



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

KASSIA RAYLENE SOUSA DA SILVA

**VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, BONITO-MS**

AQUIDAUANA-MS
2023

KASSIA RAYLENE SOUSA DA SILVA

**VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, BONITO-MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Scripto Sensu* em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito básico para a conclusão do curso de Mestrado em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho

AQUIDAUANA - MS
2023

KASSIA RAYLENE SOUSA DA SILVA

**VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, BONITO-MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Scripto Sensu* em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito básico para a conclusão do curso de Mestrado em Geografia.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho
UFMS - Faculdade de Geografia, Campus de Aquidauana

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani
UFMS - Faculdade de Geografia, Campus de Três Lagoas

Prof. Dr. Vicente Rocha Silva
UFMS - Faculdade de Geografia, Campus de Aquidauana

À minha mãe, Rosilene.

Aos meus avós, Mendes e Marina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, que sempre me deu força nos momentos mais difíceis em busca dos meus sonhos, me apoiando em cada escolha que eu fizesse.

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana, pela oportunidade de iniciar e concluir minha pesquisa de mestrado.

Aos amigos que fiz em minha breve passagem por Aquidauana, aos quais irei levar no coração e lembrarei para sempre.

Agradeço também a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com essa caminhada, assim como para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Geografia do Campus de Aquidauana, especialmente aqueles que fizeram parte da minha formação, professores: Elisângela Martins de Carvalho, Eva Teixeira dos Santos, Lucy Ribeiro Ayach, Ricardo Lopes Batista, Vicentina Socorro da Anunciação e Paulo Roberto Jóia.

Agradeço principalmente, com todo o carinho e gratidão, à minha orientadora Elisângela Martins de Carvalho, pela paciência, auxílio e orientação, que foram essenciais para o andamento dessa pesquisa.

E por fim, agradeço à CAPES por financiar este trabalho e assim me possibilitar dedicação exclusiva no mestrado.

Meu muito obrigada!

“N3o importa o que aconte7a, continue a nadar.”

(WALTERS, GRAHAM. **Procurando Nemo**, 2003).

RESUMO

O diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solos em bacias hidrográficas possibilita a análise das características físicas de suas unidades de paisagem, além de estabelecer os graus de vulnerabilidade para suas variáveis ambientais, podendo ser utilizado para subsidiar o zoneamento ambiental e nas tomadas de decisão. O presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Formoso, visando subsidiar o zoneamento ambiental da região. A metodologia utilizada foi a desenvolvida por Crepani *et al.* (2001), que se ampara no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) para analisar a relação morfogênese/pedogênese e, a partir disso, estabelece critérios para o diagnóstico da fragilidade ambiental de uma área em relação aos processos erosivos. Assim, nessa pesquisa, primeiro ocorreu o levantamento bibliográfico, onde buscou-se trabalhos de relevância na área; em seguida foi realizado o levantamento dos dados geoespaciais necessários nos formatos vetoriais e matriciais, posteriormente essas informações foram trabalhadas no QGIS 3.10, fazendo o mapeamento das UTB – Unidades Territoriais Básicas (geologia, solos, vegetação, clima, relevo) e de seus respectivos graus de vulnerabilidade. Por fim foi feita a sobreposição da vulnerabilidade para as UTB, que resultou na carta de vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso. A análise da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso, revelou que a área de estudo possui, predominantemente, áreas com terrenos Medianamente Estável/Vulnerável, em 53,56% de sua extensão. A classe Moderadamente Estável é a segunda maior na bacia hidrográfica, ocupando 459,62 km² (34,93%), já as classes Moderadamente Vulnerável e Estável são menos expressivas, ocupando, respectivamente 146,20 km² (11,11%) e 5,22 km² (0,40%). A área de estudo não apresentou terrenos classificados como Vulnerável. A bacia hidrográfica do Rio Formoso demonstrou, predominantemente, ambientes com fragilidade mediana para sofrer os processos de erosão, demonstrando certo equilíbrio na relação morfogênese/pedogênese. Ao mesmo tempo, terrenos mais próximos da estabilidade (Moderadamente Estável) também se fizeram bastante expressivos, ocupando a segunda maior área da bacia, o que pode indicar que a bacia hidrográfica possui uma complexidade para a vulnerabilidade de seus ambientes físicos.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Vulnerabilidade; Rio Formoso.

ABSTRACT

The diagnosis of natural vulnerability to soil loss in watersheds enables the analysis of the physical characteristics of its landscape units, besides establishing the degrees of vulnerability for its environmental variables, and can be used to support environmental zoning and decision-making. The objective of the present work was to diagnose the natural vulnerability to soil loss in the Rio Formoso watershed, in order to subsidize the environmental zoning of the region. The methodology used was the one developed by Crepani et al. (2001), which is based on the concept of Ecodynamics by Tricart (1977) to analyze the morphogenesis/pedogenesis relationship and, based on this, establishes criteria for the diagnosis of the environmental fragility of an area in relation to erosive processes. Thus, in this research, first there was a bibliographic survey, where relevant works in the area were searched; then a survey of the necessary geospatial data in vector and matrix formats was carried out, and later this information was worked in QGIS 3.10, mapping the Basic Territorial Units (geology, soils, vegetation, climate, relief) and their respective degrees of vulnerability. Finally, the vulnerability overlay was made for the UTB, which resulted in the natural vulnerability to soil loss chart for the Formoso River watershed. The analysis of natural vulnerability to soil loss in the Rio Formoso watershed revealed that the study area has, predominantly, areas with Median Stable/Vulnerable terrain, in 53.56% of its extension. The Moderately Stable class is the second largest in the watershed, occupying 459.62 km² (34.93%), while the Moderately Vulnerable and Stable classes are less expressive, occupying, respectively 146.20 km² (11.11%) and 5.22 km² (0.40%). The study area did not present any land classified as Vulnerable. The Rio Formoso watershed predominantly showed environments with medium fragility to suffer erosion processes, demonstrating a certain balance in the morphogenesis/pedogenesis relationship. At the same time, terrains closer to stability (Moderately Stable) were also quite expressive, occupying the second largest area of the basin, which may indicate that the watershed has a complexity for the vulnerability of its physical environments.

Keywords: Watershed; Vulnerability; Rio Formoso.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Formoso | 17 |
| Figura 2 – Geossistema segundo Bertrand | 21 |
| Figura 3 – Componentes de um SIG | 38 |
| Figura 4 – Metodologia para elaboração da pesquisa..... | 41 |
| Figura 5 – Escala de Vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas | 42 |
| Figura 6 – Amplitude Interfluvial | 48 |
| Figura 7 – Amplitude Altimétrica | 48 |
| Figura 8 – Pontos de coleta a campo na bacia hidrográfica do Rio Formoso | 50 |
| Figura 9 – Mapa Geológico | 54 |
| Figura 10 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geologia..... | 57 |
| Figura 11 – Presença de filito na área de estudo | 58 |
| Figura 12 – Mapa de Solos | 61 |
| Figura 13 – Mapa de Estabilidade/Vulnerabilidade para os Solos..... | 63 |
| Figura 14 – Mapa de Vegetação | 65 |
| Figura 15 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Vegetação..... | 70 |
| Figura 16 – Cultivo de soja e atividade pecuária na área de estudo | 71 |
| Figura 17 – Mapa de Precipitação | 73 |
| Figura 18 – Estabilidade/Vulnerabilidade para o Clima | 76 |
| Figura 19 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia..... | 78 |
| Figura 20 – Estabilidade/Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso | 81 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classes de declividade e seus respectivos valores de vulnerabilidade | 49 |
| Tabela 2 – Unidades Geológicas na área de estudo..... | 52 |
| Tabela 3 – Vulnerabilidade para a Geologia | 56 |
| Tabela 4 – Classes de solos da área de estudo..... | 59 |
| Tabela 5 – Vulnerabilidade para os Solos | 62 |
| Tabela 6 – Classes de Vegetação da área de estudo | 66 |
| Tabela 7 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Vegetação | 69 |
| Tabela 8 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia..... | 77 |
| Tabela 9 – Classes de Vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Formoso | 80 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Categorias morfodinâmicas estabelecidas por Tricart (1977) | 43 |
| Quadro 2 – Pontos de coleta da pesquisa de campo na bacia hidrográfica do Rio Formoso ... | 51 |

LISTA DE ABREVIACÕES

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- BDiA – Banco de Informações Ambientais
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FBDS – Fundação Brasileira para Desenvolvimento Sustentável
- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- IAGRO – Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal de Mato Grosso do Sul
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDW – Interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- PI – Plano de Informação temático georreferenciado
- SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
- UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UTB – Unidade Territorial Básica
- UTM – Universal Transversa de Mercator
- ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 2.1 Sistema, Geossistema e Paisagem nos Estudos de Bacias Hidrográficas..... | 19 |
| 2.2 Solos e Processos Erosivos | 27 |
| 2.3 Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo em Bacias Hidrográficas | 31 |
| 2.4 Geotecnologias Aplicadas a Estudos Ambientais..... | 36 |
| 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 41 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 52 |
| 4.1 Geologia..... | 52 |
| 4.1.2 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geologia..... | 56 |
| 4.2 Solos | 59 |
| 4.2.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para os Solos | 62 |
| 4.3 Vegetação | 64 |
| 4.3.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Vegetação | 69 |
| 4.4 Clima | 72 |
| 4.4.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para o Clima | 75 |
| 4.5 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia..... | 77 |
| 4.5.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso ... | 79 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 83 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 85 |

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se realizar o planejamento ambiental é cada vez mais recorrente devido às inúmeras problemáticas ambientais emergentes nas últimas décadas, que têm impactado cada vez mais o meio ambiente e dificultado a preservação e conservação dos recursos naturais. O avanço das técnicas desenvolvidas pelas sociedades, aliado à falta de planejamento e desenvolvimento sustentável, têm feito com que os recursos naturais, tão necessários para o homem, venham ficando cada vez mais escassos.

A falta de políticas voltadas ao planejamento ambiental e ao desenvolvimento sustentável com o objetivo de promover a exploração racional do meio ambiente ou de impedir essa exploração, se torna um agravante de consequências ambientais desastrosas, já que conforme Braz e Oliveira (2023), o planejamento ambiental se mostra eficaz para harmonizar as demandas econômicas da sociedade e a integridade dos sistemas ambientais.

O uso de alternativas sustentáveis na exploração dos recursos naturais vem se tornando cada vez mais necessárias, o que carece de um planejamento ambiental adequado. Para que o planejamento ambiental seja eficaz, é preciso o conhecimento e entendimento das limitações da área na qual este irá ser desenvolvido, o que se dará por meio de diagnósticos que estabeleçam suas potencialidades, características naturais e sociais e as intervenções humanas sobre esse ambiente, para que, a partir de então, sejam propostas a organização das atividades adequadas, de modo a promover o desenvolvimento sustentável e comunitário (TEIXEIRA *et al.*, 2023).

Segundo Rodríguez, Silva e Leal (2011), o planejamento ambiental é considerado como: a) instrumento da política ambiental; b) suporte ao processo de tomada de decisões; c) exercício técnico intelectual para traçar diretrizes e programar o uso do território, paisagens, espaços, e características da gestão ambiental; e d) um meio de adequar aos sistemas naturais as intervenções do governo, agentes econômicos e atores sociais.

A bacia hidrográfica é considerada por vários estudiosos como a unidade mais adequada para estudos dos recursos hídricos, além de ser a principal unidade para o planejamento ambiental. O uso do conceito de bacia hidrográfica enquanto unidade de gerenciamento, consiste em uma estratégia na busca pelo desenvolvimento sustentável (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

O crescimento da população aliado aos avanços tecnológicos produziu considerável aumento da interferência humana sobre o meio. Em face disso, é fundamental que ocorra o

desenvolvimento das sociedades, concomitantemente com a gestão da bacia hidrográfica, visando à conservação da produtividade e da qualidade da água, assim como a preservação da biodiversidade e do crescimento econômico (SOARES, 2015). A bacia hidrográfica nos permite identificar a complexidade das problemáticas ambientais. É, portanto, um sistema de interações complexas, tanto em relação às suas questões naturais como socioeconômicas.

A bacia hidrográfica é uma excelente unidade de gestão dos aspectos naturais e sociais, à medida que possibilita a execução do planejamento e gestão integrada e holística, considerando a relação entre sociedade e natureza (LIMA *et al.*, 2016). São consideradas modelos quando se busca realizar análises integradas, além de serem instrumentos gerenciadores de questões que envolvam recursos, ética e políticas ambientais (TUNDISI, 2003).

Assim, a bacia hidrográfica se apresenta como imprescindível na realização de estudos ambientais com foco na avaliação de impactos de ordem físicas e/ou socioambientais, tido como de fundamental importância em estudos que envolvam recursos hídricos e/ou estudos ambientais dos mais variados, é também um elemento chave para o planejamento e a gestão ambiental. Atrelado a isso, têm-se o Zoneamento Ecológico-Econômico, que trabalha o planejamento ambiental a partir do ordenamento territorial, um instrumento da política nacional de meio ambiente implementado a partir de 1981 no Brasil.

O Zoneamento Ecológico-Econômico surge no Brasil em 1981, como um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente e permite trabalhar a bacia hidrográfica a partir de duas perspectivas: a do ordenamento territorial e da gestão dos recursos hídricos (FERREIRA, 2011).

No ZEE, o território é dividido em diferentes zonas, nas quais são definidas as atividades mais propensas a cada uma delas, fazendo com que se identifiquem também as fragilidades e potencialidades da região. Nesse sentido, uma ferramenta fundamental de auxílio ao seu desenvolvimento é a análise da vulnerabilidade à perda de solos, que vem sendo discutida por vários autores e que viabiliza subsídios para o zoneamento.

Considerando a funcionalidade da bacia hidrográfica em estudos ambientais, optou-se por realizar o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso, para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da área de estudo e assim, contribuir metodologicamente com o ordenamento territorial da região, fornecendo as bases necessárias para o planejamento ambiental.

Como instrumento de gestão ambiental que pode ser aplicado às bacias hidrográficas, têm-se o modelo de mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos que, à medida que

faz um aparato das características físicas das unidades territoriais, define também os graus de vulnerabilidade para as variáveis ambientais, podendo ser utilizado para subsidiar o zoneamento ambiental.

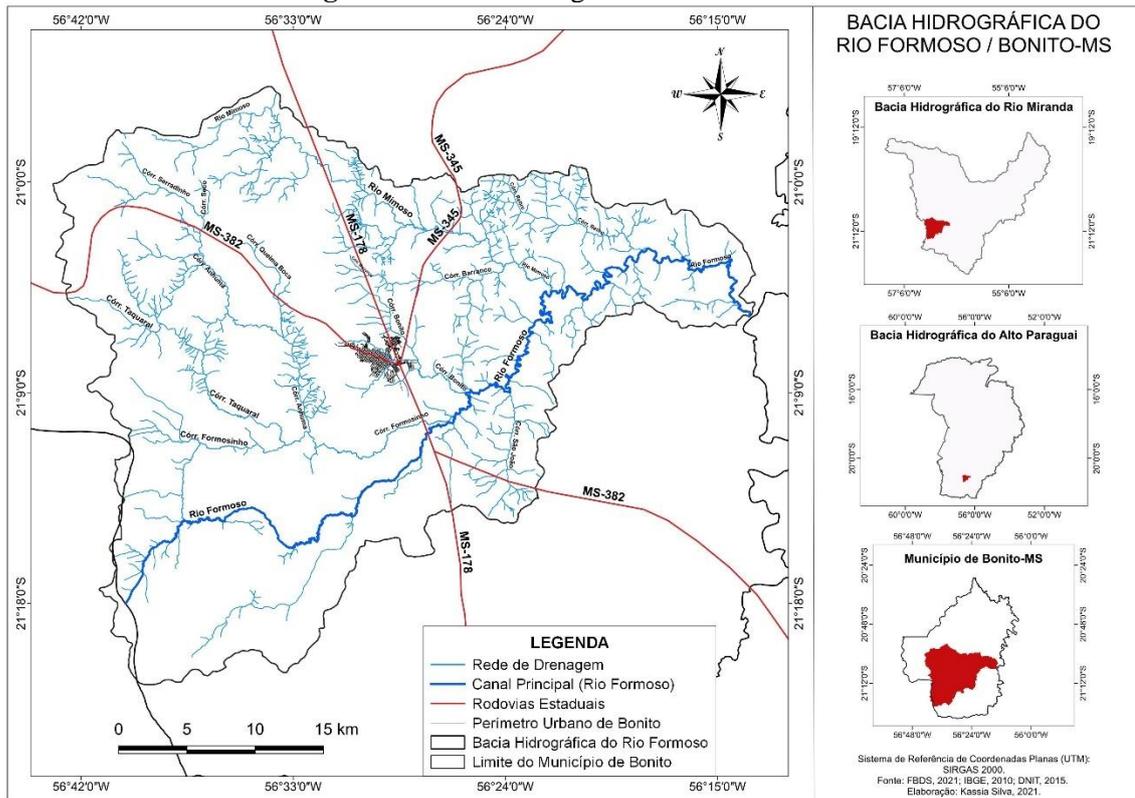
A importância do mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso está atrelada diretamente à atividade turística através dos recursos hídricos no município de Bonito-MS, haja vista que esta é uma atividade econômica de destaque na região. Através deste trabalho, poderão ser diagnosticadas as condições ambientais da área de estudo, o que poderá ser, futuramente, utilizado no planejamento da região, em futuros zoneamentos ambientais, e também servir de referencial para outras pesquisas, ficando à disposição dos gestores, da comunidade científica e demais interessados.

Assim, o presente trabalho se propôs a elaborar o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo utilizando a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), visando subsidiar o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formoso. Essa metodologia define uma escala de valores para a vulnerabilidade natural à perda de solos, de acordo com a relação morfogênese/pedogênese para os temas geologia, vegetação, solos, clima e geomorfologia, onde são atribuídos pesos para as variáveis ambientais (CREPANI *et al.*, 2001).

A questão problema do trabalho é: Até que ponto o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso pode contribuir com o zoneamento ambiental e, por conseguinte, com o ordenamento territorial da região?

A bacia hidrográfica do Rio Formoso (Figura 1) nasce no Parque Nacional da Serra da Bodoquena e deságua no Rio Miranda que, por sua vez, faz parte da região hidrográfica do Alto Paraguai. Está localizada no município de Bonito, estado de Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste brasileiro) e possui uma extensão territorial de 1.316 km². A bacia está situada entre os paralelos 21°11'56" e 20°59'23" de latitude Sul e meridianos 56°40'29" e 56°20'47" de longitude Oeste.

Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Formoso



A área de estudo está situada em uma região turística, haja vista que no município de Bonito, esta é uma atividade bastante recorrente. Nesse sentido, as atividades turísticas desenvolvidas na região movem a economia local, sendo que os empreendimentos turísticos locais estão fortemente vinculados à água, já que “[...] 98% dos empreendimentos turísticos utilizam esse recurso natural para o desenvolvimento de suas atividades” (LELIS *et al.*, 2015).

Bonito possui relevos cársticos de paisagens únicas, com seus morros residuais, rios cênicos, cavernas e outras modelagens cársticas, impactando positivamente no turismo, além de uma variedade de Unidades de Conservação, como o Parque Nacional da Serra da Bodoquena, o Monumento Natural da Gruta do Lago Azul e o Monumento Natural do Rio Formoso (MEDEIROS; CHÁVEZ, 2022).

Assim, o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos visando subsidiar o ZEE na bacia hidrográfica do Rio Formoso, se apresenta como uma alternativa de vital importância para a gestão e planejamento ambiental. Ademais, sabendo da importância das águas para o turismo na região, este trabalho também deverá ser útil nesse sentido, pois vai auxiliar nas estratégias de políticas ambientais voltadas à conservação da bacia hidrográfica do Rio Formoso, no município de Bonito-MS.

O presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Formoso, visando subsidiar o zoneamento ambiental da região. Para o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo na área de estudo, foi necessário partir de três objetivos específicos, os quais:

- Fazer a composição de um banco de dados geoespaciais da bacia hidrográfica do Rio Formoso;
- Caracterizar as unidades territoriais básicas (geologia, vegetação, solos, clima e geomorfologia);
- Atribuir pesos de vulnerabilidade para os componentes da paisagem, realizando o diagnóstico do grau de fragilidade ambiental na bacia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema, Geossistema e Paisagem nos Estudos de Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica enquanto unidade de paisagem sistêmica, necessita ser estudada sob a óptica dos estudos integrados, de tal forma que sejam observadas as complexas inter-relações das unidades que compõem o sistema bacia hidrográfica, já que, segundo Guerra e Botelho (2006) esta corresponde a uma unidade básica natural de planejamento, em que as dinâmicas integradoras das diferentes formas de uso e manejo precisam ser entendidas a partir do pensamento sistêmico, onde cada componente desse sistema pode sofrer influência ou influenciar os demais, numa dinâmica de ação e reação.

A bacia hidrográfica é um sistema que possui uma rede de drenagem bem definida, onde suas águas, ao serem drenadas, se encaminham em direção a outras redes de drenagem, além disso, seus limites são traçados de acordo com o relevo, é um sistema fluvial que tem um rio principal, sendo, portanto, um espaço físico-funcional (RODRÍGUEZ; SILVA; LEAL, 2011).

Na perspectiva de um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 17).

Dentro da perspectiva geográfica, a bacia hidrográfica se caracteriza como uma unidade de paisagem sistêmica, que se estabelece enquanto um sistema aberto, à medida que interage com outros sistemas, havendo trocas de energia e matéria com elementos externos, que podem alterar a dinâmica dessa unidade.

Nesse sentido, o conceito de sistema foi desenvolvido por Ludwig von Bertalanffy em 1950, sendo aprimorado na década seguinte, a partir da criação da Teoria Geral de Sistemas, pelo mesmo autor (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). “Sistema pode ser resumidamente definido como um conjunto de partes que se inter-relacionam” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 19). Na geografia, a abordagem sistêmica foi inicialmente introduzida por Sotchava (TROPMAIR; GALINA, 2006). Sotchava (1978) caracterizou os geossistemas como classes de sistemas abertos e hierarquizados entre si.

Tropmair e Galina (2006) afirmam que a análise integrada se evidenciou com a Teoria Geral dos Sistemas, quando Ludwig von Bertalanffy (1973) anunciaram que todas as partes do sistema, participam e influenciam em sua totalidade, assim, um componente isolado de um

sistema não pode servir de parâmetro para representar o todo. Para esses autores, o surgimento da análise sistêmica foi um grande marco para a geografia, apontando para a sistematização e a integração do meio ambiente com seus elementos, conexões e processos, que são potencialmente utilizados pelo homem.

A Teoria Geral dos Sistemas surge no século XX, quando a visão mecanicista e fragmentada não tinha mais capacidade de explicar muitos dos problemas inerentes à complexidade mundial, tendo como meta a de ser aporte para a diversificação de problemáticas que uma visão fragmentada seria incapaz de explicar satisfatoriamente (SILVA; LEITE, 2020).

A abrangência conceitual do termo “sistema” resulta de seu amplo poder de aplicabilidade, de seus inúmeros adeptos e de sua capacidade de alcançar as mais diferentes áreas do conhecimento (LEITE; ROSA, 2010). A terminologia do conceito “sistema” tem como sentido fundamental o de síntese, de ser um conjunto unificado formado por partes interligadas, que se articulam entre si e, não reunidas ao acaso, onde o sistema adquire características de uma unidade funcional, uma organização articulada capaz de funcionar por si só, onde cada sistema formado e vários subsistemas serão individualmente um sistema menor, que possuem, cada um, sua individualidade funcional (BRANCO, 1999).

Christofoletti (1980) afirma que um sistema é formado a partir de um conjunto de elementos, das relações entre esses e entre seus atributos, onde a estrutura do sistema é formada a partir de elementos e suas relações, manifestando-se através do arranjo e de seus componentes, sendo o elemento, a unidade básica do sistema.

