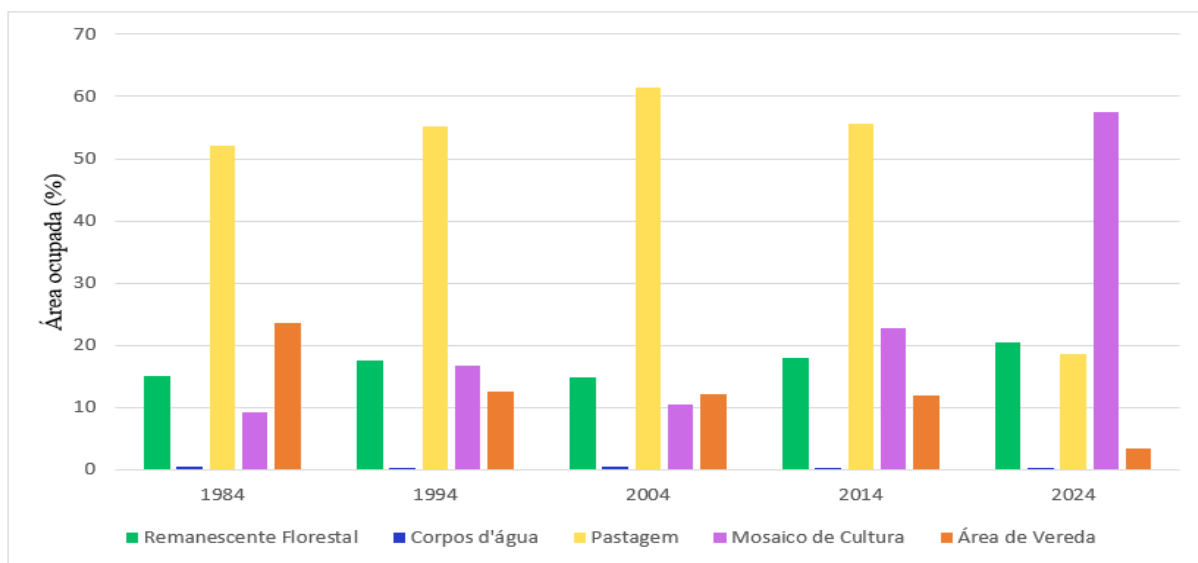
A classe dos remanescentes florestais não teve alterações significativa durante a análise. A classe áreas de vereda perdeu 20,2% de área para a classe uso da terra. Em 1984, 23,5% da área da BHCM era ocupada pela classe, em 2024 chegou com apenas 3,30% de área (figuras 6 e 7; tabela 9).

Tabela 9 - Uso e Cobertura da Terra de 1984 a 2024.

Classe de Uso	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

Em 1984, a classe predominante era a pastagem, ocupando 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 (figuras 6 e 7; tabela 9)

Figura 7 - Uso e cobertura da terra de 1984 - 2024. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



Os Mosaicos de cultura em 1984 ocupavam 9,1% de área, sem muito avanço até 2004, chegando ocupar 22,8% em 2014, apresentando um impressionante avanço em 2024 de 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 9.

Essa inversão da pastagem para cultivo da soja na área da BHCM, está ligada à expansão agrícola em 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 emergencial da área da BHCM.

Ao analisar os dados de vulnerabilidade emergencial de 1984 até 2024, observa-se uma dinâmica de transformação na ocupação do território, com o avanço das áreas classificadas como vulneráveis, evidenciando os impactos da intensificação agrícola sobre a estabilidade ambiental da BHCM (figuras 8 e 9; tabela 10).

Figura 8: Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 – 2024).