De acordo com Miller (1965 apud CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 1) um sistema é definido como “[...] um conjunto de unidades com relações entre si. A palavra ‘conjunto’ implica que as unidades possuem propriedades comuns. O estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades.” É um organismo com partes interdependentes e interligadas, que formam o todo (BERTALANFFY, 1973). Portanto, “[...] um sistema é uma unidade global, não elementar, visto que é constituído por partes diversas e inter-relacionadas” (MORIN, 1977, p. 102).

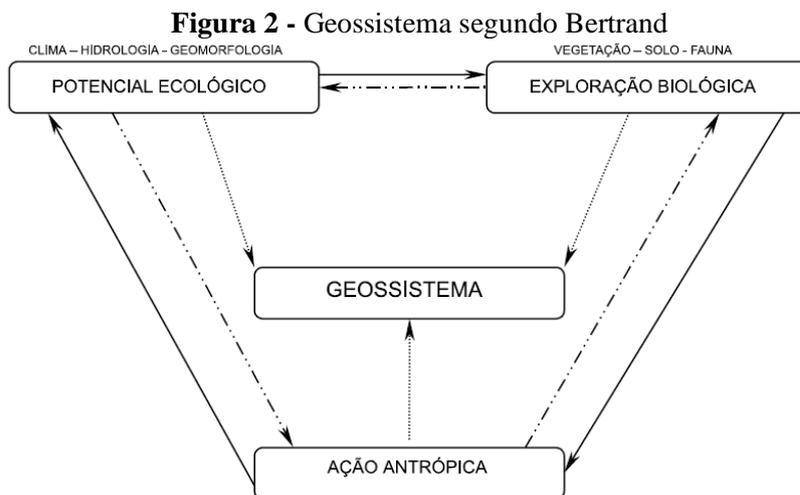
Os sistemas abertos mantêm-se estabilizados conforme as forças que atuam em si, advindas do meio ambiente, são absorvidas pela flexibilidade de sua estrutura, sofrem reajustes em busca de um novo estado de equilíbrio quando são introduzidas novas forças que ultrapassam a capacidade de absorção do sistema, portanto, essa fase de transição entre um estado de equilíbrio a outro, se refere ao tempo de readaptação do sistema e, os vários estados transitórios de um sistema, constitui sua trajetória de readaptação (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quando são introduzidas novas forças externas, maiores que a capacidade de absorção do sistema, ele passa por um reajuste em busca de um novo estado de equilíbrio (CREPANI *et al.*, 2001). Essa ruptura ocorre quando os movimentos exteriores possuem magnitude satisfatória, que excede a capacidade de absorção do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na atualidade, se destaca no estudo do espaço geográfico, as análises integradas e holísticas, uma visão que emerge da antiguidade, tendo maior enfoque com Alexander von Humboldt (1769-1859) (TROPPEMAIR; GALINA, 2006). Por essa perspectiva, e tendo como paradigma a Teoria Geral dos Sistemas, o russo Sotchava e a posteriori Bertrand, desenvolveram a teoria Geossistêmica, que passou a ser utilizada na Geografia (ROVANI; CASSOL, 2012).

Nascimento e Sampaio (2005) salientam que a Teoria Geossistêmica é um modelo teórico relativamente recente na ciência geográfica, que emergiu no início da década de 1960, na antiga União Soviética, quando o russo Sotchava propôs usá-la para estudar paisagens geográficas complexas. Sotchava (1977) defende que, apesar dos geossistemas serem classificados como fenômenos naturais, eles devem ser analisados sob a óptica das questões econômicas e sociais, que influenciam sua estrutura.

O geossistema compreende dados ecológicos relativamente estáveis, resultado da combinação de fatores geomorfológicos (tais como a natureza das rochas e dos mantos superficiais, valor do declive e dinâmica das vertentes), de fatores climáticos e hidrológicos (BERTRAND, 2004). Como pode ser visto na figura 2, Bertrand (2004), classifica os geossistemas de acordo com sua escala espaço-temporal, havendo, dessa forma, unidades superiores, que seriam compatíveis com “zonas”, “domínios” ou “regiões naturais” e unidades gradativamente inferiores, capazes de definir os “geossistemas”, “geofácies” e “geótopos”.



Fonte: BERTRAND (2004).

Ao criar o termo Geossistema, Sotchava o adotou baseado em sua vivência, interpretando a realidade do espaço geográfico de seu país, a Ex-URSS, para o autor, os Geossistemas são áreas que abrangem de centenas a milhares de quilômetros quadrados, portanto, não é possível que a teoria geossistêmica seja aplicada em áreas menores que as mencionadas, como em decâmetros, hectares ou metros quadrados (TROPPIAIR; GALINA, 2006).

Enquanto abordagem teórica, metodológica e conceitual, o geossistema é regularmente mencionado na ciência geográfica, estando atrelado aos estudos paisagísticos e ambientais, com destaque para as vertentes francesa e russo-soviética, principalmente a partir das publicações de Bertrand e Sotchava (DAS NEVES; SODRÉ, 2021).

Os geossistemas irão se manifestar em todos os níveis hierárquicos, assim, a escala dimensional de análise usada em sua representação é o fator determinante para seu detalhamento, proporcionando a visualização das homogeneidades e heterogeneidades da paisagem (DIAS; FILHO, 2017).

Os geossistemas são identificados a partir de seus elementos geográficos e sistêmicos, sendo os elementos geográficos a combinação espacializada de fatores abióticos (rocha, ar e água); bióticos (animais, vegetais e solos) e antrópicos (os impactos que a sociedade provoca sobre o meio); já os elementos sistêmicos consideram os conceitos: espacial, natural e antrópico (PISSINATI; ARCHELA, 2009).

A literatura geográfica russa e alemã apontam que o Geossistema funciona em escala regional, portanto, áreas restritas, como pequenos vales, uma vertente ou elementos geomorfológicos isolados não formam um Geossistema (TROPPIAIR; GALINA, 2006). Assim, as categorias dimensionais do geossistema (planetário, regional, topológico e intermediário), se determinam de acordo com critérios de espacialização geográfica, submetendo-se a escalas e peculiaridades qualitativas próprias (ROSS, 2006).

Os geossistemas e os demais sistemas geográficos sempre estarão funcionando diante de flutuações no fornecimento de matéria e energia, entretanto, os ajustes feitos no interior do próprio sistema possibilitam que se absorvam flutuações sem que o estado do sistema seja modificado, assim, o estado estático não é algo permanente, e sim aponta para sua amplitude de variação, além disso, a escala temporal é a que melhor representa o nível de estabilidade ou instabilidade do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Leite e Rosa (2010), as ações humanas, mesmo que intencionalmente voltadas ao benefício da humanidade, modificam o meio ambiente, podendo provocar reações em cadeia,

assim, em decorrência dessas complicações, a mundialização dos problemas ambientais, a preocupação com a degradação ambiental e a escassez de recursos naturais, despertaram a busca por entender as relações sociedade/natureza de modo integrado e dinâmico.

As unidades de paisagem natural possuem diferentes graus de absorção às forças externas, tal qual seus componentes (relevo, solo, vegetação, entre outros) possuem também escalas de reajuste que se diferenciam frente às alterações provocadas pela atuação de forças externas, oscilando da escala de anos até milhões de anos (CREPANI *et al.*, 2001). Assim, as atividades desenvolvidas dentro dos polígonos de intervenção antrópica da unidade de paisagem natural, incorporam novas forças, capazes de alterar, em diferentes escalas, o equilíbrio do sistema (CREPANI *et al.*, 2001).

Crepani *et al.* (2001) sustentam que o sistema de materiais que compõe as unidades de paisagem natural, os processos que atuam em si e sua geometria, é parte integrante de um sistema que se autorregula, onde a forma é consequência do ajuste de materiais e processos. Para o autor, esse sistema, que se faz presente em cada unidade de paisagem natural, quando mantido em estado de equilíbrio, expressa o ajuste total das variáveis internas às condições externas e, enquanto sistemas abertos, se mantêm em estado de equilíbrio enquanto as forças do meio ambiente possam ser absorvidas pela flexibilidade interna do sistema.

Portanto, “[...] o conceito de paisagem se direciona para a abordagem sistêmica, onde todos os elementos fazem parte da natureza” (LEITE; ROSA, 2010, p. 135). Assim, a paisagem se refere ao espaço geográfico onde as técnicas da sociedade se modificam e são determinadas de acordo com processos históricos e naturais ao longo do tempo (LEITE; ROSA, 2010). Na concepção geográfica,

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos díspares. É, em uma certa porção de espaço, o resultado da combinação dinâmica, e, portanto, instável, de elementos biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um todo único e indissociável em perpétua evolução. O tipo dialético individual é o próprio fundamento do método de pesquisa (BERTRAND, 2004, p. 141).

De acordo Guerra e Marçal (2006) no século XIX o estudo da paisagem era tomado por uma abordagem descritiva e morfológica, tendo como base teórica naturalistas que viam a natureza do ponto de vista da sua fisionomia e funcionalidade, tal visão perdurou até a década 20 do século XX, quando passa a ser incorporada uma visão mais integradora entre os componentes da paisagem, destacando também sua função na natureza. Para os autores, o período que se sucede é marcado pela grande influência da Teoria Geral dos Sistemas, que

incorpora aos estudos da paisagem a perspectiva sistêmica e dinâmica entre os componentes da natureza.

A partir da visão sistêmica, concebe-se a paisagem como um sistema integrado, no qual cada componente isolado não possui propriedades integradoras. Estas propriedades integradoras somente desenvolvem-se quando estuda-se a paisagem como um sistema total (RODRIGUEZ *et al.*, 2017, p. 47).

Nesse sentido, os estudos pioneiros a respeito dos recursos naturais sob a perspectiva da análise integrada terra/paisagem, foram desenvolvidos simultaneamente na Austrália, no Canadá e na antiga URSS, já que, no pós Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade desses países de obterem acesso a informações ambientais de vastas áreas subdesenvolvidas em seus próprios territórios, desenvolvendo-se, a partir de então, um trabalho interdisciplinar com especialistas de vários campos do conhecimento (PISSINATI; ARCHELA, 2009).

A emergência de compreender os fenômenos da natureza diante das incertezas e irregularidades impostas, induz ao desenvolvimento de estudos da natureza sob uma perspectiva integradora, levando em conta suas dinâmicas e compreendendo o todo de forma sistêmica, também conhecida como a visão holística da natureza (GUERRA; MARÇAL, 2006).

É através do artigo do francês Georges Bertrand, intitulado “Paisagem e geografia física global: esboço metodológico (1968) que o Brasil passa a conhecer a discussão sobre paisagem, trabalho o qual foi posteriormente traduzido pela professora Olga Cruz, do departamento de Geografia da USP, em 1971 (PISSINATI; ARCHELA, 2009).

Enquanto abordagem conceitual, Pissinati e Archela (2009), caracterizam “paisagem” como uma palavra universal, que pode ser usada em diversas outras aplicações e significados, é também um termo de cunho científico e geográfico, sendo introduzido enquanto conceito geográfico no século XIX, por Alexander von Humboldt. Segundo esses autores, o conceito de paisagem foi amplamente discutido por diversos geógrafos e demais estudiosos de áreas afins ao longo da história, passando por várias modificações e sendo integrado a outros termos, tais como os geossistemas e as unidades de paisagem.

O geossistema se aproxima do conceito de paisagem enquanto paisagem global, evidenciando-se a preocupação com a interação entre sociedade e natureza, sendo que, na abordagem geossistêmica, o geossistema é uma categoria de sistemas territoriais regido por leis naturais, que podem ou não ser modificados pelo homem (DIAS; SANTOS, 2007).

A paisagem tem como características: a) a homogeneidade na composição de seus elementos, o caráter de suas relações e interações; b) a abordagem sistêmica e complexa de sua formação; c) a particularidade do seu grau de intercâmbio de fluxos de substâncias, energia e informação, que determinam sua dinâmica e funcionamento; d) a homogeneidade relativa espacial das paisagens, caracterizando-se, territorialmente, com regularidades de subordinação espacial e funcional (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Tomando como parâmetro a discussão da paisagem sob a perspectiva geossistêmica da análise integrada, tem-se na bacia hidrográfica uma relevante unidade de discussão, por ser uma unidade de paisagem que apresenta características que permitem uma discussão sob a lógica do pensamento sistêmico, a partir de uma visão holística e integrada da paisagem. Demonstra seu potencial enquanto unidade territorial sistêmica, sendo objeto de estudo em diversas áreas, principalmente na hidrologia e geomorfologia, mas também em estudos que estejam relacionados aos aspectos bióticos, socioeconômicos ou socioculturais, sendo frequentemente associada a trabalhos da área de Geografia e afins (LEITE; ROSA, 2010).

A bacia hidrográfica é reconhecida na geografia como uma unidade fisiográfica que dispõe de estudos sobre classificação, tipologia, quantificação e hierarquização e, enquanto unidade territorial, não se limita somente a estudos do meio físico, mas também em análises regionais, culturais, políticas e econômicas (ANDREOZZI; VIADANA, 2010). Com essas características, a bacia hidrográfica possibilita a integração multidisciplinar entre diversos sistemas de gerenciamento, estudo e atividades do setor ambiental, permitindo também a aplicação de tecnologias avançadas, tendo a visão sistêmica como ponto de partida (LEITE; ROSA, 2010).

Por possuir um potencial de análise e integração entre seus elementos e pela crescente preocupação relacionada à qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, a bacia hidrográfica passou a ser evidência em inúmeros estudos, que partem dessa unidade como elemento principal de análise (CARVALHO, 2012). Seu uso enquanto unidade de planejamento para a conservação dos recursos naturais, deve estar atrelado ao conceito de desenvolvimento sustentável, que busca atingir o desenvolvimento econômico, a igualdade social, econômica e ambiental e a sustentabilidade ambiental (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

É uma unidade espacial de análise privilegiada, à medida que viabiliza, por meio da abordagem sistêmica, o estudo de seus elementos e relações (ANDREOZZI; VIADANA, 2010).

Para os referidos autores, a bacia hidrográfica é resultado da ação de forças endógenas e exógenas, que modelam o relevo terrestre e, por ser considerada onipresente na paisagem, toda porção do globo terrestre está inserida dentro de alguma bacia de drenagem. Além disso, essa unidade não é estática e estável, passando frequentemente por processos de modelagem fisiográfica em seu relevo. Para Romero e Vinagre (1985, p. 4):

La cuenca hidrografica constituye una de las unidades geografico-fisicas mas interesantes. Presenta una clara estructura espacial organizada por la red de drenaje y limitada por las divisorias de aguas. Sus rasgos morfologicos, representados por los sistemas de laderas y llanuras, se asocian a la distribucion de los climas, suelos y vegetacion.

Este conjunto de canais inter-relacionados em uma área definida está sujeito aos fluxos de energia e matéria, relativos a outros elementos presentes na bacia, como o regime de precipitação e a infiltração nos solos e vários outros, que se relacionam e através destas relações constitui-se, portanto, em um sistema.

As atividades antrópicas, distribuídas espacialmente de maneira difusa ou concentrada, possibilitam a entrada de mais elementos à dinâmica de funcionamento do sistema, aumentando, portanto, sua complexidade, sendo que essas atividades possuem a capacidade de alterar de modo significativo o comportamento dos fluxos que constituem a bacia hidrográfica, tomando como exemplo as obras de drenagem antropizadas, a impermeabilização do solo em áreas urbanizadas, entre outros (ANDREOZZI; VIADANA, 2010).

Por essa lógica, Lima e Silva (2015) salientam a relevância de estudos integrados em bacias hidrográficas, quando se almejam políticas públicas voltadas à aplicação do desenvolvimento sustentável no uso e ocupação da terra, no âmbito do planejamento e do ordenamento territorial. A bacia hidrográfica se caracteriza como a entidade geográfica preferencial para a análise ambiental por possibilitar a análise integrada entre as atividades humanas e o meio físico-natural, abarcando, portanto, estudos sistêmicos a partir da ótica da paisagem integrada, demonstrando seu potencial enquanto unidade territorial sistêmica (LEITE; ROSA, 2010).

A bacia hidrográfica, enquanto unidade preferencial a ser utilizada no planejamento e gestão dos recursos hídricos, deve ser analisada partindo da abordagem sistêmica, por ser considerada uma unidade/sistema que possui relações com outros sistemas, que são interligados em suas variadas relações, sejam elas sociais ou ambientais (CARVALHO, 2014).

Segundo Botelho e Silva (2004), houve uma crescente evidência da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, sendo possível, a partir dela, realizar análises integradas das ações humanas sobre o meio, assim como seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico.

2.2 Solos e Processos Erosivos

O solo é um dos recursos naturais de maior relevância para a manutenção da qualidade de vida humana, possui múltiplas funções nos ciclos dos nutrientes, no ciclo hidrológico e para a sustentabilidade dos sistemas naturais, além de ser um dos fatores mais importantes na determinação da tipologia florestal (WADT *et al.* 2003). É um recurso natural imprescindível para a manutenção da vida na Terra, mas que, contraditoriamente, as atividades antrópicas desenvolvidas sobre ele, resultam em sua degradação (ROCHA; MAGRI, 2022).

A erosão do solo representa um dos maiores problemas da humanidade, reduzindo a qualidade e produtividade do solo, causando escassez de terras agricultáveis, redução da infiltração, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a qualidade da água (RODRIGUES, *et al.* 2017).

Os fatores de formação do solo, denominados de intemperismo, compõem também forças físicas que causam a desintegração das rochas, as reações químicas capazes de alterar a composição das rochas, as reações químicas que modificam a composição das rochas e dos minerais, além das forças biológicas que causam a intensificação das forças físicas e químicas (BERTONI; NETO, 1985). Assim, mudanças associadas a fatores como intensidade e frequência de precipitações, umidade, uso e cobertura vegetal, entre outros, podem induzir o desequilíbrio dos solos (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007).

Nesse sentido, têm-se os processos erosivos, fenômeno que integra a dinâmica das formas de relevo (LIMA, 2003). Podem ser causados tanto por fatores naturais como por fatores antrópicos (GUERRA; MENDONÇA, 2007).

Apesar de ser um processo natural, pode ser intensificada e acelerada à medida que o homem interfere sobre a natureza, principalmente através da retirada da cobertura vegetal. A própria natureza pode ser causadora dos processos erosivos, agindo de forma passiva, atuando por meio de alguns fatores naturais, como: o clima, o solo, a hidrologia e o relevo, por outro lado, o homem age de forma ativa, acelerando os processos erosivos sobre os solos (LAL, 1990).

Os fatores naturais que provocam a erosão dos solos estão relacionados à quantidade e distribuição da chuva, declividade, comprimento e forma das encostas, propriedades químico-físicas do solo e cobertura vegetal, já a ação antrópica pode ser exemplificada através do uso e manejo do solo, que muitas vezes ocorre de forma inadequada, acelerando os processos erosivos (GUERRA; MENDONÇA, 2007).

Segundo Lima (2003), os agentes erosivos são classificados em dois tipos: agentes erosivos passivos (clima, solo, hidrologia e relevo) e agente erosivo ativo (erosão causada pelas ações antrópicas a partir do uso da terra), desses, o que mais se destaca é a água que, pela atuação das chuvas, do escoamento em superfície, mares e lagos, causa a chamada erosão hídrica.

O que conhecemos na literatura como erosão hídrica implica a desagregação de partículas do solo, assim como o transporte dessas partículas e sua deposição (CASSOL; LIMA, 2003). O relevo se destaca enquanto elemento de importância significativa, atuando como potencializador da erosão hídrica (LIMA, 2003).

A erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos tropicais e também é responsável por desencadear diversos problemas ambientais e socioeconômicos, vias disso, as estimativas de perda de solo por erosão hídrica são importantes na avaliação da degradação do solo e proposição de medidas de manejo conservacionista (PINTO *et al.*, 2020).

No escoamento superficial, as principais formas de erosão causadas pela ação das águas são conhecidas como: erosão laminar, erosão em sulcos, em ravinas e em voçorocas (LIMA, 2003). Dessas, os tipos de erosão por ravinas e voçorocas são as de maior impacto sobre o meio físico (KERTZMAN *et al.*, 1995).

A erosão laminar ocorre quando o impacto das gotas de chuva sobre o solo provoca a desagregação de suas partículas, fazendo com que estas se tornem mais vulneráveis ao arraste causado pelo escoamento superficial da água, além disso, esse processo retira matéria orgânica do solo, causando prejuízos nas características físicas do terreno, especialmente na porosidade e capacidade de retenção de água (WADT *et al.* 2003). Esse processo provoca a erosão em lençol ou erosão laminar, que se estabelece quando há o saturamento do solo, fazendo com que as poças não consigam mais conter água, que irá se acumular nas áreas de depressão do relevo e descer pelas encostas; o fluxo inicial é difuso, com escoamento em lençol (*sheetflow*) (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007).

Portanto, a erosão laminar é a lavagem do solo em terrenos de superfície arada; a erosão em sulcos corresponde ao acúmulo de água escoando em pequenos sulcos nos campos

cultivados e a erosão em voçorocas é o aprofundamento maior da erosão em profundidade e largura (BERTONI; NETO, 1985), proveniente “[...] da intensificação do processo de ravinamento, tanto no sentido vertical como horizontal, concentrando grandes volumes de fluxo das águas do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial” (LIMA, 2003, p. 6).

A erosão em ravinas constitui uma das formas de erosão hídrica onde o escoamento superficial é concentrado nas encostas de áreas degradadas e sem escoamento de subsuperfície (LAFAYETTE; CANTALICE; COUTINHO, 2011). Quando expandem seu comprimento, largura e profundidade, as ravinas podem evoluir para voçorocas ou formar uma rede de canais de drenagem, devido ao recuo das encostas (GUERRA, 1997).

Assim “[...] são consideradas ravinas incisões com menos de 50 centímetros, e voçorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007, p. 59).

A erosão por salpico, também conhecida como *splash erosion*, ocorre quando há o deslocamento de partículas provocada pelo impacto de gotas de chuva, que faz com que ocorra a compactação da superfície do terreno (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007).

Dessa forma, como apontado por Silva e Botelho (2007), a quantidade de matéria orgânica, em conjunto com outras propriedades dos solos, interfere diretamente na ruptura dos agregados; tais propriedades são: textura, densidade aparente, porosidade, estrutura, além de parâmetros relacionados às características das encostas, cobertura vegetal, erosividade da chuva e uso e manejo do solo (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007).

A ruptura dos agregados é considerada um dos fatores iniciais no processo de erosão dos solos, já que é a partir dessa ruptura que outros processos emergem no topo do solo, fazendo com que este seja desestabilizado e, conseqüentemente ocorra o processo erosivo (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2007).

Segundo Lima (2003), um fator que possui relação direta com a perda do solo é o grau de declividade, influenciando no volume e na velocidade da enxurrada, além disso, outro fator que está associado à erosão é o comprimento das encostas, já que o aumento em seu comprimento resulta em um maior volume e velocidade da enxurrada, aumentando a capacidade erosiva do terreno.

Um dos fenômenos climáticos de maior relevância para a erosão do solo é a chuva, sendo que o volume e a velocidade da enxurrada irão depender da intensidade, duração e frequência da chuva; assim, a intensidade é o fator pluviométrico de maior importância para o processo erosivo (BERTONI; NETO, 1985). Deve se considerar a quantidade de chuva que cai

de forma contínua em um período mais ou menos longo, tomado como parâmetro sua intensidade, duração e frequência, sendo que, quanto maior a intensidade de chuva, maior será a perda de solo por erosão (BERTONI; NETO, 1985).

De acordo com Bertoni e Neto (1985), as gotas d'água que atingem o solo através da chuva, contribuem para o processo erosivo de três formas: a) desprendimento das partículas de solo da área impactada; b) transporte, por salpicamento, das partículas que foram desprendidas; c) imprime energia à água superficial.

O impacto das gotas de chuva sobre o terreno, além de ter seu potencial erosivo, possui também a capacidade de compactação do solo, que influencia na infiltração e no escoamento da água, onde se modifica a estrutura superficial do solo e, conseqüentemente, sua capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial da água (LIMA, 2003).

De acordo com Lima (2003) a infiltração diz respeito à entrada e movimento de água nos solos, assim, quanto maior for a infiltração, menor será o escoamento superficial e, conseqüentemente, menor a capacidade erosiva desse solo.

O solo perdido pela erosão hídrica é geralmente mais fértil, contendo os nutrientes das plantas, húmus e algum fertilizante que o lavrador tenha aplicado. Milhões de toneladas de solo superficial fértil podem ser perdidos para sempre se ele é arrastado para o mar. Terrenos com erosão severa tornam-se difíceis de trabalhar, e os sulcos que se formam impedem o seu manejo, porém, o que de mais grave resulta são as grotas que crescem continuamente, inutilizando os mesmos, chegando a serem abandonados (BERTONI; NETO, 1985, p. 15).

À medida que a erosão do solo avança, independentemente de sua causa, torna a terra inabitável (BERTONI; NETO, 1985). Assim, quando a cobertura vegetal é parcial ou totalmente removida das áreas mais acidentadas, a enxurrada irá escorrer com maior velocidade, aumentando o volume; inicia-se, portanto, a erosão, que irá ocasionar um grande dano ao solo e à vegetação remanescente do terreno (BERTONI; NETO, 1985).

Nesse sentido, quando se busca minimizar a degradação dos solos e, conseqüentemente, das águas ou buscar sua restauração, é indispensável que sejam repensados os aspectos relacionados ao uso e manejo agrícola e ambiental do solo (BONETTI; FINK; PITTA, 2020). Já que a degradação dos solos representa grande dano socioeconômico para as gerações atuais e coloca em risco as futuras gerações (WADT *et al.* 2003).

Segundo Guerra, Silva e Botelho (2007), para que se adote práticas de conservação dos solos, é necessário que se conheça com propriedade o processo erosivo e, para tal, é fundamental que se entenda a erosão desde seus primeiros estágios, que ocorre a partir do

momento no qual as gotas de chuvas caem sob o solo, provocando a ruptura dos agregados, processo conhecido como *splash*, até provocar a selagem do solo, que dificulta a infiltração e promove o escoamento difuso, formando ravinas e voçorocas.

Sabendo disso, coloca-se em evidência a elaboração de cartas de vulnerabilidade natural à perda de solos, enquanto instrumento essencial para o planejamento ambiental, que viabiliza o planejamento e a gestão para a conservação, principalmente dos recursos hídricos (SANTOS, 2014).

2.3 Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo em Bacias Hidrográficas

Nas últimas décadas, o crescimento da população e o desenvolvimento de novas técnicas, fizeram com que as intervenções do homem sobre o meio se dessem de forma cada vez mais intensa, modificando as paisagens e com isso, acelerando os processos de degradação dos ambientes. Essas intervenções se dão, muitas vezes, sem que haja a preocupação com a preservação e conservação do meio ambiente, havendo uma intensa exploração dos recursos naturais, sem pensar na escassez desses recursos.

Segundo Cunha *et al.* (2022) as intervenções antrópicas na exploração dos recursos naturais intensificam os processos de vulnerabilidade dos ambientes à degradação, o que provoca modificações nas características naturais desse meio. Ao se apropriar do território e de seus recursos naturais, o homem modifica a paisagem natural, em um ritmo muito mais intenso do que aquele provocado pela própria natureza (ROSS, 2006).

Para Ross (2006), o grau de fragilidade dos ambientes naturais diante das intervenções antrópicas pode variar de acordo com suas características genéticas. Com exceção de algumas regiões do planeta, os ambientes naturais permaneciam em estado de equilíbrio até o momento em que as sociedades humanas começaram a intervir cada vez mais intensamente sobre eles, explorando os recursos naturais disponíveis de forma indevida, em prol de seu bem estar pessoal.

As intervenções antrópicas sobre o meio alteram o equilíbrio dos geossistemas, causando perdas na qualidade ambiental e no setor econômico e social, havendo a necessidade que se proponha um planejamento equalizando três fatores: desenvolvimento econômico, preservação dos recursos naturais e equilíbrio dos geossistemas (RODRIGUES; LEITE, 2018).

Costa (2018) sinaliza para o aumento do interesse pelo debate em torno das questões relacionadas à degradação ambiental nas últimas décadas, já que essa problemática possui

impacto direto sobre o equilíbrio ambiental e, conseqüentemente, sobre o desenvolvimento das sociedades. Portanto, a exploração da paisagem sem o devido planejamento gera, conseqüentemente, impactos socioambientais sobre o meio, sendo necessária a discussão no que cerne à complexa relação entre o ambiente físico e as intervenções antrópicas (SANTOS; CARVALHO, 2022).

É necessário entender as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais, tomando como parâmetro as categorias morfodinâmicas para identificar e mapear o grau de vulnerabilidade ambiental, que poderá ser utilizado como auxílio ao planejamento, zoneamento e gestão dos recursos naturais (MIRA, *et al.*, 2022).

O tipo de atividade antrópica desenvolvida sobre uma determinada unidade de paisagem natural pode representar sua destruição devido a sua pequena capacidade de absorver os estímulos advindos desta atividade econômica, enquanto que sua interação com outra unidade de menor vulnerabilidade, seguindo os sistemas de manejo mais indicados com práticas conservacionistas, pode representar uma atividade economicamente rentável (CREPANI *et al.*, 2001, p. 17).

Nesse sentido, a ocupação antrópica, iniciada pelo desmatamento e sucedida pelo cultivo da terra, criação de estradas e expansão de vilas e cidades, quando feita de modo inadequado, são grandes responsáveis pelo aceleração dos processos erosivos (KERTZMAN *et al.*, 1995).

Assim, a análise do relevo é um fator relevante não somente para a geomorfologia, mas também para as demais ciências que estudam os componentes da superfície terrestre (solo, rocha, vegetação, água), tal qual na definição da vulnerabilidade do meio ambiente (FLORENZANO, 2008).

O conhecimento geomorfológico vem adquirindo certa relevância em relação às questões ambientais, principalmente na elaboração de relatórios, diagnósticos e inventários cada vez mais dedicados a estudos ambientais, estando atrelada à necessidade pela busca de conhecimentos que viabilizem soluções ou melhoras dos impactos ambientais, tanto nas áreas urbanas como nas rurais, sendo fundamental para o planejamento (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Um conceito recorrente na geomorfologia é o de morfogênese, que Florenzano (2008) define como os processos que se referem à origem e desenvolvimento das formas de relevo sob a superfície terrestre, consequência da atuação de fatores endógenos (interior da Terra: abalos sísmicos, vulcanismo, tectonismo e magmatismo intrusivo) e processos exógenos, que são

aqueles que se desenvolvem sob a superfície terrestre, de forma externa: intemperismo (fragmentação e dissolução das rochas), erosão (processo natural, que retira e transporta o material intemperizado) e acumulação (processo de deposição do material transportado pela erosão).

Em relação à formação dos solos, um conceito frequentemente utilizado é o de pedogênese, que segundo Guerra e Guerra (2018) diz-se dos processos que dão origem à formação dos solos e sua evolução. Dessa forma, aspectos relacionados à formação, evolução e distribuição espacial dos solos exigem uma análise prévia da paisagem (FERREIRA, 2017).

Tricart (1977) enfatiza a interferência permanente entre pedogênese e morfogênese sobre o mesmo espaço. Entre outros fatores mencionados pelo autor, trazemos aqui dois exemplos apontados por ele para afirmar a relação pedogênese/morfogênese: 1) quando a instabilidade do sistema ambiental é fraca, prevalece a pedogênese e, 2) quanto mais intenso forem os processos modeladores do relevo, mais a pedogênese sofrerá alteração, fazendo com que os solos percam suas características típicas.

De acordo com Santos e Brito (2007), a vulnerabilidade caracteriza o grau de suscetibilidade que um componente ou conjunto de componentes do meio/paisagem, manifestam à determinada ação ou fenômeno. É, portanto, a capacidade que o ambiente possui de reagir a fatores naturais nos processos de morfogênese e pedogênese (KLAIS *et al.*, 2012).

Klais *et al.* (2012) afirma que toda e qualquer ação que atue modificando o estado natural de determinado sistema ambiental, pode resultar em efeitos adversos, denominado vulnerabilidade. Pesquisas pautadas na análise da vulnerabilidade ambiental são instrumentos fundamentais para estudo do espaço geográfico e, a partir de uma análise integrada dos aspectos sociais e naturais, contribuem também para o planejamento (NUNES; AQUINO, 2018).

A vulnerabilidade natural à perda de solos foi estabelecida pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, como um dos instrumentos indicadores da fragilidade natural potencial, que compõe uma das etapas do Zoneamento Ecológico-Econômico, este último que, apesar de ter sido regulamentado pelo decreto de 2002, já era previsto desde a década de 1980, na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981), no entanto, recebia a denominação de Zoneamento Ambiental (ROSA; FERREIRA, 2021).

Portanto, o conhecimento sobre a vulnerabilidade ambiental é essencial para que se estabeleçam políticas públicas de planejamento territorial e para que se adotem práticas adequadas de manejo no uso e ocupação da terra, diminuindo os impactos e desastres ambientais (MIRA *et al.*, 2022).

Segundo Ross (1991) a intensidade de dissecação do relevo é o primeiro grande indício do grau de fragilidade potencial de um ambiente natural. Além disso, para o autor, a densidade de drenagem em concomitância com o grau de entalhamento do canal, estabelece a rugosidade topográfica (índice de dissecação do relevo), tal qual a dimensão interfluvial média de conjuntos homogêneos ou semelhantes.

Para Ribeiro (2019), o planejamento ambiental estabelece a organização funcional e espacial dos sistemas naturais e, enquanto conceito, deve estar correlacionado a estudos integrados, sistêmicos e holísticos. Nessa perspectiva, Marques e Etges (2004) defendem a bacia hidrográfica enquanto unidade de análise do território, fundamental em pesquisas regionais com foco para diagnósticos ambientais. Ademais, a bacia hidrográfica tem sido comumente utilizada na gestão e no planejamento ambiental.

Como ferramenta essencial para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, tem-se o Zoneamento Ambiental, que é tido como um auxílio à gestão, ao criar meios para o ordenamento territorial e gerenciamento dos recursos hídricos. É um instrumento que, se aplicado à bacia hidrográfica, viabilizará o diagnóstico ambiental e socioeconômico regional a partir desse sistema.

Ao visualizar a bacia hidrográfica como principal unidade de gerenciamento e gestão dos recursos hídricos, é válido considerar o zoneamento ambiental e seu caráter sistêmico e interdisciplinar na realização de levantamentos ambientais e socioeconômicos, possibilitando entender a complexidade da bacia hidrográfica enquanto unidade geossistêmica. Ademais, permite identificar as principais problemáticas ambientais dessa unidade ambiental e, através da divisão do seu território em zonas, propor atividades econômicas, sociais e ambientais mais adequadas para cada uma dessas áreas.

O zoneamento ambiental é utilizado desde a década de 80 com fins de auxiliar a gestão ambiental (SOUZA, 2017). Em contrapartida, “[...] a gestão de bacias hidrográficas mostra-se como desafio para os governantes em gerenciar as inúmeras finalidades propostas para essas áreas [...]” (JOIA; ANUNCIAÇÃO; PAIXÃO, 2018, p. 344).

Tem como aliado para a sua efetivação o geoprocessamento, já que esse tipo de zoneamento é composto da integração de várias informações, portanto, a técnica do geoprocessamento é de grande valia, por possibilitar a integração e o gerenciamento de dados espaciais e não espaciais (SOUZA, 2017). As ferramentas SIG e o geoprocessamento se encaixam como os meios mais práticos e dinâmicos para tratar e analisar as informações do zoneamento.

Nesse sentido, como forma de avaliação dos sistemas ambientais a partir da bacia hidrográfica, a análise da vulnerabilidade à perda de solos torna-se imprescindível, contribuindo significativamente para o planejamento ambiental, subsidiando o zoneamento ambiental.

Folharini, Oliveira e Furtado (2017), definem o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo como um modelo de gestão territorial a ser empregado em estudos e planos de gestão, tal modelo estabelece uma escala de valores que identifica áreas mais ou menos propensas à mobilização e transporte erosivo.

A carta de vulnerabilidade à erosão constitui um dos produtos síntese intermediários e representa a contribuição oferecida pelo meio físico-biótico à ocupação racional do território e o uso sustentável dos recursos naturais (SOUSA, 1999, p. 28).

O zoneamento ambiental, por esse ponto de vista, se apresenta enquanto um instrumento que possibilita estabelecer o grau de potencialidade e vulnerabilidade das unidades de paisagem, realizando prognósticos do ambiente diante dos impactos provocados pelo uso e ocupação da terra (BECKER; EGLER, 1997). O zoneamento ambiental integra a política nacional de meio ambiente, auxiliando na análise das especificidades do meio e identificação de suas vocações e fragilidades, correlacionando a seus aspectos físicos, biológicos e antrópicos.

Considerando o levantamento para a identificação da vulnerabilidade à erosão, é importante considerar metodologias específicas. Uma metodologia bastante empregada em trabalhos é a de Crepani *et al.* (2001), que é baseada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite, que permite uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.

Crepani *et al.* (2001) desenvolveram uma metodologia para elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo capaz de oferecer subsídios ao Zoneamento Ecológico-Econômico da região amazônica e de outras regiões. Segundo os autores, essa metodologia foi desenvolvida baseada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e do potencial de estudos integrados das imagens de satélite, “[...] que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.” (CREPANI *et al.*, 2001, p. 11). O objetivo era capacitar técnicos dos estados da Amazônia Legal durante a primeira fase do ZEE na região.

A metodologia de Crepani *et al.* (2001) define Planos de Informação temáticos geo-referenciados (PI Geologia, PI Geomorfologia, PI Pedologia, PI Vegetação e Uso e PI Intensidade Pluviométrica), que são sobrepostos, gerando o mapa de Unidades Territoriais

Básicas (PI UTB), este último que é composto pelas unidades de paisagem natural e por polígonos de intervenção antrópica. Ao PI UTB é associado um banco de dados, contendo as classes dos PI's temáticos anteriormente sobrepostos e os valores de vulnerabilidade à erosão, de cada uma das classes. Posteriormente, é realizada a classificação do grau de vulnerabilidade de cada UTB, baseando-se nos processos de morfogênese e pedogênese, onde são atribuídos pesos para a vulnerabilidade (de 1 a 3, em um total de 21 valores).

A metodologia de Crepani *et al.* (2001) permite gerar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, que são potenciais instrumentos de subsídio ao zoneamento ambiental. Assim, a elaboração do zoneamento ambiental deve partir de uma metodologia baseada no entendimento sobre a área de estudo, de suas características, suas dinâmicas naturais e socioeconômicas, visando a multidisciplinaridade através da síntese de conhecimentos (SOUZA, 2017).

2.4 Geotecnologias Aplicadas a Estudos Ambientais

De acordo com Lacruz e Souza (2009), as geotecnologias, representadas especialmente pelas imagens de satélite, softwares de geoprocessamento e dados de GPS, evoluem em velocidade rápida. Para os autores, essa evolução possibilitou que se obtenham imagens de satélite de várias resoluções espaciais, espectrais e temporais, além de ter causado uma maior disponibilidade de softwares de geoprocessamento, cedidos, algumas vezes, de forma gratuita.

Para Bertotti (2016), as geotecnologias compreendem uma estrutura que vai desde as ferramentas de obtenção de dados, passando pelo processamento desses dados e, por fim, aos produtos temáticos georreferenciados. São caracterizadas por um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações geográficas, é composta por soluções em hardwares, softwares e peoplewares, que atuam de forma integrada, contribuindo na análise e tomada de decisões (AQUINO; VALLADARES, 2013).

O uso das geotecnologias é indispensável para o monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais, já que correspondem a um conjunto de técnicas voltadas para análises espaciais (VELOSO; LEITE; ALMEIDA, 2011). Além disso, possibilita diagnósticos eficazes, oferece soluções de baixo custo e cria alternativas otimizadas, voltadas para as problemáticas ambientais da atualidade (SEABRA, 2009).

Nesse sentido, destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto, que são técnicas que possibilitam uma melhor interpretação e representação dos

fenômenos que ocorrem no espaço geográfico, sendo, portanto, ferramentas indispensáveis no ordenamento territorial, na análise e no monitoramento ambiental (AQUINO; VALLADARES, 2013). Esse destaque atribui-se pela possibilidade do monitoramento de espaços à distância através do sensoriamento remoto, que viabiliza melhorias na fiscalização ambiental (VELOSO; LEITE; ALMEIDA, 2011).

Trazendo um pouco da história dos SIG, os pesquisadores Câmara e Davis (2001), afirmam que foi no ano de 1950 que ocorreu, nos Estados Unidos e Inglaterra, as primeiras tentativas de automatização de parte do processamento de dados espaciais, o objetivo era minimizar os custos da produção e manutenção dos mapas, no entanto, devido ao baixo desenvolvimento da informática nessa época, esses sistemas ainda não poderiam ser considerados como sistemas de informação.

Os primeiros SIG só foram surgir na década de 1960, no Canadá, com a finalidade de analisar os dados do Inventário de Terras canadense e a partir disso, gerar tabelas da quantidade de terras disponíveis e seus respectivos tipos de uso (LACRUZ; SOUZA, 2009).

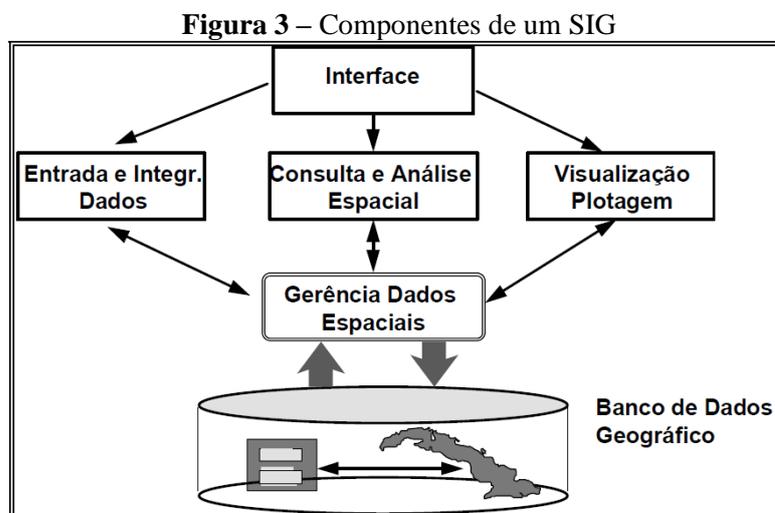
Porém, foi somente na década de 1980 que a tecnologia dos sistemas de informações geográficas iniciou um período de crescimento mais intenso, que se perpetua até os dias de hoje e, o que até então era limitado pelo alto custo do hardware e por poucas pesquisas na área, passa por um processo de massificação provocado pelos avanços da microinformática e criação de centros de pesquisas na área (CÂMARA; DAVIS, 2001).

No Brasil, a introdução do geoprocessamento se deu graças aos esforços do professor Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, quando, no início da década de 1980 começou a divulgar e formar pessoal capacitado na área do geoprocessamento, nesse mesmo ano, o grupo do laboratório de geoprocessamento do departamento de geografia da UFRJ, sob orientação e supervisão do professor, desenvolveu o Saga (Sistema de Análise Geoambiental), que possuía grande capacidade de análise de dados geográficos (IBRAHIN, 2014).

Os SIG podem ser definidos como sistemas de “aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre.” (ROSA; BRITO, 1996, p. 8). São um conjunto de técnicas que auxiliam nos mais variados campos do conhecimento, permitido que sejam feitas análises integradas.

Segundo Câmara *et al.* (2002), os componentes de um SIG são: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e

plotagem, armazenamento e recuperação de dados, assim como está representado na figura abaixo (Figura 3):



Fonte: CÂMARA *et al.* (2002)

O SIG é, ao mesmo tempo, humano e digital, sendo o SIG humano – também chamado de SIG intelecto, o conjunto de categorias mais complexas da pesquisa, que estão relacionadas muito mais com o grau de conhecimento do pesquisador sob seu objeto de análise, já o SIG digital consiste nos softwares utilizados (FERREIRA, 2014).

Ressalta-se a importância de que o pesquisador dedique mais tempo com o SIG intelecto que com softwares de mapeamento. Na pesquisa ambiental e geográfica, os SIG devem ser aliados, e não utilizados por si só, sem a análise crítica do pesquisador, pois seu uso vai para além do simples ato de “clique” em alguns botões dos *softwares* de mapeamento. É necessário que, antes da utilização do SIG digital, sejam formuladas hipóteses prévias e problemas de pesquisa que serão solucionados ou não com o desenvolvimento do trabalho.

A maioria dos usuários SIG desconhecem o verdadeiro significado da análise geoespacial, antes de se tornar um especialista em SIG, é necessário conhecer os conceitos da análise geoespacial, este último que adveio muito antes do desenvolvimento dos SIG – o que um SIG faz digitalmente, alguns geógrafos já o faziam entre 1950 e 1970, apenas com o uso da cartografia manual, utilizando instrumentos como papel milimetrado, papel vegetal, régua, esquadro, cartas, lápis, entre outros (FERREIRA, 2014).

Para que ocorra uma análise geoespacial consistente, é preciso considerar os dados geográficos como elementos que não estão sozinhos no espaço e, para além de sua localização, é necessário também fazer a análise das relações entre esses dados, assim, a análise geoespacial

é indispensável quando se pesquisa determinado fenômeno, à medida que permite que sejam mensuradas suas propriedades e relacionamentos (BIGNOTTO, 2013).

Na pesquisa ambiental, a perspectiva geográfica se coloca representada em mapas, cartogramas, tabelas e gráficos, capazes de disponibilizar informações socioeconômicas, além de dados obtidos através de sensores e levantamentos de campo, de onde se obtêm informações da natureza e da sociedade (ROSS, 2006). E, quando falamos em mapas, os associamos de imediato à geografia, portanto, os mapas representam a geografia e o que é geográfico, surgindo como uma representação simbólica da ciência geográfica (MARTINELLI, 2015).

Nessa perspectiva, nos dias atuais, a cartografia entra na era da informática, essa automação dá seus primeiros passos a partir das fases matemáticas da cartografia, mediante o surgimento dos primeiros computadores, por volta de 1946, no entanto, é somente a partir da década de 1960 que a cartografia passa a ser assessorada por computador (MARTINELLI, 2005).

Vias disso, entende-se que a cartografia, nos dias atuais, está associada diretamente às geotecnologias, esta que se mostra representada, principalmente pelas ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas e pelo Sensoriamento Remoto. Na geografia, que tem o mapa como instrumento de representação gráfica dos fenômenos que ocorram no espaço geográfico, o uso das geotecnologias se torna indispensável, principalmente quando se quer resultados práticos e de baixo custo.

Menezes *et al.* (2017), diz que o avanço tecnológico de maior influência na pesquisa geográfica relaciona-se ao emergir das geotecnologias, especialmente dos Sistemas de Informações Geográficas e do Sensoriamento Remoto. Assim,

Os SIGs permitem armazenar, manipular e analisar informações ambientais georreferenciadas, auxiliando a elaboração de diagnósticos ambientais, enquanto o Sensoriamento Remoto, por imagens de satélite, permite obter, de modo contínuo, periódico e sistemático, informações sobre a cobertura terrestre, tais como áreas de vegetação nativa, áreas cultivadas, pastagens, corpos d'água e áreas urbanas (FILHO *et al.*, 2021).