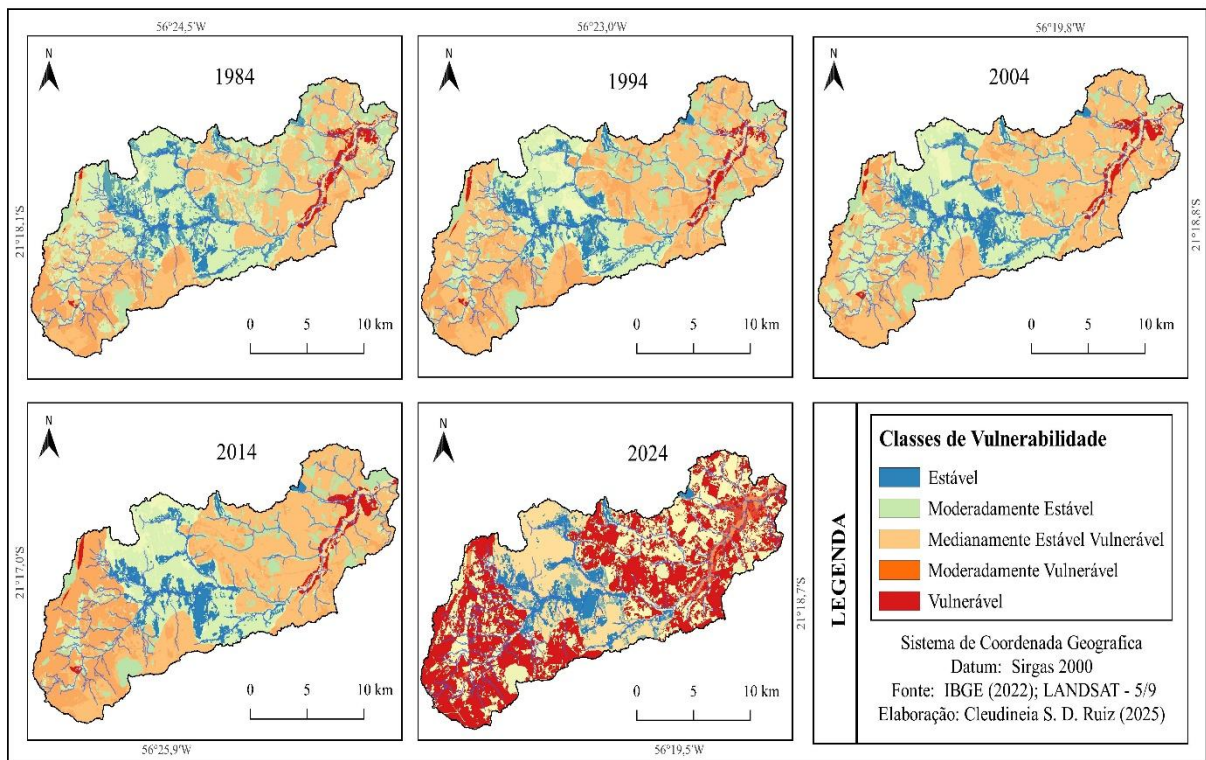


Figura 9 - Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 – 2024).

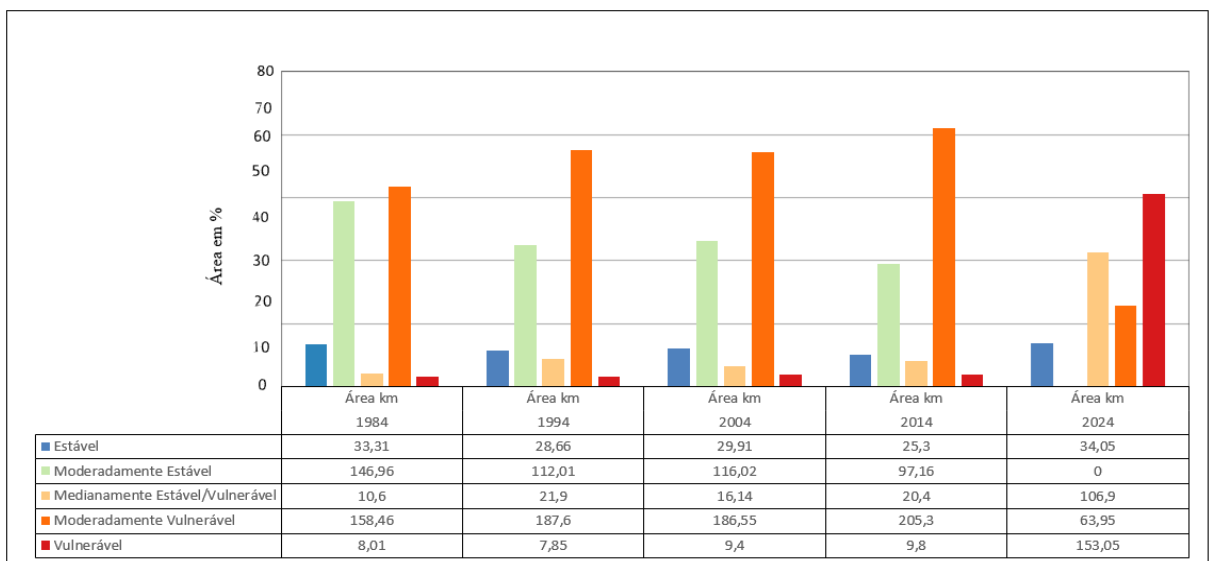


Tabela 10 - Área da Vulnerabilidade Emergencial da BHCM (1984 - 2024).