Na área ambiental, o grande potencial do SIG está em sua capacidade de integrar grandes quantidades de informações e disponibilizar uma vasta gama de ferramentas analíticas para explorá-las (AVELINO, 2004).

Trazendo alguns exemplos da aplicabilidade dos SIG na área ambiental, é uma ferramenta indispensável na análise de bacias hidrográficas, as considerando enquanto unidades de planejamento sistêmicas. O uso do SIG digital nesse campo, possibilita que sejam agrupadas

as mais diferentes informações geoespaciais de uma bacia hidrográfica (como vegetação, relevo, solo, geologia, entre outras) e, a partir da sobreposição dessas informações, seja feita uma análise integrada que resulta em mapeamentos mais completos.

As geotecnologias, são, portanto, ferramentas importantes no gerenciamento dos recursos hídricos, pois viabilizam a avaliação da bacia hidrográfica estudada, como a análise da sua cobertura vegetal e ocupação do solo, além de permitir organizar e manipular dados vetoriais e matriciais a partir de um banco de dados georreferenciados (ENCINA *et al.*, 2018).

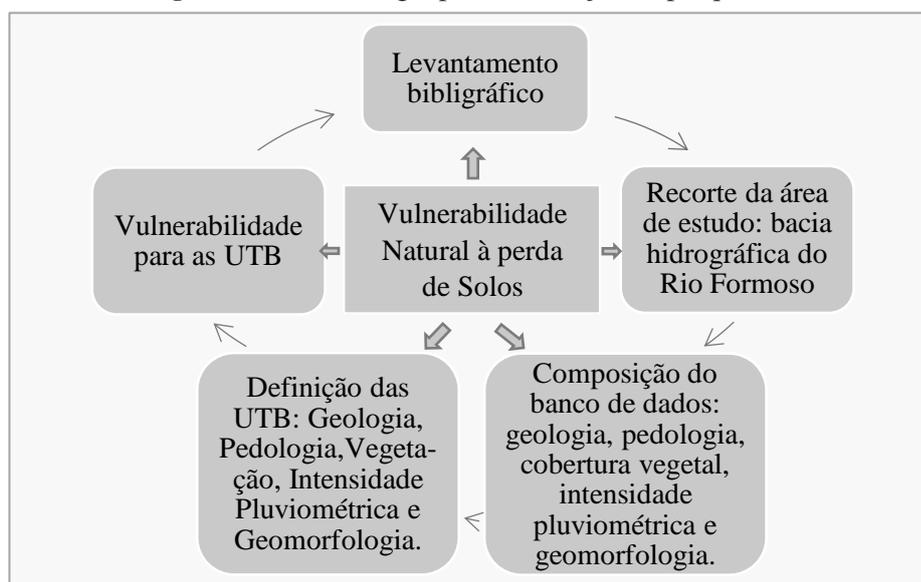
Outro exemplo se aplica aos estudos de erosão do solo, que conforme apontado por Oliveira, Seraphim e Borja (2015), o uso dos SIG no monitoramento da erosão do solo, contribuem com o zoneamento e monitoramento das áreas analisadas, assim, tais técnicas de geoprocessamento são fundamentais no planejamento e avaliação do uso e da degradação do solo.

Ademais, é importante ressaltar que o uso da geotecnologia nos estudos ambientais se mostra como uma importante solução para a escassez de recursos das instituições de gerenciamento e gestão ambiental, desde o momento da aquisição dos dados até a sua manipulação, armazenamento e análise, contanto, esses recursos devem ser aplicados com o máximo de critério, visando a melhor qualidade da informação final a ser empregada nos processos de tomadas de decisão (SEABRA, 2009).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia para elaboração do diagnóstico da fragilidade natural à perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso, foi estruturada conforme os procedimentos metodológicos propostos por Crepani *et al.* (2001). Assim, foram seguidas as seguintes etapas, conforme o fluxograma abaixo (Figura 4):

Figura 4 – Metodologia para elaboração da pesquisa



Fonte: AUTORA (2022).

Levantamento bibliográfico: nessa etapa se deu a pesquisa de artigos, dissertações e teses, com referências clássicas e estudos mais recentes, relevantes para a construção da fundamentação teórica de acordo com os objetivos do trabalho.

Recorte da área de estudo: nesse momento ocorreu o recorte da bacia hidrográfica do Rio Formoso e, conseqüentemente a elaboração do mapa base, utilizando dados vetoriais em formato *shapefile* da rede de drenagem, disponibilizados pelo FBDS (2021), além dos *shapefiles* de sensores censitários para identificação da área urbana de Bonito, fornecido pelo IBGE (2010) e também os vetores das rodovias, mapeadas pelo DNIT (2015).

Composição do banco de dados: a organização do banco de dados foi feita a partir de uma vasta pesquisa por informações geoespaciais de interesse para o trabalho. Essas informações foram obtidas nos *websites* das seguintes instituições: ANA, IBGE, INPE, INMET, DNIT, FBDS, CPRM, MapBiomas e Exército Brasileiro. Esse banco de dados se constituiu de informações nos formatos vetor, matricial e tabelas (*xls, csv e txt*).

Uso do QGIS 3.10: para a elaboração dos mapas da área de estudo foi utilizado o QGIS 3.10, um software livre que se classifica enquanto um Sistema de Informações Geográficas Livre e de Código Aberto, muito útil em trabalhos ambientais.

Definição das Unidades Territoriais Básicas (UTB): as UTB mencionadas nesse trabalho fazem referência aos mapas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Intensidade Pluviométrica.

Vulnerabilidade para as UTB: Posterior à elaboração dos mapas básicos de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Intensidade Pluviométrica, foram atribuídos pesos de vulnerabilidade para cada uma das Unidades Territoriais Básicas, conforme a metodologia de Crepani *et al.* (2001), que estabelece valores de vulnerabilidade de 1 a 3, no total de 21 valores e atribui cores que deverão ser utilizadas nos mapas resultantes, de acordo com o grau de vulnerabilidade (Figura 5).

Figura 5 – Escala de Vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas

| UNIDADE DE PAISAGEM | MÉDIA | | GRAU DE VULNERAB. | GRAU DE SATURAÇÃO | | | CORES | | |
|---------------------|-------|-----|-------------------------------|-------------------|-------|------|---|-----|-----|
| | | | | VERM. | VERDE | AZUL | | | |
| 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 | MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL | 153 | 255 | 0 |  | | |
| U9 | | R | | 2,2 | A | 102 | | 255 | 0 |
| U10 | A | 2,1 | MODERADAM. ESTÁVEL | 51 | 255 | 0 |  | | |
| U11 | | B | | 2,0 | I | 0 | | 255 | 0 |
| U12 | | I | | 1,9 | L | 0 | | 255 | 51 |
| U13 | L | 1,8 | MODERADAM. ESTÁVEL | 0 | 255 | 102 |  | | |
| U14 | | I | | 1,7 | D | 0 | | 255 | 153 |
| U15 | D | 1,6 | ESTÁVEL | 0 | 255 | 204 |  | | |
| U16 | | A | | 1,5 | D | 0 | | 255 | 255 |
| U17 | | D | | 1,4 | E | 0 | | 204 | 255 |
| U18 | E | 1,3 | ESTÁVEL | 0 | 153 | 255 |  | | |
| U19 | | 1,2 | | 0 | 102 | 255 | | | |
| U20 | | 1,1 | | 0 | 51 | 255 | | | |
| U21 | | 1,0 | | 0 | 0 | 255 | | | |

Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

Para estabelecer os graus de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas, Crepani *et al.* (2001) se apoiou no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), que estabelece diferentes categorias morfodinâmicas, resultantes dos processos de morfogênese e pedogênese, conforme o quadro abaixo (Quadro 1):

Quadro 1 – Categorias morfodinâmicas estabelecidas por Tricart (1977)

| | |
|--------------------------------------|---|
| CATEGORIAS MORFODINÂMICAS | <p>Meios Estáveis:</p> <ul style="list-style-type: none">- Vegetação densa;- Dissecação moderada;- Ausência de fenômenos vulcânicos. <p>Meios Intergrades:</p> <ul style="list-style-type: none">- Equilíbrio entre morfogênese e pedogênese. <p>Meios Vulneráveis:</p> <ul style="list-style-type: none">- Condições bioclimáticas agressivas, como a ocorrência de ventos e chuvas fortes e irregulares;- Grave dissecação do relevo;- Solos rasos;- Falta de vegetação densa;- Suscetibilidade à inundação nas planícies e fundos de vales;- Intensa Geodinâmica interna. |
|--------------------------------------|---|

Fonte: CREPANI *et al.* (2001, *apud* TRICART, 1977).

Portanto, as unidades de paisagem com valores na escala de vulnerabilidade mais próximos a 1, são mais estáveis, prevalecendo os processos formadores do solo (pedogênese). As paisagens com vulnerabilidade mais próxima a 3 são áreas vulneráveis, onde prevalecem os processos modificadores do relevo (morfogênese). Já nas áreas que apresentam valores intermediários na escala de vulnerabilidade, ocorre o equilíbrio entre morfogênese e pedogênese.

A metodologia de Crepani *et al.* (2001), utilizada nesse trabalho, possibilita a geração da carta de vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso, que subsidia bases para o zoneamento ambiental da bacia, pensando o uso desse material em etapas de planejamento e gestão ambiental.

O tipo de pesquisa empregado foi a Pesquisa Bibliográfica e o Estudo de Caso. Bibliográfica por necessitar de um embasamento teórico sobre as facetas do diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solos, bacia hidrográfica, Zoneamento Ecológico-Econômico e assuntos afins e Estudo de Caso, à medida que foi necessário o levantamento de uma vasta gama de dados geoespaciais da área de estudo, sendo posteriormente utilizados em seu mapeamento, utilizando técnicas cartográficas e de geoprocessamento para espacializar essas informações em quadros, tabelas e mapas. Os materiais utilizados na pesquisa foram: QGIS

3.10, GPS, cartas topográficas (folhas SF.21-X-C-I e SF.21-X-C-II) e Modelo Digital de Elevação.

Por entender a bacia hidrográfica enquanto uma unidade sistêmica, com multirelações físico-sociais, o método utilizado neste trabalho foi o Sistêmico, desenvolvido por Bertalanffy, que destaca a necessidade de “[...] estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes [...]” (BERTALANFFY, 1973, p. 53). Assim, o presente trabalho buscou analisar as partes de forma inter-relacionadas para assim, compreender o todo.

As etapas metodológicas para elaboração dos mapas utilizados no trabalho estão descritas, mais detalhadamente abaixo:

- Mapa base da bacia hidrográfica do Rio Formoso: o mapa base foi construído a partir de informações em formato vetorial da rede drenagem, obtidas no *website* da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), e das rodovias, disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e dos setores censitários, no portal do IBGE, que foi usado para localizar da área urbana do município de Bonito. Além disso, a base cartográfica com a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Formoso, foi obtida no portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Inicialmente, utilizando o QGIS 3.10, foi inserido o *shapefile* com a delimitação da bacia, da rede de drenagem e das rodovias. A rede de drenagem e as rodovias estavam sendo representadas em uma escala nacional, fazendo com que houvesse a necessidade de proceder um recorte para a área de estudo.

- Metodologia para elaboração do Mapa Geológico: o mapa de geologia da área de estudo foi construído usando dados vetoriais em formato *shapefile* do portal do CPRM (2006), além de dados vetoriais da rede drenagem da área de estudo, disponibilizadas no portal da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e do vetor das rodovias, adquirido no portal do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Em um primeiro momento, foi inserida a informação vetorial da geologia, da rede de drenagem e das rodovias, fazendo o recorte para a área de estudo, logo em seguida. As classes do mapa foram trabalhadas a partir das unidades geológicas, com uma simbologia para cada classe, segundo os fundamentos da cartografia temática. Posteriormente, foi realizado o mapeamento da vulnerabilidade para a geologia, onde foram atribuídos os pesos de

vulnerabilidade (de 1 a 3) e definição das cores para as classes, conforme a metodologia de Crepani *et al.* (2001).

- Metodologia para elaboração do Mapa de Solos: o mapa pedológico da bacia hidrográfica do Rio Formoso foi elaborado a partir dos dados disponibilizados pelo Banco de Informações Ambientais – BDiA/IBGE, com informações referentes ao ano de 2021.

Para a composição do mapa, foi utilizado o software QGIS 3.10, onde inicialmente foi inserido o *shapefile* com a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Formoso, da rede de drenagem da bacia e de seu canal principal. Em seguida foi inserido no software os *shapefiles* com as informações de solos do BDiA/IBGE (2021) e das rodovias, do DNIT (2015). Logo em seguida, foi feito o recorte para a área de estudo e definiu-se as classes do mapa, manipulando suas cores de acordo com o padrão pré-estabelecido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2018).

Feito isso, foi realizado um novo mapeamento utilizando o mesmo banco de dados, agora definindo os valores de vulnerabilidade para o tema Solos, atribuindo os pesos de vulnerabilidade e grau de saturação do padrão de cores RGB, de acordo com a metodologia de Crepani *et al.* (2001).

- Metodologia para elaboração do Mapa de Vegetação: para o mapa de vegetação, foi utilizado o arquivo vetorial *shapefile* contendo as classes de vegetação da área de estudo, obtido na plataforma do BDiA/IBGE, com informações do ano de 2021. Também foi realizada a sobreposição com informações das rodovias e rede de drenagem, conforme realizado nos mapas anteriores.

Primeiramente, no QGIS 3.10, foi inserido os vetores do limite da bacia hidrográfica do Rio Formoso, sua rede de drenagem e canal principal, além dos arquivos vetoriais da vegetação e rodovias. Foi procedido o recorte para a área de estudo e trabalhada a simbologia das classes segundo a cartografia temática.

O mapeamento da vulnerabilidade para os solos foi feito logo em seguida, atribuindo os pesos de vulnerabilidade e trabalhando as cores do mapa, segundo Crepani *et al.* (2001).

- Metodologia para elaboração do Mapa Pluviométrico:

O mapa pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Formoso foi elaborado a partir da interpolação das informações de precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Formoso. Para interpolação dos dados, foi utilizada uma planilha em formato *csv*, do INMET (2010) com informações das normais climatológicas de precipitação acumulada (mm) com

recorte temporal dos anos de 1981 a 2010. As etapas para elaboração do mapa estão listadas abaixo:

- ✓ Inicialmente foi preciso realizar o download das normais climatológicas das estações meteorológicas brasileiras, com os dados de precipitação acumulada, obtidos no site do INMET. Essas informações estavam em formato de planilha do Excel (*csv*).
- ✓ Em seguida, foi preciso fazer uma adaptação da planilha, criando, a partir da planilha original uma outra, na qual estavam apenas as informações referentes às estações meteorológicas do estado de Mato Grosso do Sul.
- ✓ Depois de fazer a adaptação da planilha, ela foi trabalhada no QGIS 3.10 para a elaboração do mapa pluviométrico.
- ✓ Logo após, foi inserido no programa, a planilha em formato Excel (*csv*) com informações das normais climatológicas, com dados de Precipitação Acumulada (mm) referentes às estações meteorológicas do estado de Mato Grosso do Sul, dos anos de 1981 a 2010, a partir da ferramenta Adicionar uma Camada de Texto Delimitado do QGIS (3.10). Esse procedimento foi feito para gerar pontos baseados nas coordenadas X e Y das estações, para posterior interpolação a partir do método IDW (Interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância);
- ✓ O método *IDW* foi o que gerou melhores resultados, já que não foram encontradas estações meteorológicas na área de estudo. Esse método permite estimar valores para áreas próximas, baseando-se em valores de pontos, que são utilizados como amostras.
- ✓ Durante a interpolação com o método *IDW*, adicionou-se a camada vetorial com os pontos das estações; o atributo de interpolação foram as médias de precipitação anuais. O tamanho do pixel X e Y para gerar a interpolação foi de 0,001000 m, e a extensão da interpolação foi desenhada na tela, em uma área que correspondia à todas as estações meteorológicas de Mato Grosso do Sul, a fim de extrapolar a área de estudo e gerar valores mais satisfatórios. Durante a configuração das cores do mapa, optou-se pela paleta de cores Azul (Blues) do QGIS, fato atrelado à cartografia temática. O tipo de renderização utilizado foi a Banda Simples Falsa-Cor e o método de interpolação foi o Linear. Foram atribuídas três classes para a representação dos índices pluviométricos da bacia hidrográfica.
- ✓ Em seguida, foi procedido o mapeamento da vulnerabilidade para o tema clima, no qual resultou em apenas uma classe de vulnerabilidade, conforme a metodologia de Crepani *et al.* (2001).

- Metodologia para elaboração do Mapa de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia:

A geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Formoso foi estabelecida de acordo com a metodologia de Crepani *et al.* (2001), que realiza a análise de três parâmetros morfométricos do terreno, os quais: Amplitude Interfluvial, Amplitude Altimétrica e Declividade. Assim, foram considerados os índices de vulnerabilidade para cada um dos parâmetros anteriormente mencionados, realizando a sobreposição dessas informações e obtendo a média (Geomorfologia = Vulnerabilidade para a Amplitude Interfluvial + Vulnerabilidade para a Amplitude Altimétrica + Vulnerabilidade para a Declividade / 3).

A construção do mapa de Vulnerabilidade/Estabilidade para a Geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Formoso, se deu a partir de algumas etapas:

- ✓ Download do Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir das cenas SRTM (20S57_ZN e 21S57_ZN), que foram adquiridos no *website* do Projeto Topodata/INPE.
- ✓ Tratamento do MDE no *software* QGIS 3.10, realizando o mosaico das cenas SRTM e definição da projeção cartográfica para coordenadas planas UTM Sirgas 2000, zona 21 K. A escolha pelo DATUM Sirgas 2000 se deu porque é o Sistema Geodésico de Referência padrão do Brasil.
- ✓ Após o tratamento do MDE, a primeira ferramenta utilizada foi *r.fill.dir*, que definiu o MDE sem depressão.
- ✓ Em seguida, com a ferramenta Calculadora Raster foi feita a inversão do MDE, trazendo as partes mais elevadas para o topo. Esse processo é feito multiplicando o MDE sem depressão por -1.
- ✓ Logo após, novamente foi utilizada a ferramenta *r.fill.dir*, agora com o objetivo de gerar a direção de fluxo a partir do MDE invertido. A direção de fluxo, ao ser gerada, apresentou algumas áreas sem dados, sendo necessário utilizar a ferramenta Preencher sem Dados do *software*, para corrigir o problema.
- ✓ A próxima etapa foi a definição das meias bacias hidrográficas, com o auxílio da ferramenta *r.watershed*, com o valor de tamanho mínimo do exterior da bacia hidrográfica igual a 300. Em seguida, foi preciso converter as meias bacias, originalmente geradas como dados matriciais, para o formato vetorial.

- ✓ Na sequência, se dá a atribuição dos dados de altimetria do MDE sem depressão ao arquivo vetorizado das meias bacias hidrográficas, fazendo, portanto, a junção dessas informações à tabela de atributos do dado vetorizado
- ✓ Cálculo do perímetro e da área em m² das meias bacias hidrográficas, a partir da ferramenta Calculadora de Campo, no QGIS 3.10.
- ✓ Cálculo do Perímetro das meias bacias hidrográficas, também utilizando a ferramenta Calculadora de Campo.
- ✓ Cálculo do comprimento da bacia utilizando a regra: perímetro/2.
- ✓ Cálculo da largura média da bacia com a regra: área/comprimento da Bacia.
- ✓ Definição da Amplitude Interfluvial (Dissecação Horizontal) e Amplitude Altimétrica (Dissecação Vertical) segundo as regras pré-estabelecidas por Crepani *et al.* (2001), assim como nas Figuras 6 e 7. Em seguida, é feita a rasterização dessas informações (conversão de vetor para raster).

Figura 6 – Amplitude Interfluvial

| AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | VULNER./ ESTABILIDADE | AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | VULNER./ ESTABILIDADE | AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | VULNER./ ESTABILIDADE |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| >5000 | 1,0 | 3250 - 3500 | 1,7 | 1500 - 1750 | 2,4 |
| 4750 - 5000 | 1,1 | 3000 - 3250 | 1,8 | 1250 - 1500 | 2,5 |
| 4500 - 4750 | 1,2 | 2750 - 3000 | 1,9 | 1000 - 1250 | 2,6 |
| 4250 - 4500 | 1,3 | 2500 - 2750 | 2,0 | 750 - 1000 | 2,7 |
| 4000 - 4250 | 1,4 | 2250 - 2500 | 2,1 | 500 - 750 | 2,8 |
| 3750 - 4000 | 1,5 | 2000 - 2250 | 2,2 | 250 - 500 | 2,9 |
| 3500 - 3750 | 1,6 | 1750 - 2000 | 2,3 | <250 | 3,0 |

Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

Figura 7 – Amplitude Altimétrica

| AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | VULNER./ ESTABILIDADE | AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | VULNER./ ESTABILIDADE | AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | VULNER./ ESTABILIDADE |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| <20 | 1,0 | 77 - 84,5 | 1,7 | 141,5 - 151 | 2,4 |
| 20 - 29,5 | 1,1 | 84,5 - 94 | 1,8 | 151 - 160,5 | 2,5 |
| 29,5 - 39 | 1,2 | 94 - 103,5 | 1,9 | 160,5 - 170 | 2,6 |
| 39 - 48,5 | 1,3 | 103,5 - 113 | 2,0 | 170 - 179,5 | 2,7 |
| 48,5 - 58 | 1,4 | 113 - 122,5 | 2,1 | 179,5 - 189 | 2,8 |
| 58 - 67,5 | 1,5 | 122,5 - 132 | 2,2 | 189 - 200 | 2,9 |
| 67,5 - 77 | 1,6 | 132 - 141,5 | 2,3 | >200 | 3,0 |

Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

- ✓ Geração da declividade expressa em porcentagem, a partir do MDE da área de estudo. Após gerar a declividade, ela precisou ser reclassificada de acordo com as classes de declividade estabelecidas por Crepani *et al.* (2001), descritas na tabela abaixo (Tabela 1):

Tabela 1 – Classes de declividade e seus respectivos valores 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).

- ✓ Aos mapas necessários para gerar a Geomorfologia (vulnerabilidade para a amplitude interfluvial, vulnerabilidade para a amplitude altimétrica e vulnerabilidade para a declividade), foram atribuídos pesos de vulnerabilidade de 1 a 3, trabalhando sua simbologia de acordo com a escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas, estabelecida por Crepani *et al.* (2001).
- ✓ Para definir o Índice de Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, foi necessária a sobreposição dos dados de vulnerabilidade dos mapas anteriormente elaborados, utilizando a ferramenta Calculadora Raster do QGIS 3.10, conforme a equação estabelecida por Crepani *et al.* (2001):

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

G = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Interfluvial.