Vulnerabilidade Índice	Grau	1984		1994		Área 2004		2014		2024	
		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

A classe de vulnerabilidade Estável não apresenta mudanças significativas ao longo do período analisado. Enquanto 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 (Figuras 8 e 9; tabela 10).

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 anos (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 (Figuras 8 e 9; tabela 10).

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).

Considerações Finais

- Este trabalho realizou análise da vulnerabilidade ambiental da BHCM, no município de Bonito/MS, por meio da metodologia de Vulnerabilidade Natural à Perda do Solo, proposta por Crepani et al. (2001), com objetivo de avaliar as fragilidades das condições naturais da bacia hidrográfica (Vp) e a vulnerabilidade decorrentes ao uso da terra (Ve), a fim de compreender como os diferentes tipos de uso influenciam o grau de vulnerabilidade da área.
- Os resultados da VP evidenciaram que a BHCM possui proteção natural à perda do solo, indicando que, na ausência de interferências antrópicas, o sistema ambiental tende à estabilidade. Do total da área da bacia, 25,8% foi classificada como estável, 69,4% como moderadamente estável e apenas 4,8% como medianamente estável/vulnerável. A área central da bacia apresentou maior estabilidade, associada à influência da geologia local e a predominância de Latossolos Vermelhos profundos e bem desenvolvidos, que conferem maior resistência natural aos processos erosivos.
- A integração da Vp com o uso da terra para os diferentes anos analisados permitiu a obtenção da vulnerabilidade emergencial (Ve), evidenciando alterações significativas na dinâmica do uso da terra ao longo do período estudado. A classe dos remanescentes florestais se manteve, em média, 17,9% da área da bacia, com vulnerabilidade variando entre Estável e Moderadamente Estável. As áreas de vereda, que ocupavam 23,5% da área em 1984, reduziram-se de forma expressiva para 3,30% em 2024 e, embora tenham permanecido classificadas como Moderadamente Estáveis, essa redução espacial representa a perda de ambientes naturais e de biodiversidade, com implicações diretas sobre a dinâmica e a regulação dos recursos hídricos da bacia.

- Entre 1984 e 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. No período entre 2014 e 2024, com o avanço da atividade agrícola no município de Bonito, ocorreu uma inversão no uso da terra, com a substituição da pastagem pelo mosaico de culturas (especialmente o cultivo de soja), intensificando as pressões antrópicas, reduzindo a proteção natural e elevando o grau de vulnerabilidade para a classe Vulnerável. Apesar desse cenário, a área central da BHCM apresentou maior resistência às pressões antrópicas, condicionada às suas características de estabilidade potencial.
- As geotecnologias utilizadas no desenvolvimento da metodologia foram fundamentais para a integração e a análise espacial dos dados, viabilizando o mapeamento e a quantificação do uso e cobertura da terra, bem como a avaliação da dinâmica espacial e temporal da bacia hidrográfica. Essa abordagem possibilitou evidenciar a redução dos ambientes naturais e a substituição progressiva das áreas de pastagem por áreas agrícolas, relacionando essas transformações ao aumento da vulnerabilidade emergencial da bacia hidrográfica. Ressalta-se, contudo, que a etapa de classificação automática das imagens de satélite demanda atenção quanto à resolução espacial das imagens e aos procedimentos metodológicos adotados, sendo essencial a validação dos resultados por meio de dados de campo e da avaliação da acurácia, como o índice Kappa.