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

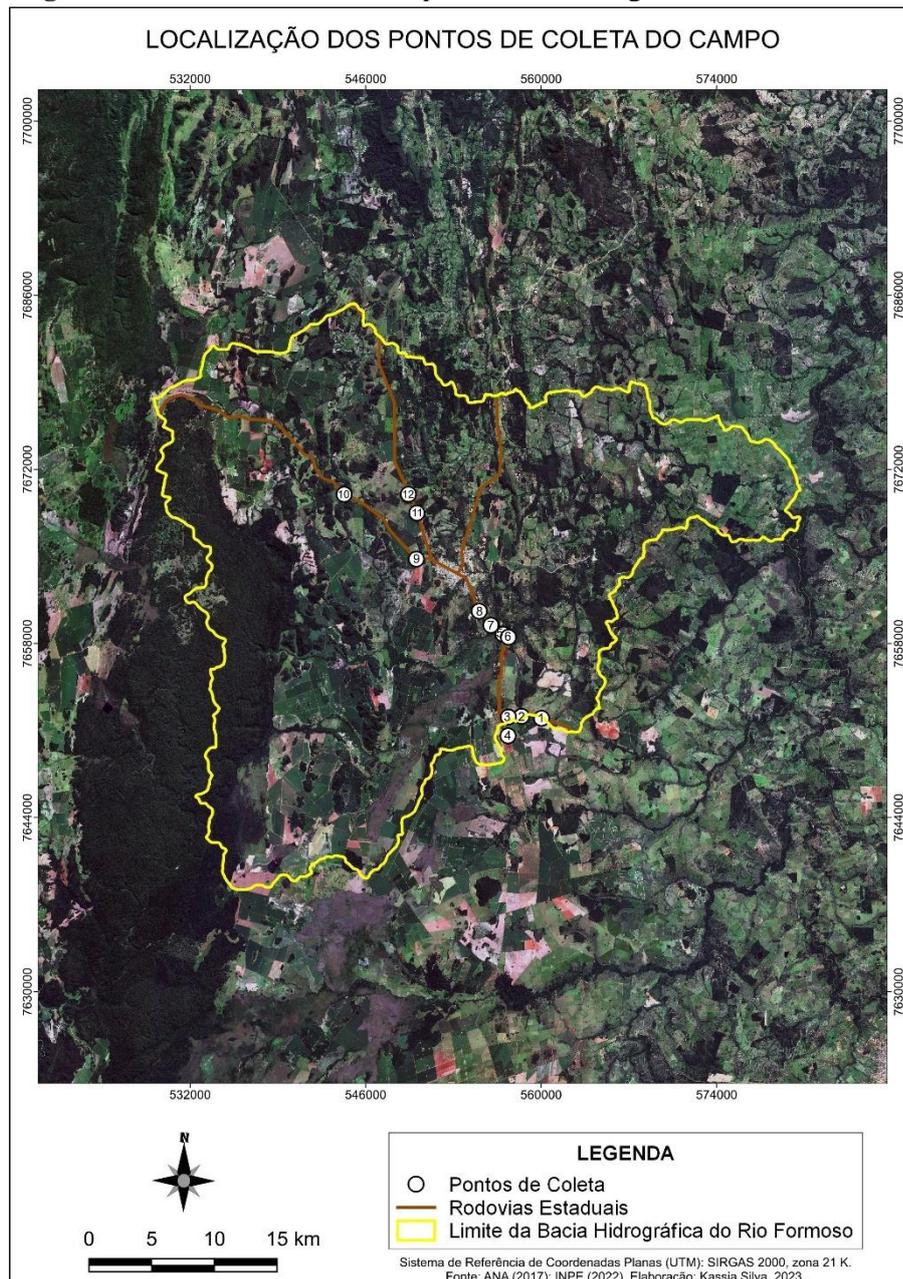
- Metodologia para elaboração do Mapa de Vulnerabilidade/Estabilidade:

Para a análise da vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso foi realizada a sobreposição, no QGIS 3.10, dos mapas anteriormente elaborados:

Geologia, Solos, Vegetação, Clima e Geomorfologia. Em seguida foi realizado o mapeamento da vulnerabilidade para cada uma dessas UTB, atribuindo pesos de vulnerabilidade de 1 a 3, num total de 21 valores, conforme a metodologia de Crepani *et al.* (2001). Esse procedimento possibilitou a elaboração da carta de vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso.

Outra etapa importante para o desenvolvimento desse trabalho foi a ida a campo, que ocorreu no dia 23 de fevereiro de 2023. A pesquisa de campo se deu em sentido linear ao longo das rodovias MS-382, MS-178 e MS-345, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Pontos de coleta a campo na bacia hidrográfica do Rio Formoso



Conforme o quadro abaixo (Quadro 2), a pesquisa a campo se deu em diferentes pontos da bacia hidrográfica, com diferentes paisagens.

Quadro 2 – Pontos de coleta da pesquisa de campo na bacia hidrográfica do Rio Formoso

| Ponto | Localização | Descrição |
|--------------|------------------------------|--|
| 1 | S 21°13'56.3", O 56°25'15.2" | Lar Cooperativa Agroindústria (Geologia moderadamente vulnerável da formação Aquidauana; Geomorfologia medianamente estável e moderadamente vulnerável; presença de latossolo vermelho; vegetação predominantemente composta por pastagem, com plantação de soja). |
| 2 | S 21°13'51.3", O 56°26'10.4" | Presença de Banhados. |
| 3 | S 21°13'53.1", O 56°26'46.8" | Plantação de feijão. |
| 4 | S 21°14'42.4", O 56°26'47.8" | Formação Geológica com presença de Filito. |
| 5 | S 21°10'16.8", O 56°27'02.5" | Rio Formosinho; Formação Xaraiés com presença de tufa calcária. |
| 6 | S 21°10'24.4", O 56°26'47.5" | Balneário municipal de Bonito. |
| 7 | S 21°09'53.4", O 56°27'36.1" | Formação Geológica com presença de Filito. |
| 8 | S 21°09'16.7", O 56°28'08.6" | Afloramento Rochoso. |
| 9 | S 21°07'00.9", O 56°31'02.9" | Formação Bocaina; relevo residual com serras em meio às áreas planas; geomorfologia moderadamente vulnerável. |
| 10 | S 21°04'12.3", O 56°34'23.2" | Relevo residual da Serra da Bodoquena; Grupo Cuiabá com presença de quartzito; Vegetação do tipo Savana Florestada. |
| 11 | S 21°05'00.4", O 56°31'01.8" | Pastagem para a Pecuária; Formação Tamengo com presença de Folhelho; Geomorfologia moderadamente vulnerável. |
| 12 | S 21°04'11.5", O 56°31'25.4" | Formação Geológica com presença de Folhelho. |

Fonte: AUTORA (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formoso, através da metodologia do diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solos desenvolvida por Crepani *et al.* (2001), permitiu, através da análise sistêmica, que fossem gerados alguns produtos cartográficos que facilitaram um melhor entendimento da bacia hidrográfica, a entendendo como uma unidade de paisagem complexa.

A pesquisa resultou no mapeamento da fragilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso. Foram gerados produtos cartográficos referentes à geologia, vegetação, solos, clima e geomorfologia, que foram sobrepostos para gerar a carta final de vulnerabilidade, que possibilitou entender as potencialidades e fragilidades da região.

4.1 Geologia

A partir do mapeamento geológico da bacia hidrográfica do Rio Formoso, fundamentado em dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), foi constatada a presença de nove unidades geológicas, sendo elas: Formação Aquidauana, Formação Bocaina, Formação Cerradinho, Grupo Cuiabá, Depósitos Aluvionares, Formação Puga, Unidade Metavulcano-Sedimentar Rio Bacuri, Formação Tamengo e Formação Xaraiés (Figura 9). Dessas, as de maior expressão territorial na bacia são o Grupo Cuiabá (36,33%), a Formação Bocaina (28,19%) e a Formação Cerradinho (19,21%). Já outras unidades são menos expressivas na região, ocupando pequenas faixas de extensão, como os Depósitos Aluvionares (0,25%), a Unidade Metavulcano-Sedimentar Rio Bacuri (0,35%) e a Formação Puga (2,42%), conforme a tabela abaixo (Tabela 2):

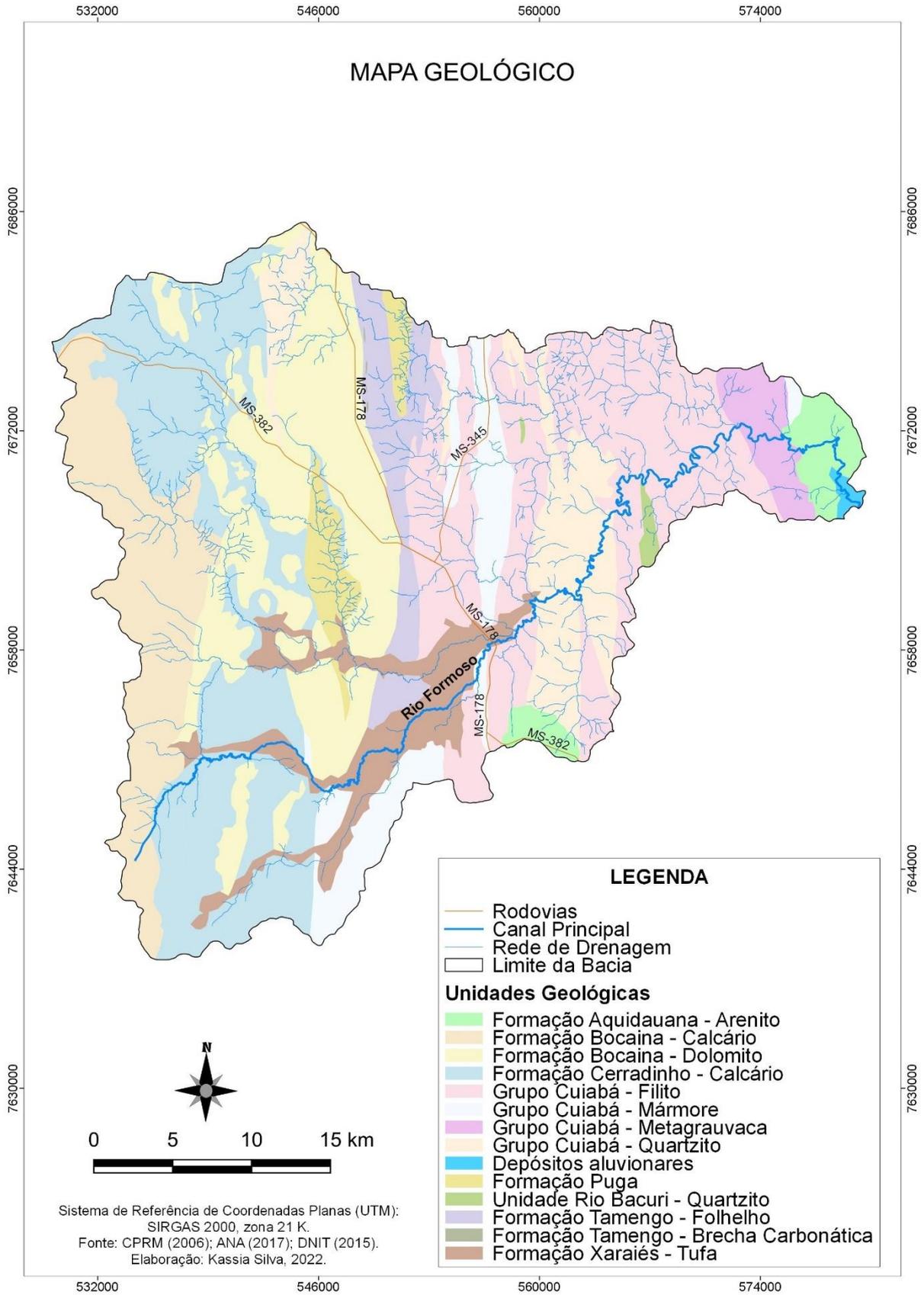
Tabela 2 – Unidades Geológicas na área de estudo

| Unidades Geológicas | Rochas | Área (km²) | Área (%) | Vulnerabilidade |
|----------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|
| Formação Aquidauana | Arenito | 33,173 | 2,52 | 2,4 |
| Formação Bocaina | Calcário Oolítico | 371,125 | 28,19 | 2,9 |
| | Dolomito Silicoso | | | |
| Formação Cerradinho | Calcário | 252,951 | 19,21 | 2,9 |
| Grupo Cuiabá | Filito | 477,467 | 36,33 | 2,1 |
| | Mármore | | | 2,3 |
| | Quartzito | | | 1,0 |
| Depósitos Aluvionares | - | 3,341 | 0,25 | 3,0 |

| | | | | |
|--|-----------------------------|--------|------|-----|
| Formação Puga | Arenito | 31,863 | 2,42 | 2,4 |
| Unidade Metavulcano - Sedimentar Rio Bacuri | Quartzito | 4,676 | 0,35 | 1,0 |
| Formação Tamengo | Folhelho | 58,786 | 4,46 | 2,8 |
| | Brecha Carbonática | | | 2,5 |
| Formação Xaraiés | Tufa | 82,618 | 6,27 | 2,9 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | | | |

Fonte: CPRM (2006). Organização: AUTORA (2023).

Figura 9 – Mapa Geológico



O arcabouço geológico do estado de Mato Grosso do Sul é constituído por três unidades geotectônicas, as quais: Plataforma (Craton) Amazônica, Cinturão Metamórfico Paraguai-Araguaia e Bacia Sedimentar do Paraná, sobre as quais se fazem presentes dois conjuntos estruturais bem definidos, onde o primeiro refere-se às estruturas localizadas em terrenos de origem do período pré-cambriano, e o segundo em terrenos fanerozóicos (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

O Grupo Cuiabá constitui a sedimentação mais antiga do Geossínclino Paraguai, possui Metamorfização na fácies xisto verde, exibindo padrão de dobramento caindo sentido NO, numa sucessão de anticlinais e sinclinais, que ocasionalmente se apresenta de maneira inversa e fechada (MATO GROSSO DO SUL, 1990). As rochas que constitui o Grupo Cuiabá são os metassiltitos, filitos, muscovita-quartzo xistos, clorita-muscovita-quartzo xistos, biotita-calco-clorita-plagioclásio-muscovita-quartzo xistos, mármore, calcários, dolomitos, metaparaconglomerados, metagrauvacas e milonitos (BRASIL, 1982).

Na bacia hidrográfica do Rio Formoso, as rochas predominantes do grupo Cuiabá são os filitos, os mármore e os quartzitos, com respectivamente 294,481 km² (22,44%), 76,525 km² (5,81%) e 106,461 km² (8,08%).

Outra formação bastante expressiva na área de estudo é a Formação Bocaina, que segundo BRASIL (1982), possui ambiente de plataforma marinha com litologia formada por mármore dolomítico, dolomito estromatolítico colunar a pseudo colunar, rochas fosfáticas, brecha carbonática, dolomito laminado e estratificado e *psoid rudstone*, dolomito maciço silicoso com níveis de silexito, calcário calcítico, dolomítico, intraclástico e oolítico.

Na área de estudo, a Formação Bocaina ocupa a segunda maior porção da bacia, presente em 371,125 km² (28,19%) de seu território. As rochas que se destacam são o calcário oolítico (144,560 km²) e o dolomito silicoso (226,565 km²).

Já a Formação Cerradinho é de ambiente de planície de maré litorânea com retrabalhamento distante dos leques aluviais; sua litologia é constituída de paraconglomerado, arcósio, arenito arcosiano, arenito com lâminas de argilite, folhelho com intercalações onde se destacam os calcários calcítico e dolomítico (BRASIL, 2006).

A formação Cerradinho é o terceiro maior grupo geológico dentro da bacia hidrográfica do Formoso, com uma área de 252,951 km², ou seja, 19,21% da bacia. Predominam as rochas Calcário Calcítico (55,209 km²) e Calcário Dolomítico (197,742 km²).

Os Depósitos Aluvionares possuem ambiente continental fluvial e são constituídos de areia, areia quartzosa, cascalho, silte, argila e localmente turfa (BRASIL, 2006). No Rio

Formoso, esses depósitos são constituídos de depósitos de areia e de cascalho. É a unidade menos expressiva, abrangendo apenas 3,341 km² (0,25%) da bacia.

A Formação Aquidauana possui em sua litologia a presença de arenitos com granulometria que varia de fina a grosseira, cores vermelho-tijolo, esbranquiçada e cinza arroxeadas; concomitante aos arenitos, há também a presença de conglomerados, assim como intercalações de siltito, argilito avermelhado e subordinadamente, lentes de diamictito (MATO GROSSO DO SUL, 1990). Compreende 33,173 km² da bacia hidrográfica do Formoso, onde predominam os arenitos.

A Formação Xaraiés dispõe de tufa calcária, travertino e conglomerado com cimento calcífero (BRASIL, 2006). Está distribuída em 82,618 km² (6,27 %) da bacia, constituída por tufas calcárias. Ademais, tem-se também a Formação Tamengo, a Formação Puga e a Unidade Rio Bacuri, que ocupam respectivamente 58,786 km², 31,863 km² e 4,676 km².

4.1.2 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geologia

A bacia hidrográfica apresentou quatro classes de vulnerabilidade para a geologia, (Tabela 3), sendo elas: Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Moderadamente Vulnerável e Vulnerável (Figura 10). A classe Moderadamente Estável não foi encontrada na área de estudo.

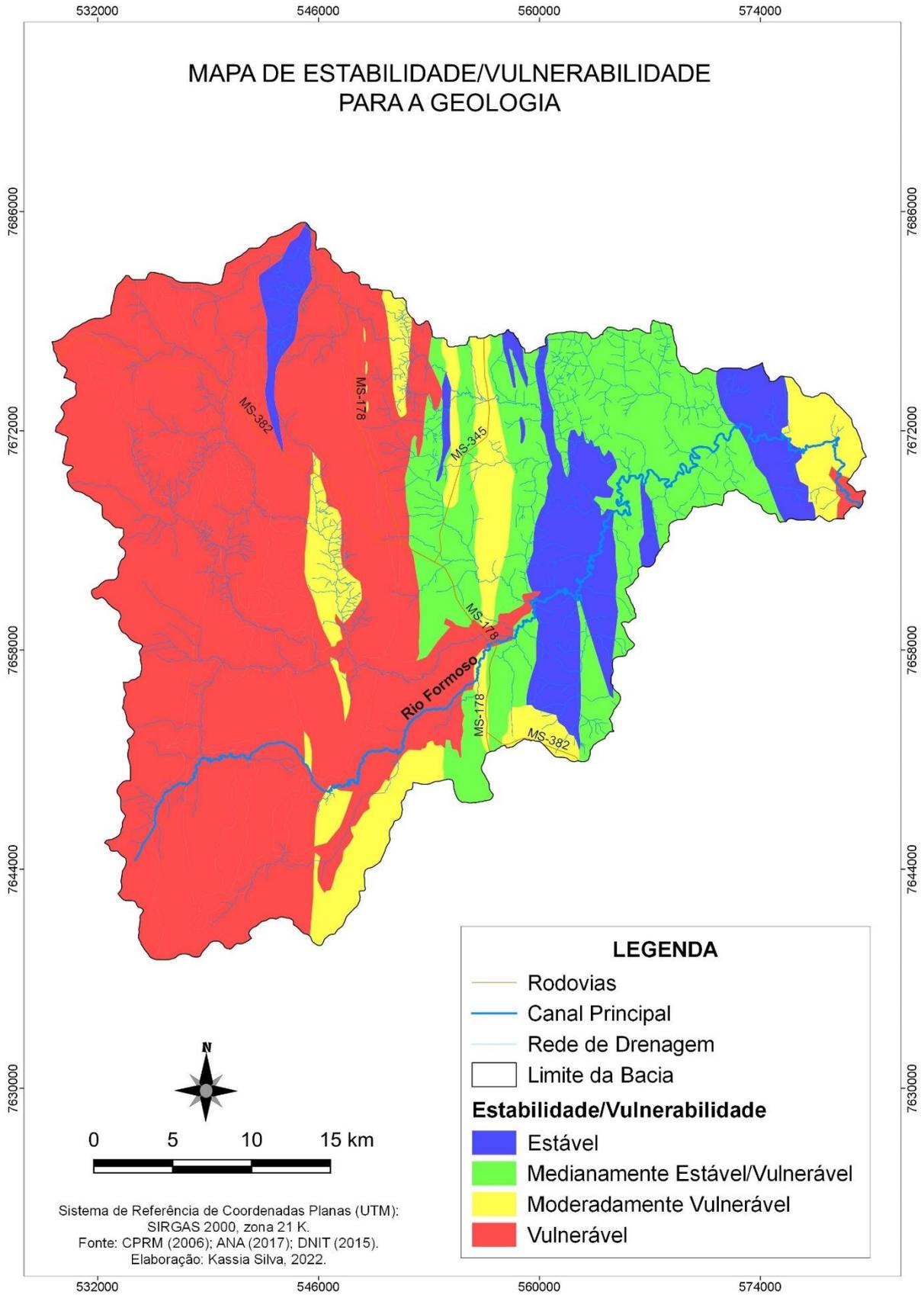
Crepani *et al.* (2001) relaciona a vulnerabilidade para a geologia ao grau de coesão das rochas. A relação morfogêse/pedogêse aqui, está estritamente relacionada ao grau de coesão da rocha, onde nas rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos que atuam modificando o relevo (morfogêse), enquanto nas rochas muito coesas podem prevalecer os processos intempéricos e formação do solo (pedogêse). O autor entende por grau de coesão da rocha a intensidade da ligação entre os minerais ou suas partículas (CREPANI *et al.*, 2001).

Tabela 3 – Vulnerabilidade para a Geologia

| Grau de Vulnerabilidade | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Estável | 111,137 | 8,43 |
| Moderadamente Estável | - | - |
| Medianamente Estável/Vulnerável | 294,481 | 22,44 |
| Moderadamente Vulnerável | 142,679 | 10,83 |
| Vulnerável | 767,703 | 58,30 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | |

Fonte: CPRM (2006). Organização: AUTORA (2023).

Figura 10 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geologia



A bacia hidrográfica do Rio Formoso possui mais de 58% de suas áreas vulneráveis, o que equivale a 767,703 km² da bacia. Isso se dá principalmente pela presença expressiva de calcário e dolomito na região, que são rochas com baixo grau de coesão e, conseqüentemente, mais vulneráveis.

A classe medianamente estável/vulnerável é a segunda mais significativa, sendo encontrada em 22,44% (294,481 km²) da área de estudo. Essa classe foi encontrada integralmente no Grupo Cuiabá, unidade geológica que possui o filito como rocha predominante, indicando que essa rocha possui grau de coesão intermediário.

O filito é uma rocha metamórfica com baixo grau de metamorfismo, que segundo Guerra e Guerra (2018), são rochas argilosas, metamórficas, de estrutura cristalina, intermediárias entre os argilitos e micaxitos, que podem apresentar cores avermelhada, acizentada, esverdeada, amarelada ou azulada. Na área de estudo foi encontrada abundância dessa formação rochosa, que pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 - Presença de filito na área de estudo



Fonte: AUTORA (2023).

A classe moderadamente vulnerável está presente em 142,679 km² (10,83%) da bacia, enquanto as áreas estáveis foram as menos expressivas, sendo encontradas em apenas 8,43% (11,137 km²) da bacia, que corresponde às unidades geológicas Rio Bacuri e Grupo Cuiabá, ambas apresentam quartzitos em sua litologia.

Portanto, em relação à vulnerabilidade para geologia, a bacia hidrográfica do Rio Formoso possui um percentual de estabilidade muito baixo, haja vista que o mapeamento geológico realizado aponta para graus de vulnerabilidade predominantemente intermediários e

vulneráveis, com destaque maior para as áreas vulneráveis, o que indica que a bacia possui rochas menos coesas, tornando a região mais frágil e suscetível aos processos modificadores das formas do relevo, predominando, portanto, a morfogênese.

4.2 Solos

Foram encontradas sete classes de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso, as quais: Chernossolo Argilúvico, Chernossolo Rêndzico, Gleissolo Melânico, Latossolo Vermelho, Neossolo Regolítico, Nitossolo Vermelho e Plintossolo Argilúvico (Tabela 4).

Na área de estudo, predomina o Nitossolo Vermelho, presente em 505,580 km² (38,44%) da bacia. Sua localização está a noroeste e sudoeste da bacia. Os Nitossolos são solos com horizonte B nítico abaixo do horizonte A, com intensa evolução pedogenética, em decorrência da atuação de ferralitização com elevado grau de hidrólise, que gera, por conseguinte, composições caulínico-oxídica, virtualmente caulínica, ou com presença de argilominerais; além disso, sua estrutura dar-se-á em blocos subangulares, angulares ou prismáticas, variando entre os graus de moderado a forte (EMBRAPA, 2018). O Nitossolo Vermelho tem, em suas propriedades, superfícies brilhantes em unidades estruturais, além de serem mais avermelhados em grande parte dos primeiros 100 cm de seu horizonte B (IBGE, 2021).

Tabela 4 – Classes de Solos da área de estudo

| Classes de Solos | Área (km²) | Área (%) | Vulnerabilidade |
|----------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|
| Chernossolo Argilúvico | 31,898 | 2,42 | 2,0 |
| Chernossolo Rêndzico | 347,440 | 26,40 | 2,0 |
| Gleissolo Melânico | 58,117 | 4,41 | 3,0 |
| Latossolo Vermelho | 272,438 | 20,70 | 1,0 |
| Neossolo Regolítico | 98,644 | 7,49 | 3,0 |
| Nitossolo Vermelho | 505,580 | 38,44 | 2,0 |
| Plintossolo Argilúvico | 1,883 | 0,14 | 3,0 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | | |

Fonte: IBGE (2021). Organização: AUTORA (2022).

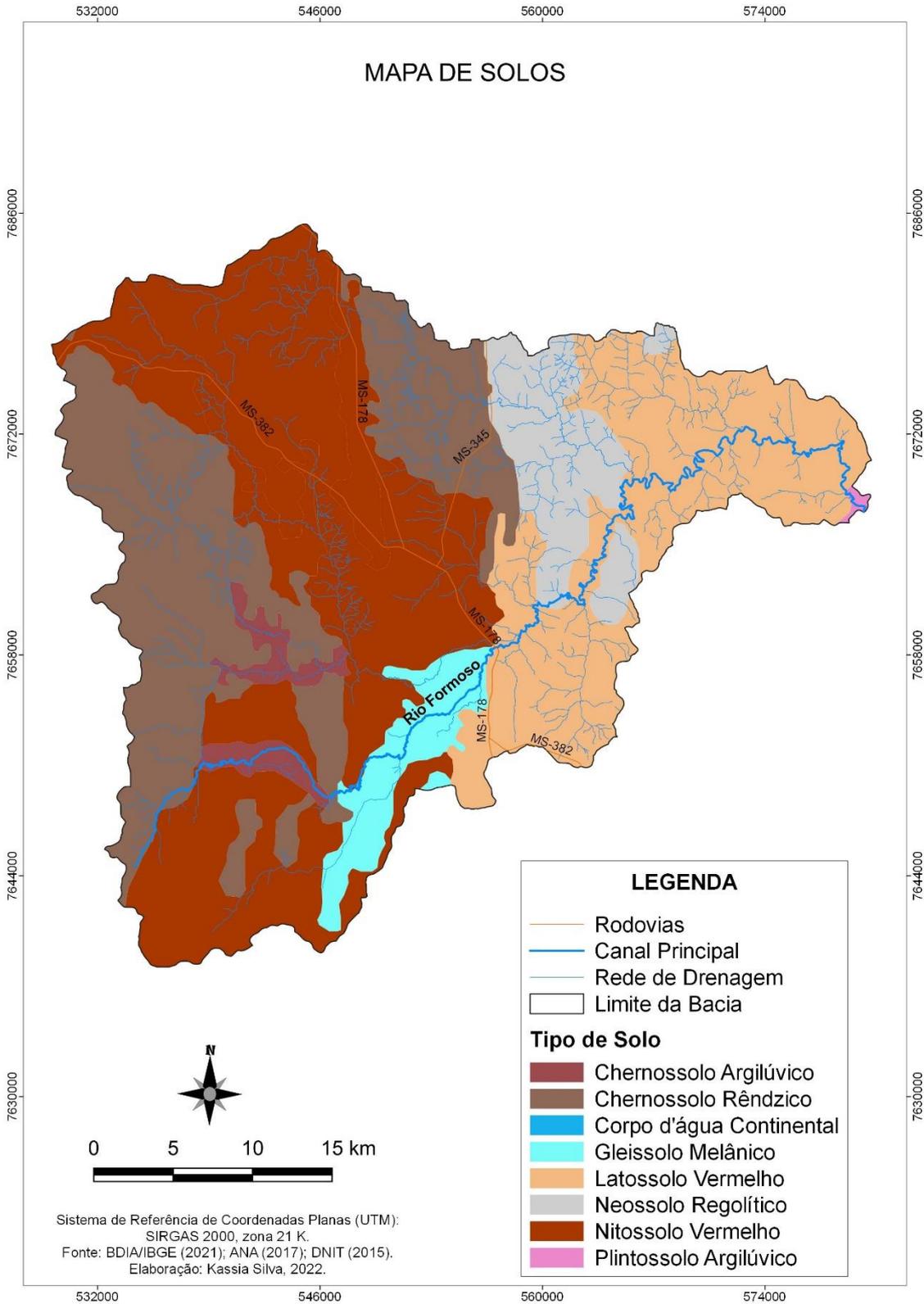
O Chernossolo Rêndzico, segundo tipo de solo mais expressivo na bacia, ocupa uma área de 347,440 km² (26,40%) e pode ser encontrado à oeste, sudoeste e norte da área de estudo. Segundo a Embrapa (2018), os chernossolos são solos que possuem grupamento com Horizonte

A chernozêmico, com argila de alta atividade e alta saturação por base, que podem apresentar variação de acúmulo de carbonato de cálcio. Ademais, são solos de coloração escura e ricos em matéria orgânica e de coloração escura (IBGE, 2021).

O terceiro maior grupo de solo na bacia é o Latossolo Vermelho, que compreende uma área de 272,438 km² (20,70%) da bacia hidrográfica do Rio Formoso e está localizado à leste, nordeste e sudeste da bacia. Os latossolos são grupos de solos com B latossólico, que possuem elevada evolução e que atuam no processo de latolização, que tem como consequência uma intensa intemperização dos constituintes minerais primários, ou mesmo de minerais secundários de menor resistência; possuem acúmulo de argilominerais resistentes e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além de baixa mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização (EMBRAPA, 2018).

Já os solos Chernossolo Argilúvico (31,898 km²), Gleissolo Melânico (58,117 km²), Neossolo Regolítico (98,644 km²) e Plintossolo Argilúvico (1,883 km²) ocupam as menores extensões territoriais da bacia – respectivamente 2,42%, 4,41%, 7,49% e 0,14% cada um. Essas informações geoespaciais se encontram representadas cartograficamente no mapa da Figura 12.

Figura 12 – Mapa de Solos



4.2.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para os Solos

Na bacia hidrográfica do Rio Formoso, foram encontradas três classes de vulnerabilidade, sendo elas: Estável, Medianamente Estável/Vulnerável e Vulnerável, conforme a Tabela 5 e o mapa da Figura 13.

Tabela 5 – Vulnerabilidade para os Solos

| Grau de Vulnerabilidade | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Estável | 272,438 | 20,70 |
| Moderadamente Estável | - | - |
| Medianamente Estável/Vulnerável | 884,918 | 67,26 |
| Moderadamente Vulnerável | - | - |
| Vulnerável | 158,644 | 12,04 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | |

Fonte: IBGE (2021). Organização: AUTORA (2023).

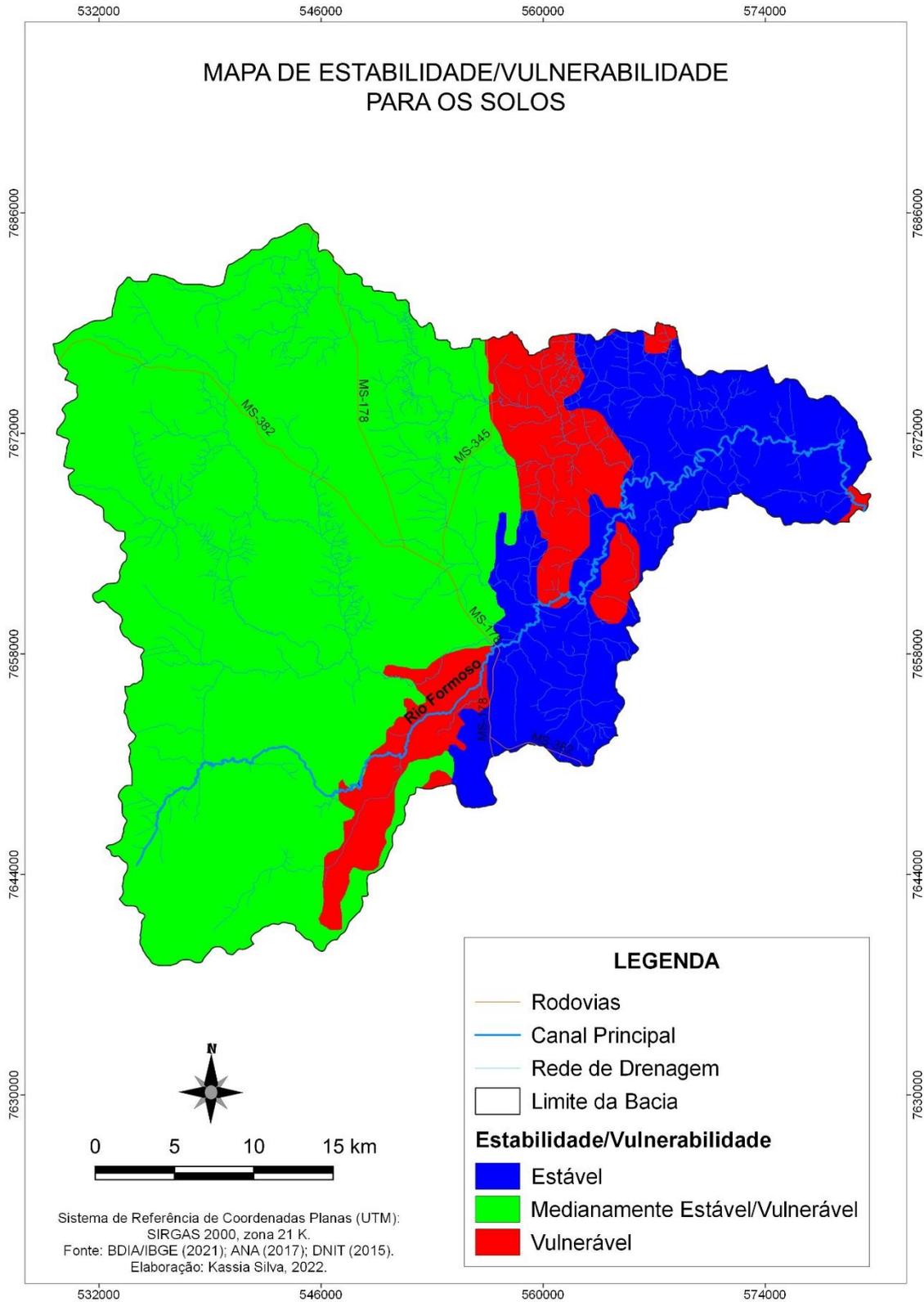
A classe Medianamente Estável/Vulnerável foi a mais expressiva, representando 884,918 km² (67,26%) da bacia. Essas unidades de paisagem, que são consideradas intermediárias em relação à morfogênese/pedogênese, se atribui principalmente ao Chernossolo Rêndzico e Nitossolo Vermelho.

O Chernossolo Rêndzico é um tipo de solo que apresenta uma camada superficial escura, rica em matéria orgânica e com alto teor de nutrientes, o que lhe propicia elevada fertilidade natural sobre a camada de matéria abastada em carbonato de cálcio, no entanto, esse solo possui maior pré-disposição a sofrer processos erosivos onde há a ocorrência de relevos mais movimentados (EMBRAPA, 2018).

A bacia hidrográfica do Rio Formoso não apresentou áreas com vulnerabilidade de grau Moderadamente Estável e Moderadamente Vulnerável em nenhuma de suas unidades de paisagem. As áreas estáveis, que representam 20,70% da bacia são atribuídas aos latossolos, que são solos mais maduros, que apresentam maior estabilidade em relação à morfogênese e que, de acordo com Crepani *et al.* (2001), são solos mais desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade, sendo, portanto, solos com materiais mais decompostos.

A classe vulnerável corresponde a 158,644 km² (12,04%) da bacia hidrográfica do Rio Formoso, estando atribuída aos Neossolo Regolítico (7,49%), Gleissolo Melânico (4,41%) e Plintossolo Argilúvico (0,14%). Esses solos, por apresentarem um alto grau de vulnerabilidade, são solos onde prevalece a morfogênese, sendo assim, são mais jovens e pouco desenvolvidos.

Figura 13 – Mapa de Estabilidade/Vulnerabilidade para os Solos



Em relação à perda de solos por processos erosivos, a bacia hidrográfica do Rio Formoso possui, predominantemente, risco moderado à vulnerabilidade para o tema solos, o que indica que na área de estudo que há um equilíbrio entre morfogênese e pedogênese.

Crepani *et al.* (2001), associa a vulnerabilidade para a pedologia ao grau de erodibilidade, que se refere à maior ou menor capacidade que determinado solo tem de resistir aos processos erosivos. Para esse autor, a erodibilidade do solo é atribuída às suas condições intrínsecas, tais como a composição mineralógica e granulometria, suas características físicas e químicas e das condições externas, relacionadas ao seu manejo.

A maturidade dos solos, produto direto da relação morfogênese/pedogênese, é um fator que indica se em uma determinada área prevalecem os processos erosivos – modificadores das formas de relevo (morfogênese), que produzem solos jovens e pouco desenvolvidos, ou se prevalece a pedogênese, com a presença de solos mais maduros, lixiviados e mais desenvolvidos (CREPANI *et al.*, 2001).

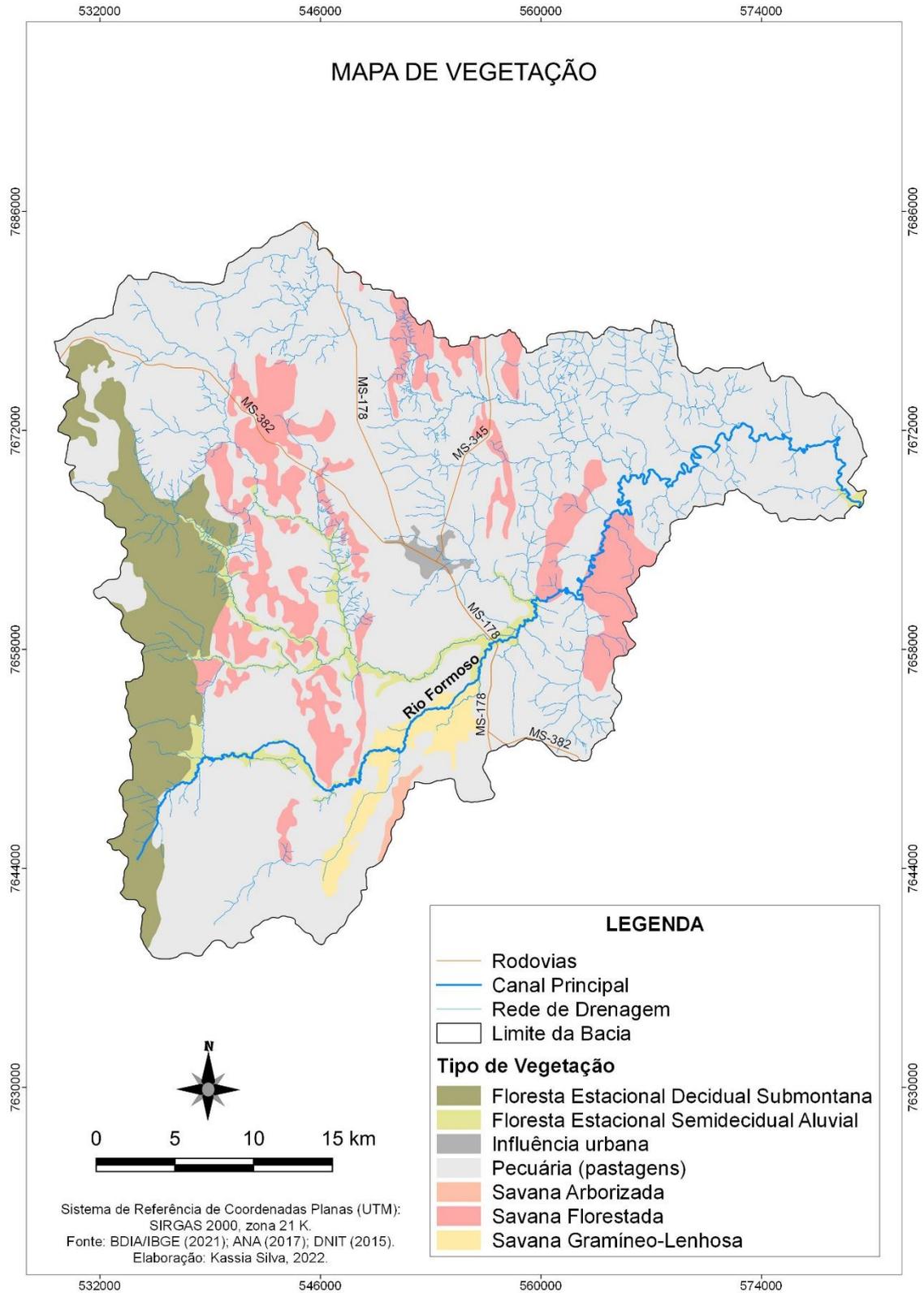
A maior ou menor suscetibilidade do solo de sofrer processos erosivos depende principalmente de sua estrutura, tipo e quantidade de argilas, permeabilidade e profundidade e da presença de camadas de solo impermeáveis (CREPANI *et al.*, 2001). Assim, os processos erosivos, sejam eles de origem natural ou antrópica, são acelerados pela ação humana.

Na metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), para que sejam estabelecidas as 21 classes de vulnerabilidade para o tema solos, considera-se, em especial, o seu grau de maturidade. Desse modo, ao se estabelecer a vulnerabilidade para os solos, são atribuídos valores de 1 a 3 da escala de vulnerabilidade. Uma unidade de paisagem natural é considerada estável quando os processos que ocorrem nela favorecem a pedogênese. Já uma unidade vulnerável é aquela onde prevalecem os processos de morfogênese, ocorrendo, portanto, o predomínio de processos erosivos.

4.3 Vegetação

As fitofisionomias encontradas na área de estudo, conforme dados do Banco de Informações Ambientais – BDIA/IBGE, foram: Floresta Estacional Decidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Savana Florestada e Savana Gramíneo-Lenhosa (Figura 14).

Figura 14 – Mapa de Vegetação



A Floresta Estacional Decidual Submontana ocupa 134,964 km² da área de estudo (Tabela 6), sendo descrita por Mato Grosso do Sul (1990), como a formação que reveste o capeamento pré-cambriano da unidade geológica Bocaina de parte da depressão do rio Paraguai, atingindo altitudes que ultrapassam 150 metros, especialmente ao sul da serra da Bodoquena. Seu limite está entre as altitudes de 450 a 550 m, com amplitude térmica que varia de 17° a 25°, variação onde se situa a cidade de Bonito, que apresenta média anual de 22°, localizando-se às bordas da Serra da Bodoquena, onde se revelam terrenos cobertos por isoladas pontuações florestais (BRASIL, 1982).

Tabela 6 – Classes de Vegetação da área de estudo

| Vegetação | Área (km²) | Área (%) | Vulnerabilidade |
|--|------------------------------|-----------------|------------------------|
| Floresta Estacional Decidual Submontana | 134,964 | 10,25 | 2,0 |
| Floresta Estacional Semidecidual Aluvial | 39,445 | 2,99 | 1,7 |
| Savana Florestada | 156,501 | 11,89 | 1,7 |
| Savana Gramíneo-Lenhosa | 27,788 | 2,11 | 3,0 |
| Pecuária (pastagens) | 947,273 | 72,01 | 3,0 |
| Influência urbana | 6,306 | 0,47 | 3,0 |
| Savana Arborizada | 3,723 | 0,28 | 2,0 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | | |

Fonte: IBGE (2021). Organização: AUTORA (2023).

Na Floresta Estacional Decidual Submontana é onde se encontram dispersas as disjunções mais significativas da florestal decidual (IBGE, 1991). Se caracteriza pela presença de espécies deciduais, especialmente as do estrato superior e, na época de frio intenso, apresenta estacionalidade foliar, que coincide com o período seco (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

A Floresta Estacional Decidual Submontana é a primeira formação florestal localizada a leste do Chaco Brasileiro, tal unidade fitofisionômica apresenta espécies dos gêneros *Ficus* (gameleira) e *Eugenia* (pitanga-brava), destacando-se a presença de lianas e epífitas (BRASIL, 1982). As espécies de palmeiras mais presentes são a *Scheelea phalerata* (acuri), *Orbygnia* spp. (babaçu) e *Acrocomia* sp. (bocaiuva), espécies estas que, com frequência, chegam a formar agrupamentos, principalmente nas áreas mais atingidas pela ação antrópica (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

A floresta decidual da encosta da Serra da Bodoquena (MS) é dominada por ecótipos savanícolas e florestais mesofanerófitos, disjunção formada a partir de gêneros afro-amazônicos

e andino-argentinos, as quais se destacam as espécies *Pterodon* (sucupira), ecótipo de caule amarelo, além de *Qualea*, *Copaifera*, *Hymenaea*, *Schinopsis*, *Plathymenia* (IBGE, 1991).

Já a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, presente em 39,445 km² da bacia hidrográfica do Rio Formoso, se encontra mais predominantemente na grande depressão pantaneira sul-mato-grossense, margeando os rios da bacia do Rio Paraguai (IBGE, 1991).

A Floresta Estacional Semidecidual Aluvial é uma formação florestal de caráter ribeirinho, que abrange as acumulações fluviais com sedimentos do Quaternário e que se caracteriza por extensas áreas florestais ribeirinhas embasadas em substratos de litologia mais antiga (MATO GROSSO DO SUL, 1990). As árvores caducifólias do gênero *Pantropical Erythrina*, destacam-se na região, caracterizando-a tipicamente (MATO GROSSO DO SUL, 1990). Possui fisionomia arbórea com dossel superior uniforme, com raras árvores emergentes e altitudes que atingem 20m, exibindo fustes finos e, com frequência, pouca tortuosidade (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Possui ainda um estrato intermediário composto por árvores jovens, provenientes da regeneração natural de árvores mais antigas e um estrato dominado, com lianas sarmentosas e arbustos de *Melastomataceae*, *Musaceae* e *Myrtaceae* (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

A Savana Florestada ou Cerradão está presente em 156,501 km² da área de estudo e, de acordo com o IBGE (1991), possui uma fisionomia típica e característica própria de áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, que ocorre em clima tropical predominantemente estacional. Essa formação tem sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, apresentando órgãos de reserva subterrânea ou xilopódios, com alturas de 6 a 8 metros (IBGE, 1991). Apresenta, em alguns locais, sinúsias lenhosas de meso e microfanerófitos com altura média que ultrapassa 10 metros, sua fisionomia é muito semelhante à das florestas estacionais, diferindo apenas em sua formação florística, além disso, não possui sinúsia nítida de caméfitos, mas sim relvado hemicriptofítico, em meio às plantas lenhosas raquíticas e palmeiras anãs (IBGE, 1991).

Segundo o BRASIL (1982), nos sítios onde o Cerradão torna-se mais aberto, sua estrutura e aspecto florístico permanece imperturbada, porém, nota-se o adensamento do estrato herbáceo com o aparecimento do capim-flecha (*Tristachya* sp.) e do capim-flechinha (*Tristachya* sp.), com mosaicos de palmeirinhas butiá (*Butia* sp.) e *Helietta* sp., além de muitas gramíneas e ervas decumbentes (BRASIL, 1982). Nota-se também as arbustivas

Campomanesia sp. (guavira ou guabiroba) e a incidência de macaúba ou bocaiúva (*Acrocomia* sp.) (BRASIL, 1982).