Referencias

- Alves, L. B. (2019). *Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Laranja Doce/MS* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados].
Repositório Institucional da UFGD.
<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/953>
- Bertrand, G., Zaragoza, F., & Pozzan, S. (1972). Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. *Revista do Departamento de Geografia*, (3), 1–24.
<https://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3389>

- Botelho, R. G. M., & Silva, A. S. da. (2004). Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In A. C. Vitte & A. J. T. Guerra (Orgs.), *Reflexões sobre a geografia física no Brasil* (6ª ed., pp. 153–188). Bertrand Brasil.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. (1982). *Projeto RADAMBRASIL: Folha SF.21 Campo Grande – geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. MME.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2006). *Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso do Sul (Escala 1:1.000.000)*. CPRM; Serviço Geológico do Brasil.
- Carvalho, E. M., & Pinto, S. A. F. (2010). A utilização de modelos para análise de bacias hidrográficas. In *Anais do I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço e X Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP/Rio Claro* (pp. 1247–1261). UNESP. <https://sites.google.com/site/organizaocaodoespaco/anais>
- Christofoletti, A. (1999). *A modelagem de sistemas ambientais* (1. ed.). Edgard Blucher.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., & Palmeira, A. F. (2004). *Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo* (1. ed.). INPE.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial* (1. ed.). INPE.
- Cubas, M. G., & Taveira, B. D. de A. (2020). *Geoprocessamento: fundamentos e técnicas* (1. ed.) [E-book]. Intersaberes. <https://plataforma.bvirtual.com.br>
- Cunha, G. K. G., Medeiros, C. E. B. de, Melo, J. F. G. de, & Cunha, K. P. V. da. (2022). Vulnerabilidade do solo à erosão hídrica e sua relação com o uso e ocupação da microbacia do rio Currais Novos-RN. In *Anais do I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido*. Editora Realize. <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63984>
- Embrapa. (2012). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3. ed.). Embrapa Solos. <https://>

www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos?link=sibcs

Embrapa. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5. ed.). Embrapa Solos.

European Union. (2023). *Copernicus Digital Elevation Model (MDE)* [Conjunto de dados].

<https://registry.opendata.aws/copernicus-dem>

Hirakuri, M. H., Conte, O., Prando, A. M., Castro, C. de, & Balbinot Junior, A. A. (2020).

Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3 (Documentos 435).

Embrapa Soja. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222956/1/Doc-435-p.-11.pdf>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira* (Série Manuais Técnicos em Geociências). IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo Demográfico 2022* [Base de dados]. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Banco de Dados de Informações Ambientais – BDiAWeb*. <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>

Instituto Nacional de Meteorologia. (2022). *Dados meteorológicos históricos – Série anual 2022* [Base de dados]. <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

Junior, J. F. P., & Rodrigues, S. C. (2012). 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*, 23, 4–26. <https://doi.org/10.11606/rdg.v23i0.47203>.

Leite, E. F. (2007). *Utilização do geoprocessamento na análise ambiental por diagnóstico físico conservacionista: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego Vilas Boas, Miranda–MS* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

Mato Grosso do Sul. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. (1990). *Atlas multirreferencial*. SEPLANCT/MS.

Oliveira, B. S. C. de. (2023). *Transformações de paisagem no Baixo Augusta: São Paulo* [Tese

de doutorado, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP].

- Pirolí, E. L. (2022). *Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas* [Livro online]. Editora UNESP Digital. <https://doi.org/10.7154/9786557142981>
- Porto, M. F. A., & Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63), 43-60. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>
- Rosa, L. M. A. (2013). *Cartografia digital e geoprocessamento: conceitos e aplicações*. Oficina de Textos.
- Ross, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, (8), 63–74. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- Sampaio, T. V. M., & Augustin, C. H. R. (2014). 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*, 15(1), 47–60. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>
- Santos, D. R. dos. (2024). *Vulnerabilidade natural à perda de solo no município de Anastácio/MS: Subsídio para o zoneamento ecológico-econômico* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul]. Repositório Institucional da UFMS. <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/8720>
- Santos, F. R. dos, & Sá, R. A. de. (2023). *Geotecnologias na educação: Geografia escolar à luz do pensamento complexo* [E-book]. Appris. <https://plataforma.bvirtual.com.br>
- Silva, K. R. S. da. (2023). *Vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito-MS* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul]. Repositório Institucional da UFMS. <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/6398>
- Simmel, G. (2009). *A filosofia da paisagem*. LusoSofia Press. <http://www.lusosofia.net>

Tomazoni, J. C., Guimarães, E., & Tomazoni, E. C. (2025). Vulnerabilidade ambiental das unidades territoriais das paisagens do sudoeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(2), 955–972. <https://doi.org/10.11606/issn.1984-2295.v18i2p955-972>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Cleudinéia Santos Domingos Ruiz: Elaboração, coleta, organização e análise dos dados, tabelas, gráficos, mapas, escrita e discussão; Emerson Figueiredo Leite: Orientação e revisão.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.