A Savana Gramíneo-Lenhosa ocupa 27,788 km² da bacia hidrográfica do Rio Formoso. Essa formação revela uma fisionomia, quando natural, de gramados com mosaicos de plantas lenhosas raquílicas, que ocupam grandes áreas dominadas por hemicriptófitos que, quando manejados pelo fogo ou pastoreiro, são aos poucos substituídos por geófitos (IBGE, 1991).

Essa formação recobre extensas planícies de acumulação inundáveis no Pantanal Mato-grossense. No restante do estado tem menor expressão merecendo algum destaque na região entre Bonito e Bela Vista e ao norte no Chapadão da Emas (MATO GROSSO DO SUL, 1990, p. 17).

A Savana Arborizada, presente em 3,723 km², tem como principal característica um estrato graminóide contínuo, que encobre o solo e que seca durante o período desfavorável; sobrepõe-se a este estrato um outro, que exhibe árvores relativamente espaçadas, baixas, xoromórfas e grandes folhas sempre verdes (MATO GROSSO DO SUL, 1990). O tronco é sempre tortuoso, esgalhado e de casca corticosa (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Essa formação particulariza-se por uma variação fisionômica muito grande, incluindo desde o cerrado propriamente dito, com árvores que variam dos 4 a 8m de altura, formando às vezes um estrato lenhoso denso de arbustos, cipós e taboquinha, até fisionomias arbóreas mais abertas, baixas e limpas, lembrando um parque antrópico (MATO GROSSO DO SUL, 1990, p. 17).

Já o estabelecimento de pastagens é a atividade mais expressiva na bacia, representando 947,273 km², isso se dá por Mato Grosso do Sul ser um dos maiores produtores de gado de corte do país, este que se utiliza pela alimentação predominantemente a base de pastagem.

Ademais, a vegetação do estado de Mato Grosso do Sul resulta do contato e da interpenetração das seguintes províncias florísticas: Amazônica, Chaquenha e Bacia do Paraná, que dão origem a paisagens fitogeográficas diversas (MATO GROSSO DO SUL, 1990). A vegetação do estado é representada por quatro Regiões Fitoecológicas, as quais: Savana (Cerrado), Savana-Estépica (Vegetação Chaquenha), Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual, além das áreas de Formação Pioneira e Áreas de Tensão Ecológica (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

4.3.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Vegetação

A bacia hidrográfica do Rio Formoso apresentou três classes de estabilidade/vulnerabilidade para a vegetação, as quais: moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e vulnerável (Figura 15), como ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Vegetação

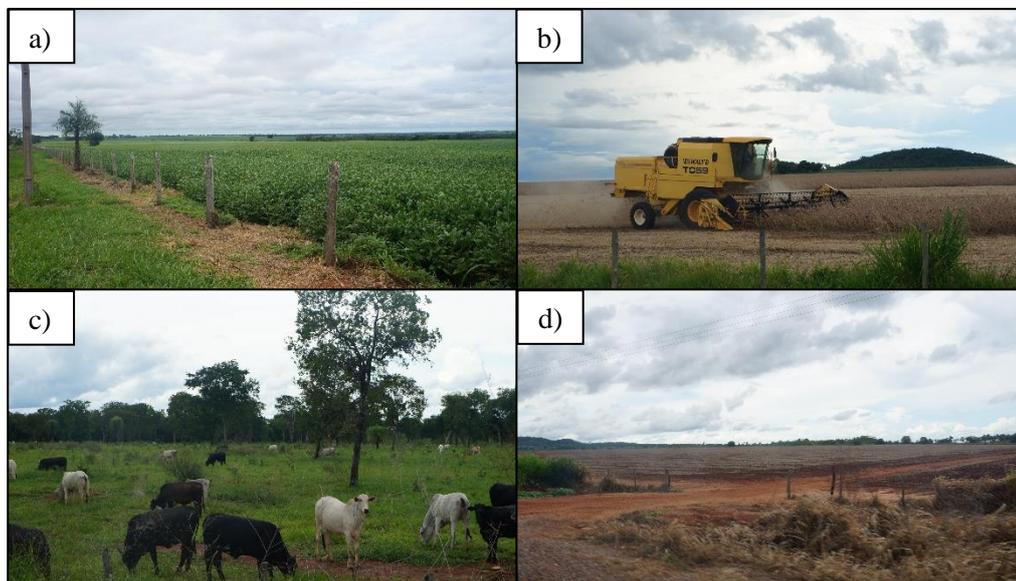
| Grau de Vulnerabilidade | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Estável | - | - |
| Moderadamente Estável | 195,946 | 14,88 |
| Medianamente Estável/Vulnerável | 138,687 | 10,53 |
| Moderadamente Vulnerável | - | - |
| Vulnerável | 981,367 | 74,59 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | |

Fonte: IBGE (2021). Organização: AUTORA (2023).

O que prevalece na área de estudo são as áreas vulneráveis, representando mais de 74% da bacia, seguido das classes moderadamente estável (14,88%) e medianamente estável/vulnerável (10,53%).

A alta vulnerabilidade que a bacia hidrográfica do Rio Formoso apresenta para o fator vegetação está atrelada principalmente à pecuária, que representa sozinha mais de 72% da bacia. Isso está diretamente relacionado com o fato de que o estado de Mato Grosso do Sul, conforme IAGRO (2021), possui atualmente o quarto maior rebanho bovino do país (aproximadamente 20 milhões de cabeças), sendo que a pecuária de corte é uma das principais atividades econômicas do estado e caracteriza-se pela alimentação à base de pastagem. Nessa área ocorre também a expansão agrícola, onde destaca-se a plantação de soja. Na Figura 16, podemos observar registros de áreas da bacia hidrográfica do Rio Formoso, onde ocorre a plantação e colheita de soja (a, b, d) e o desenvolvimento da pecuária (c).

Figura 16 – Cultivo de soja e atividade pecuária na área de estudo



Fonte: CARVALHO, E. M. (2023).

A bacia hidrográfica do Rio Formoso é predominantemente vulnerável quando se considera sua cobertura vegetal, indicando que esta possui pouca ou nenhuma cobertura vegetal mais densa, com predomínio de áreas de pastagem.

As áreas consideradas no mapa como moderadamente estável e medianamente estável/vulnerável são devido à presença da floresta estacional semidecidual aluvial e da savana florestada, que são formações vegetais de médio porte, a primeira com formações de 20 metros de altura em média e a segunda com até 12 metros.

As áreas medianamente estáveis/vulneráveis se dão sob a floresta estacional decidual submontana e da savana arborizada, a primeira caracterizada por ser uma vegetação de médio porte e a segunda de menor porte (até 8 metros). Não se evidenciou a presença de vegetações consideradas estáveis e moderadamente vulneráveis na bacia.

Entende-se que a ausência de vegetação mais densa (estável) na bacia hidrográfica do Rio Formoso favorece os processos erosivos na bacia, já que tal fator condiciona para que o escoamento superficial ocorra com maior velocidade, carreando o solo e seus sedimentos de forma muito mais rápida e intensa.

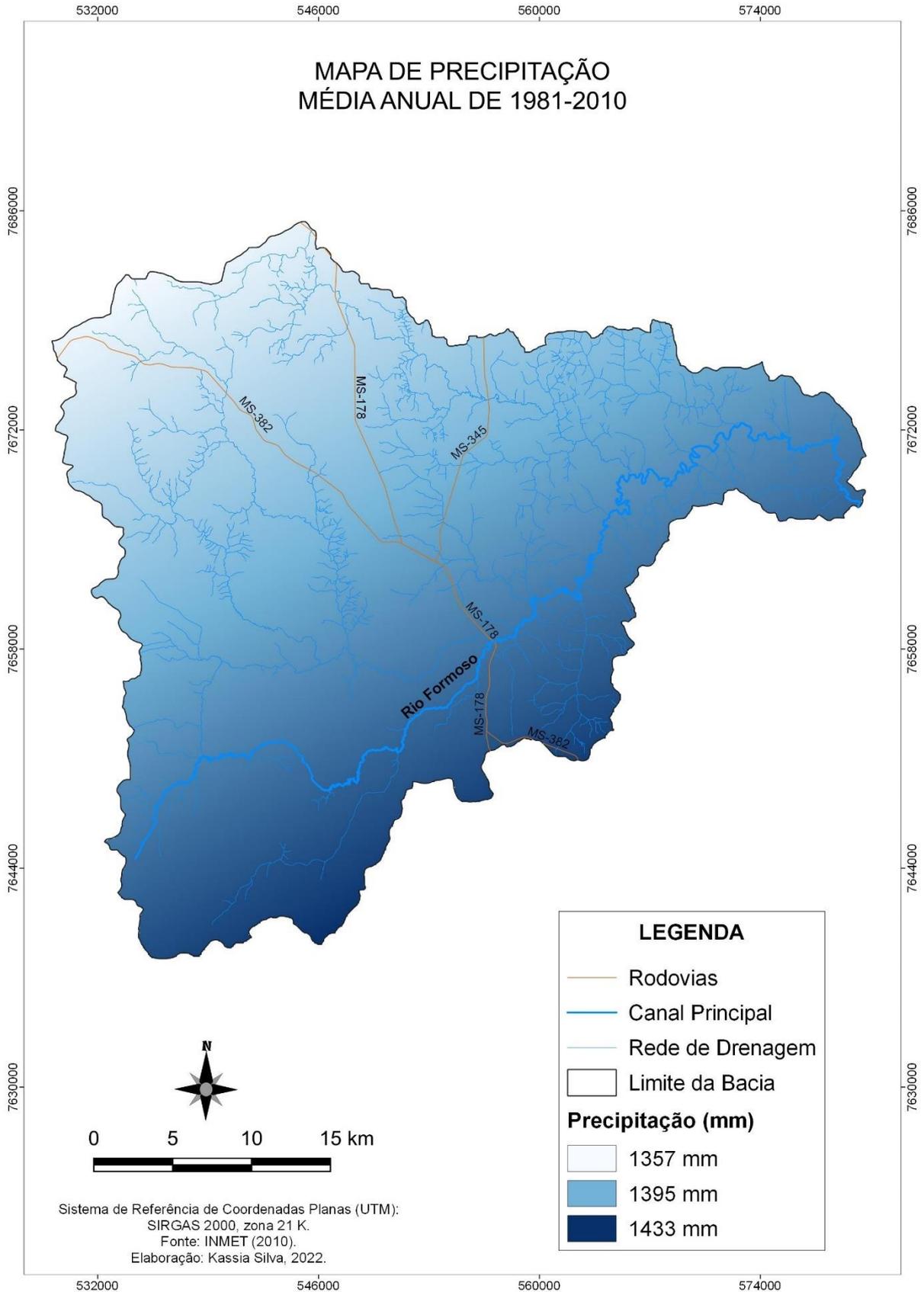
Assim, para o tema vegetação, a densidade de cobertura vegetal é o parâmetro a ser considerado para se determinar as 21 classes de vulnerabilidade, segundo a metodologia de Crepani *et al.* (2001). De acordo com essa metodologia, a densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura vegetal do terreno) é o que determina a proteção dessa unidade contra os processos morfogenéticos, expressos através da erosão.

4.4 Clima

Os dados das normais climatológicas da bacia hidrográfica do Rio Formoso indicaram três classes com as médias de precipitação anual, as quais: 1357, 1395 e 1433 mm, com o recorte temporal entre os anos de 1981 e 2010 (Figura 17).

A análise do clima para a região da bacia hidrográfica do Rio Formoso indica que, de acordo com a classificação climática de Köppen, o clima do município de Bonito é o Aw (tropical úmido), que tem como característica uma estação seca acentuada entre junho e setembro e precipitações concentradas entre os meses de novembro a janeiro (ZAMPRONI *et al.*, 2019), além disso, sua temperatura média anual é de 23,1°C (GONÇALVES; PEREIRA; DA COSTA, 2006).

Figura 17 – Mapa de Precipitação



A precipitação pluvial é um elemento chave no ciclo hidrológico, à medida que representa o fluxo de água que transcorre da atmosfera até a superfície terrestre, esse fluxo sofre influência direta da radiação solar, da gravidade e da rotação terrestre (JARDIM *et al.*, 2019). Segundo Dias e Penner (2021), os índices de precipitação apresentam elevada variabilidade no tempo e no espaço. Santos e Brito (2007) afirmam que os índices de precipitação são afetados diretamente pelas mudanças climáticas.

A ação das águas pluviais sobre as rochas, causando processos intempéricos e sobre o solo, removendo-o através da erosão hídrica, constitui a causa fundamental dos processos erosivos, já que o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água da chuva (*runoff*) são os agentes ativos causadores da erosão hídrica (CREPANI *et al.*, 2001). Assim, o clima é o agente controlador dos processos intempéricos, podendo agir diretamente através das precipitações e da temperatura, e indiretamente, por meio dos tipos de vegetação que encobrem a paisagem (CREPANI *et al.*, 2001).

As principais características físicas da chuva quando se trata dos processos erosivos são: a pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e sua distribuição sazonal, sendo que, dentre essas características, destaca-se a importância de se conhecer a intensidade pluviométrica, pois ela representa a relação entre a pluviosidade total e a distribuição sazonal, esta que irá determinar a quantidade de energia potencial disponível para se transformar em energia cinética (CREPANI *et al.*, 2001).

Quando se fala em intensidade pluviométrica, é importante destacar que “[...] uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo período, tem um poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que seja despejada torrencialmente num período determinado do ano [...]” (CREPANI *et al.*, 2001, p. 95).

O conhecimento sobre o clima de uma região é de grande importância, se estabelecendo enquanto um elemento que moldará todas as fases do ciclo hidrológico, determinando, assim, a intensidade do escoamento de água e suas modificações (MEIRELLES; VASCONCELOS, 2011).

Segundo IPMA (2020), o principal elemento para estudos climáticos são as normais climatológicas, que se expressam por meio de dados estatísticos referentes a elementos do clima, como os índices de precipitação, refletindo o comportamento padrão do clima a partir da análise. Para sustentar a discussão de um comportamento padrão de determinado elemento climático, é preciso um recorte temporal em um período relativamente longo (MEIRELLES; VASCONCELOS, 2011).

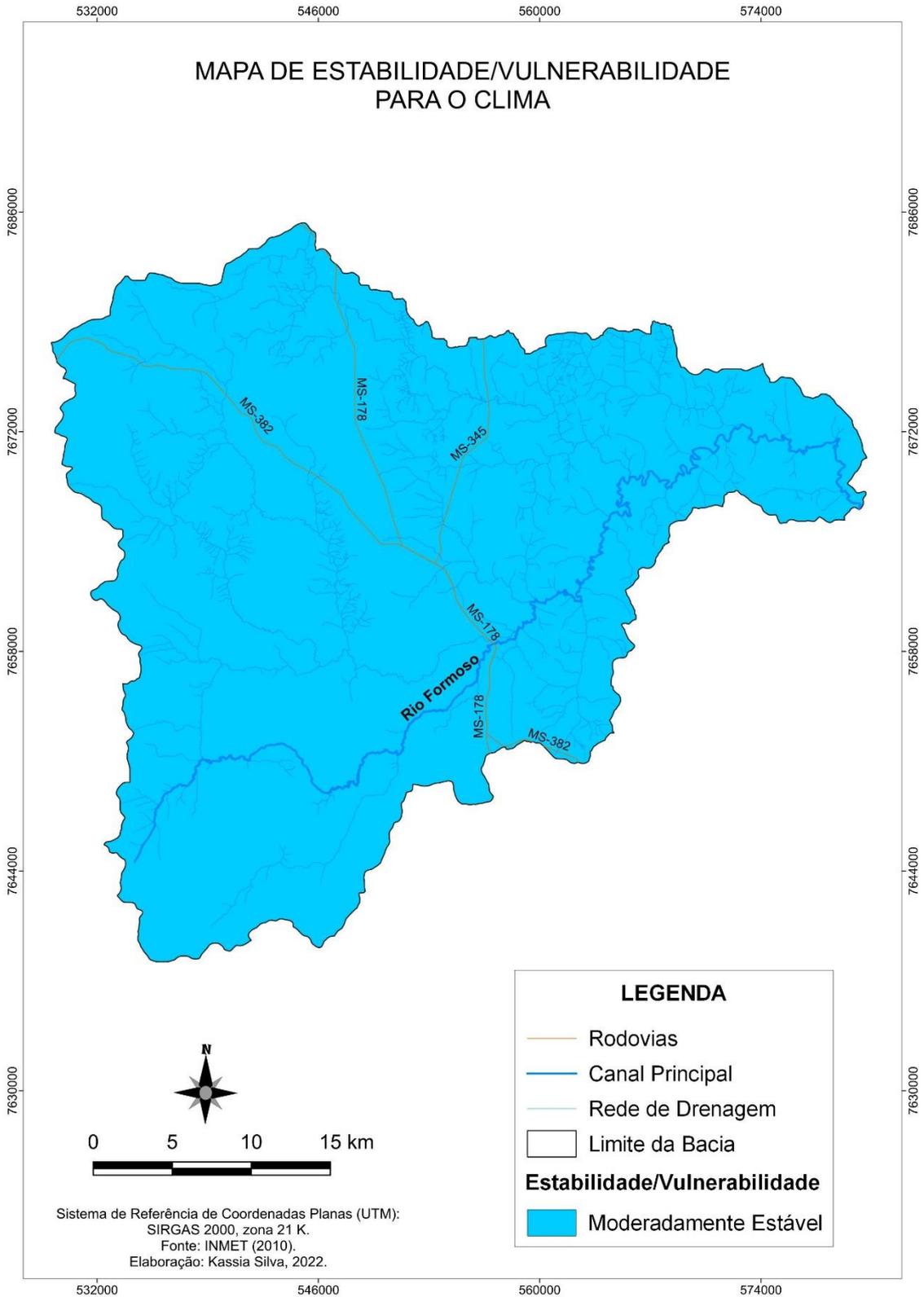
4.4.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para o Clima

A análise da vulnerabilidade para o clima na bacia hidrográfica do Rio Formoso indicou apenas uma classe de estabilidade/vulnerabilidade, classificando a área de estudo como moderadamente estável para o clima, conforme a Figura 18.

Identificar a vulnerabilidade para o clima de uma determinada área é de suma importância, haja vista que a ação da água da chuva sob o solo e o escoamento superficial interfere no processo erosivo.

A bacia hidrográfica do Rio Formoso apresentou vulnerabilidade moderada, o que sugere que a erosão por meio da ação da chuva é mediana. No entanto, isso não significa que o impacto da chuva não seja um fator a ser considerado na análise final da vulnerabilidade para a área de estudo, sendo um quesito importante de análise.

Figura 18 – Estabilidade/Vulnerabilidade para o Clima



4.5 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia

Na bacia hidrográfica do Rio Formoso, foram identificadas quatro classes de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, as quais: Moderadamente Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Moderadamente Vulnerável e Vulnerável (Figura 19).

Prevalece, na área de estudo, terrenos com vulnerabilidade mediana, representados pela classe Medianamente Estável/Vulnerável, em 586 km² da bacia. A classe Moderadamente Vulnerável é a segunda maior em tamanho de área dentro da bacia, distribuídas em 472 km², na porção norte da bacia, conforme a Tabela 8. A classe Estável não foi encontrada na bacia hidrográfica.

Tabela 8 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia

| Classes | Área (km²) | Área (%) | Estabilidade/ Vulnerabilidade |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|--|
| Moderadamente Estável | 112 | 8,51 | 1,6 – 1,7 |
| Medianamente Estável/Vulnerável | 586 | 44,53 | 1,8 – 2,2 |
| Moderadamente Vulnerável | 472 | 35,87 | 2,3 – 2,6 |
| Vulnerável | 146 | 11,09 | 2,7 – 3,0 |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | | |

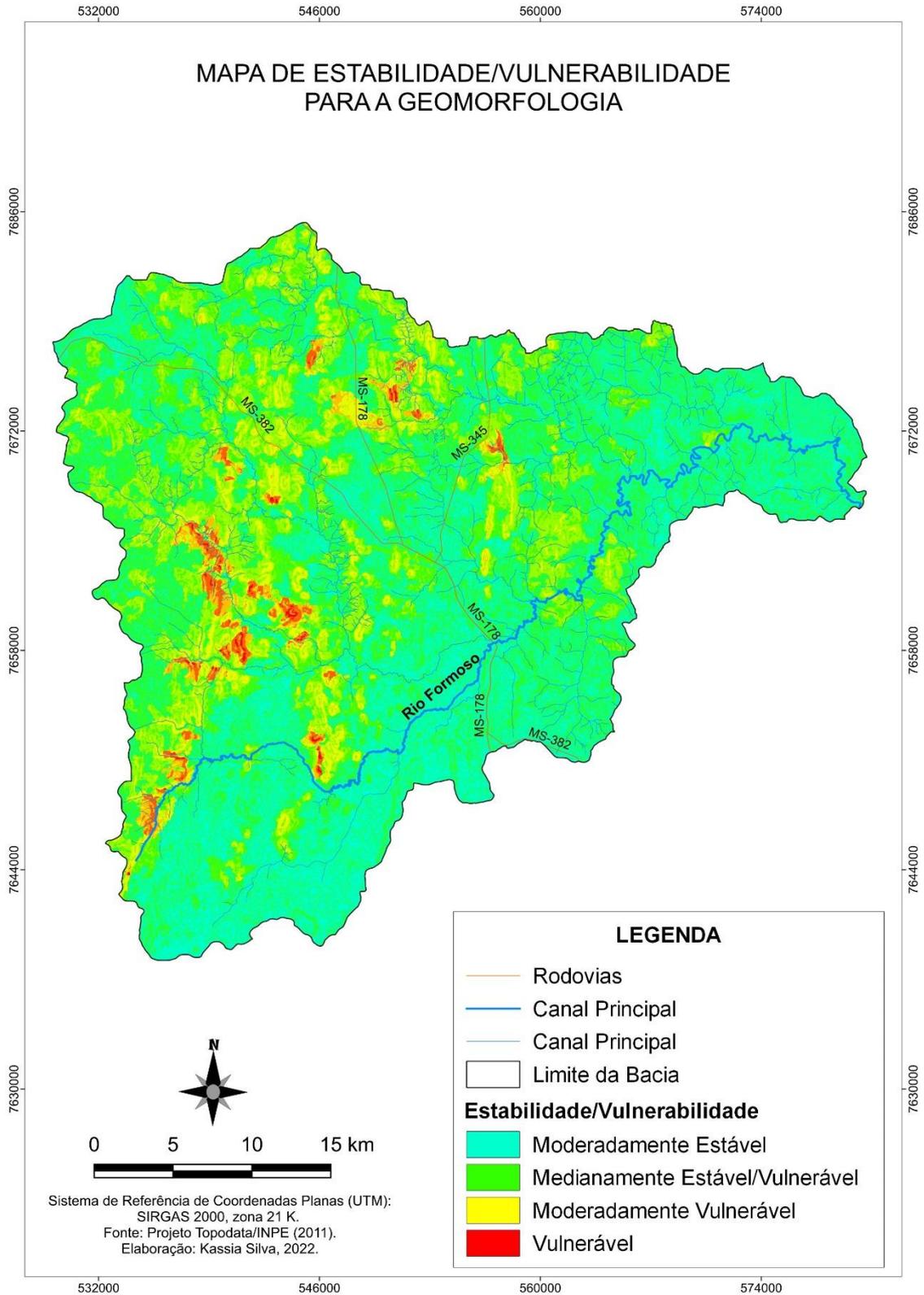
Fonte: INPE (2011). Organização: AUTORA (2022).

As áreas Moderadamente Estável e Medianamente Estável/Vulnerável representam as áreas na bacia onde predomina um certo equilíbrio morfogênese/pedogênese, sendo áreas onde os declives são baixos e não há um aprofundamento nos canais de drenagem.

Essas áreas correspondem a Depressão do Rio da Prata, essa unidade de paisagem geomorfológica possui área aplanada e relevo mais rebaixado se comparado à Serra da Bodoquena; predominam relevos de aplanamento cortados por drenagem incipiente, concentrados nos rios que descem do conjunto serrano da Bodoquena (IBGE, 2021).

Considerando os valores da escala de vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001), essas áreas possuem certo equilíbrio na relação morfogênese/pedogênese. Mais de 44% da bacia é representada pela classe Medianamente Estável, que possui grau de vulnerabilidade com variação de 1,8 a 2,2, considerado intermediário.

Figura 19 – Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia



Os terrenos Moderadamente Vulneráveis e vulneráveis, são assim classificados devido a declividades acentuadas que apresentam, bem como, um maior aprofundamento dos canais de drenagem, se comparados com as classes anteriores.

As áreas vulneráveis e moderadamente vulneráveis predominam em duas porções na bacia, sendo a primeira a sudoeste e a segunda na porção norte da bacia, em ambas as áreas predominam a morfogênese

Tais características estão associadas ao relevo relacionado com Serra da Bodoquena. Na porção sudoeste esta classe corresponde a unidade geomorfológica- Alinhamentos Serranos da Serra da Bodoquena. Esses alinhamentos são caracterizados por relevos dissecados com alta densidade de drenagem e baixo aprofundamento e mantido em posição superior à superfície do entorno (IBGE, 2021).

Na porção norte, essas classes correspondem a unidade geomorfológica Serra da Bodoquena. A Serra da Bodoquena compreende um conjunto de relevos estruturais dispostos de norte a sul e estende-se por aproximadamente 200 km, com altitudes que variam de 400 a 750 metros, em seu interior ocorrem segmentos de escarpas, que delimitam vales profundos e constituem os cânions, onde alguns desses segmentos advêm de bordas de relevo afetado por tectônica (IBGE, 2021).

A análise da vulnerabilidade para o tema Geomorfologia demonstrou que a bacia hidrográfica do Rio Formoso possui certa complexidade para esse tema, haja vista que as classes Medianamente Estável e Moderadamente Vulnerável ocupam as maiores áreas da bacia, a primeira com vulnerabilidade intermediária e a segunda com vulnerabilidade mais alta (próxima de 3,0). Isso indica que, ao mesmo tempo que a área de estudo apresenta equilíbrio na relação morfogênese/pedogênese, também se aproxima dos mais altos valores de vulnerabilidade, que faz com que seus terrenos sejam mais suscetíveis aos processos da morfogênese.

4.5.1 Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso

A análise da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso (Tabela 9), revelou que a área de estudo possui, predominantemente, áreas com terrenos Medianamente Estável/Vulnerável, em 53,56% de sua extensão. A classe Moderadamente Estável é a segunda maior na bacia hidrográfica, ocupando 459,62 km² (34,93%), já as classes Moderadamente Vulnerável e Estável são menos expressivas, ocupando,

respectivamente 146,20 km² (11,11%) e 5,22 km² (0,40%). A área de estudo não apresentou terrenos classificados como Vulnerável, como pode ser visto no mapa da Figura 20.

Tabela 9 – Classes de Vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Formoso

| Grau de Vulnerabilidade | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Estável | 5,22 | 0,40 |
| Moderadamente Estável | 459,62 | 34,93 |
| Medianamente Estável/Vulnerável | 704,96 | 53,56 |
| Moderadamente Vulnerável | 146,20 | 11,11 |
| Vulnerável | - | - |
| Área Total da Bacia | 1.316 km² | |

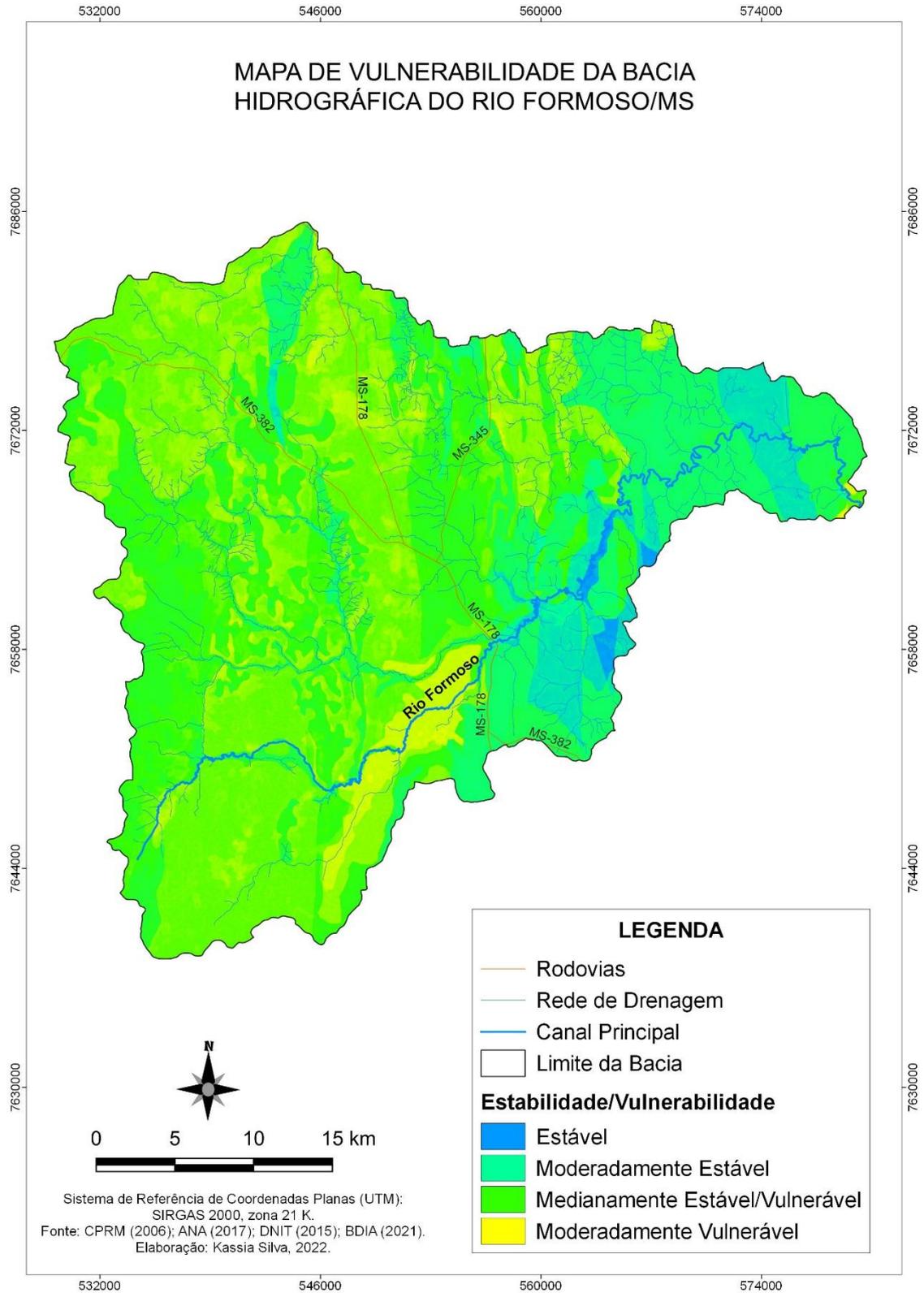
Fonte: INPE (2011). Organização: AUTORA (2022).

A vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável, que apresentou maior extensão de área (53,56%) na bacia hidrográfica do Rio Formoso, atribui-se, entre outros fatores, aos tipos de rochas presentes na área de estudo, especialmente as do grupo Cuiabá, que possuem rochas com grau de coesão intermediário, pelos tipos de solos de média vulnerabilidade e pela geomorfologia, esta última atribuída à depressão do Rio da Prata.

Nessas áreas, ocorre o equilíbrio entre os processos de morfogênese (modificadores das formas de relevo) e pedogênese (formadores de solos), que atuam modificando as paisagens.

A classe moderadamente estável, que possui vulnerabilidade mais próxima à estabilidade, ocupa a segunda maior área da bacia hidrográfica do Formoso (34,93%), estão associada à presença da savana florestada, ao clima e geomorfologia, com relevos de baixa declividade e canais de drenagem pouco aprofundados.

Figura 20 –Estabilidade/Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso



As áreas estáveis são pouco expressivas, ocupando apenas 0,40% da bacia hidrográfica, estando relacionada aos latossolos vermelhos, solos mais maduros e que passem maior resistência à morfogênese.

Não foram encontrados índices de maior grau de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do Rio Formoso. O que mais se aproximou disso foram os terrenos moderadamente vulneráveis, que estão associados à presença da vegetação savana gramíneo-lenhosa e aos gleissolos-melânicos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desse trabalho constatou o que algumas literaturas já anunciavam, de que o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos é indispensável nas tomadas de decisão relacionadas ao planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, e também um importante instrumento para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico e fornecer bases para futuras pesquisas na área de estudo.

O mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso se mostra essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na região, haja vista que a bacia hidrográfica está inserida no município de Bonito, que tem como uma de suas principais atividades econômicas o turismo, utilizando a água como atrativo turístico. A presente pesquisa, à medida que traz informações do grau de fragilidade ambiental das paisagens na área de estudo, permite que sejam traçados planos de intervenção para um futuro zoneamento ambiental na região.

A bacia hidrográfica deve ser considerada como uma unidade de paisagem de interações sistêmicas, diante disso, as análises ambientais realizadas nesse ambiente devem partir de estudos integrados da paisagem, considerando as relações entre as partes para assim, entender o todo.

A metodologia empregada nesse trabalho foi essencial para o seu desenvolvimento, pois possibilitou a análise integrada das unidades de paisagem e a identificação da vulnerabilidade natural à perda de solos, entendendo a complexidade da bacia hidrográfica do Rio Formoso e seu potencial natural de sofrer os processos de morfogênese e pedogênese. A qualificação da vulnerabilidade das unidades territoriais básicas (geologia, solos, vegetação, clima, geomorfologia) e posterior sobreposição dessas informações, permitiu gerar a vulnerabilidade natural à perda de solos para a bacia hidrográfica.

O uso das ferramentas de geotecnologias foi de fundamental importância para o bom andamento da pesquisa, pois auxiliou seu desenvolvimento desde o início, da geração do mapa base da área de estudo, passando pelo mapeamento das unidades territoriais básicas até o mapa final.

A teoria sistêmica, que tem em seus preceitos a análise integrada, foi indispensável na presente pesquisa, pois a todo momento a área de estudo foi analisada considerando o todo de forma interligada em sua dinâmica física-ambiental.

Entender a bacia hidrográfica como unidade de planejamento com interações sistêmicas, facilita as tomadas de decisão, já que através dela é possível realizar as mais diferentes análises, tanto de caráter ambiental como também social. A bacia hidrográfica é um espaço de interações complexas.

A bacia hidrográfica do Rio Formoso demonstrou, predominantemente, ambientes com fragilidade mediana para sofrer os processos de erosão, demonstrando certo equilíbrio na relação morfogênese/pedogênese. Ao mesmo tempo, terrenos mais próximos da estabilidade (Moderadamente Estável) também se fizeram bastante expressivos, ocupando a segunda maior área da bacia, o que pode indicar que a bacia hidrográfica possui uma complexidade para a vulnerabilidade de seus ambientes físicos.

A ausência de cobertura vegetal em grande parte da bacia hidrográfica é compensada pela presença da Floresta Estacional Decidual Submontana e da Savana Florestada, vegetações mais próximas da estabilidade.

A geologia é composta por rochas com baixo grau de coesão, o que contribui para que a área possua níveis mais elevados de vulnerabilidade, prevalecendo os processos de morfogênese. Para o tema solos, a bacia hidrográfica demonstrou estabilidade para a relação entre morfogênese e pedogênese.

Outro fator marcante foi a geomorfologia, que demonstrou certa complexidade, haja vista que predominaram terrenos com vulnerabilidades intermediárias, nas quais há equilíbrio na relação morfogênese/pedogênese, ao mesmo tempo que áreas com vulnerabilidade moderada são abundantes, estando mais próximas aos altos graus de vulnerabilidade. Isso está atrelado à presença da Depressão do Rio da Prata nessa região.

6. REFERÊNCIAS

ANDREOZZI, S. L.; VIADANA, A. G. A bacia hidrográfica como unidade espacial de análise. *In: Congresso Brasileiro de Organização do Espaço, 1., Seminário de Pós-Graduação em Geografia da Unesp/Rio Claro, 10., 2010, Rio Claro. Anais [...] Rio Claro: Unesp, 2010. p. 5343-5360. Disponível em: <https://sites.google.com/site/organizaocaodoespaco/anais>. Acesso em: 20 jun. 2021.*

AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 117-138, 2013. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/14457>. Acesso em: 30 jan. 2023.

AVELINO, P. H. M. A trajetória da tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas, v. 1, n. 1, nov. 2004. Disponível em: <file:///C:/Users/rayle/Downloads/1334-Texto%20do%20artigo-3742-1-10-20151018.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia legal**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia, 1997. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/portazee/2016/12/BECKER_EGLER_Metodologia-ZEE-Amazonia-Legal.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.

BERTOTTI, L. G. **Geotecnologias aplicadas à análise ambiental**. 2016.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **RA’EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 8, p. 141-152, dez. 2004. ISSN 2177-2738. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acesso em: 26 maio 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v8i0.3389>.

BIGNOTTO, R. B. **A aplicação de modelagem hidrológica associada à análise geoespacial, para avaliação da vazão na micro central hidroelétrica Ilha Anchieta – SP**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/111068>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BONETTI, J. A.; FINK, J. R.; PITTA, C. S. R. A importância da água para a produção de alimentos e o meio ambiente. *In: BONETTI, J. A.; FINK, J. R. Manejo e Conservação da Água e do Solo*. Lavras: UFLA, 2020. p. 10-23. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/45446?fbclid=IwAR1-696L7nChTPpj-keaBPDR7hrFrZ26iBP-n8rm7NO2HKIj9CWBAJE9Vu8>. Acesso em: 25 out. 2022.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-188.

BRANCO, S. M. **Ecossistêmica**: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

BRASIL. **Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002**. Estabelece critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm. Acesso em: 12 maio 2020.

BRAZ, J. S.; OLIVEIRA, R. C. Contribuições da geoecologia das paisagens no planejamento ambiental em áreas apropriadas pelo turismo: uma discussão teórica e metodológica. **Ciência Geográfica – Bauru**, vol. 27, n. 2, jan./dez. 2023. Disponível em: https://agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXVII_2/agb_xxvii_2_web/agb_xxvii_2-28.pdf. Acesso em: 28 dez. 2022.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. *In*: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1423/introducao_a_ciencia_de_geoinformacao_inpe.pdf. Acesso em: 1 jul. 2022.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. *In*: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial e geoprocessamento**. Brasília: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/bsico-em--anlise-espacial-de-dados-geograficos-apostila02.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CARVALHO, E. M. **Análise diagnóstica de indicadores de erosão do solo na bacia hidrográfica do Córrego João Dias, Aquidauana/MS**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/104407?show=full>. Acesso em: 29 fev. 2022.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. especial, n. 36, p. 26-43, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3172/2656>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, jan. 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/129348>. Acesso em: 1 jun. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COSTA, S. O. S. **Identificação das vulnerabilidades e potencialidades da Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto – PE/AL, com vistas ao zoneamento ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da

Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13604/1/Arquivototal.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2021.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em:
<http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 10 maio 2021.

CRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec/USP, 1979.

CUNHA, G. K. G.; MEDEIROS, C. E. B.; MELO, J. F. G.; CUNHA, K. P. V. 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.; CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 3., 2022, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: Editora Realize, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63984>. Acesso em: 17 nov. 2021.

DA SILVA, D. M.; LEITE, E. F. Abordagem sistêmica e os estudos da paisagem. **Revista pantaneira**, v. 18, p. 14-29, 2020. Disponível em:
<https://periodicos.ufms.br/index.php/revpan/article/view/12330>. Acesso em: 12 jan. 2022.

DAS NEVES, C. E.; SODRÉ, M. T. Por um Geossistema complexo: articulações teóricas e operacionais apoiadas por núcleos e redes de pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/169705>. Acesso em: 29 maio 2022.

DIAS, E. C.; PENNER, G. C. Equação de chuvas intensas para Abaetetuba-PA: estudo comparativo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/14213/12723/184701>. Acesso em: 1 dez. 2021.

DIAS, J.; SANTOS, L. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural. **Confins**, n. 1, 2007. Disponível em:
<https://journals.openedition.org/confins/10>. Acesso em: 28 maio 2022.

DIAS, R. L.; FILHO, A. P. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em Geografia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 413-425, set/dez. 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/41014>. Acesso em: 30 maio 2022.

DO SUL, Mato Grosso. **Atlas multirreferencial**. SEPLANCT/MS, 1990.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição. Embrapa Brasília, DF 2018. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ENCINA, C. C. C.; MARQUES, M. R.; DIODATO, M. A.; PEREIRA, L. E.; ALBREZ, E. A.; OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; MIRANDA, V. R.; MIRANDA, L. M.; COELHO, L. S.; DALMAS, F. B.; FILHO, A. C. P. Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho d' Água, Município de Jardim, Mato Grosso do Sul - Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 577-584, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/rayle/Downloads/13015-17215-1-SM.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.

FERREIRA, E. P. **Pedogênese e elementos potencialmente tóxicos em solos de litologia sedimentar no Norte de Minas Gerais**. 2017. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2017. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb687813.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2022.

FERREIRA, M. V.; TINÓS, T. M.; PINTON, L. G.; DA CUNHA, C. M. L. A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: Proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, 2014. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/553>. Acesso em: 1 jul. 2022.

FERREIRA, V. J. R. P. **Avaliação do Zoneamento Ecológico Econômico no município do Rio de Janeiro como ferramenta para a gestão territorial integrada e desenvolvimento sustentável**. 2011. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/VeraJaneRuffatoPereiraFerreira.pdf. Acesso em: 29 maio 2021.

FILHO, F. J. C. M.; CARVALHO, W. S.; PEREIRA, M. A. S.; RAMOS, M. Geotecnologias aplicadas na defesa do meio ambiente em municípios da Rota de Integração Latino-Americana: a atuação do ministério público do estado de Mato Grosso do Sul via centro integrado de proteção e pesquisa ambiental, Brasil. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, v. 22, n. 1, p. 5-18, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/tDYD3ChDvzfFppVPpz8yMrC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 22 jan. 2023.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C.; FURTADO, A. L. S. Vulnerabilidade à perda de solo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba: contribuição para uma proposta de atribuição de peso. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 342-362, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/49159>. Acesso em: 29 maio 2021.

GONÇALVES, A. O.; PEREIRA, N. R.; da COSTA, L. L. **Caracterização Climática e Aptidão das Culturas Anuais e Perenes no Zoneamento Pedoclimático do Estado do Mato Grosso do Sul – 1ª fase**. Dados eletrônicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14920/1/bpd99-caracterizacao-culturas.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2021.

GUERRA, A. J. T. Ravinas: processo de formação e desenvolvimento. **Anuário do Instituto de geociências**, v. 20, p. 9-26, 1997.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018.

IAGRO. **Iagro participa diretamente da garantia ao mercado externo do cumprimento de protocolos sanitários**. IAGRO, Mato Grosso do Sul, 30 de março de 2021. Disponível em: <https://www.iagro.ms.gov.br/iagro-participa-diretamente-da-garantia-ao-mercado-externo-do-cumprimento-de-protocolos-sanitarios/>. Acesso em: 16 jan. 2023.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Departamento de recursos naturais e estudos ambientais: Rio de Janeiro, 1991.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2009.

IBRAHIM, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1. ed. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2014.

IPMA. **Boletim Climatológico Mensal** – agosto 2020. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2020.

JARDIM, A. M. D. R. F.; DE QUEIROZ, M. G.; JÚNIOR, G. D. N. A.; DA SILVA, M. J.; SILVA, T. G. F. Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 330-337, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/875>. Acesso em: 1 dez. 2021.

JOIA, P. R.; ANUNCIACÃO, V. S.; PAIXÃO, A. A. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formoso, Mato Grosso do Sul. **Interações**, Campo Grande, v. 19, n. 2, p. 343-358, abr./jun. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v19n2/1518-7012-inter-19-02-0343.pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

KERTZMAN, F.F.; OLIVEIRA, A.M.; SALOMÃO, F.X.; GOUVEIRA, M.I.F. Mapa de erosão do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, n. 16 (especial), p. 31-36, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-929X.19950008>. Acesso em: 30 jul. 2022.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUE, G.; LASTORIA, G.; FILHO, A. C. P. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 277-290, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/8grRRmPcKZZfN6wc3WFWr9y/?lang=pt>. Acesso em 13 de jun. 2022.

LACRUZ, M. S. P.; SOUZA JÚNIOR, M. A. **Desastres naturais e geotecnologias: Sistemas de informação geográfica**. Santa Maria: INPE, 2009. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/05.18.18.24/doc/publicacao.pdf?languagebutton=pt-BR>. Acesso em: 22 jul. 2022.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2167-2174, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TxD9ymzHXxpzVxYQndqVBHC/?lang=pt>. Acesso em: 02 fev. 2022.

LAL, R. *et al.* **Soil erosion in the tropics: principles and management**. McGraw-Hill. Inc. 1990.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Evolução conceitual da bacia hidrográfica sob o enfoque da paisagem integrada. **Revista GeoPantanal**, Corumbá, v. 5, n. 8, p. 131-144, jan./jun. 2010.

LELIS, L. R. M.; PINTO, A. L.; SILVA, P. V.; PIROLI, E. L.; MEDEIROS, R. B.; GOMES, W. M. Qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito - MS. **Revista Formação**, v. 2, n. 22, p. 279-302, 2015. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/3151>. Acesso em: 2 ago. 2021.

LIMA, E. C.; SILVA, E. V. Estudos geossintéticos aplicados à bacias hidrográficas. **Revista Equador (UFPI)**, v. 4, n. 4, p. 3-20, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/viewFile/4367/2610>. Acesso em: 9 nov. 2020.

LIMA, E. R. V. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. **Revista Cadernos do Logepa**, v. 3, n. 1, p. 3-43, 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/logepa/article/view/10981>. Acesso em: 2 ago. 2021.

LIMA, G. A.; GENEROSO, C. M.; SANTOS, C. M.; SILVA, L. A.; SOUSA, R. G. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso Ribeirão Isidoro. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 7., 2016, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: IBEAS, 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-074.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2020.

MARQUES, A. F.; ETGES, V. E. Novos parâmetros na regionalização dos territórios: estudo do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) na Amazônia Legal e dos comitês de bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul. *In: Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional*, 2., 2004, Santa Cruz do Sul. **Anais [...]** Santa Cruz do Sul: UNISC, 2004. Disponível em:

https://www.unisc.br/pt/cursos/pos_graduacao/mestrado/desreg/seminarios/anaisidr2004/conferencias/02.pdf. Acesso em: 24 jun. 2021.

MARTINELLI, M. **Mapas, gráficos e redes: elabore você mesmo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MARTINELLI, M. Os mapas da Geografia. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Cartografia**. 2005. p. 1-12. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~frsantos1/CARTOGRAFIA%20TEMATICA/AULA-2OUT/martinelli.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.

MEDEIROS, R. B.; CHÁVEZ, E. S. O potencial das paisagens de uma região cárstica para o turismo – a bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito/Mato Grosso do Sul, Brasil. **GEOgraphia**, Niterói, v. 24, n. 52, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/46589>. Acesso em: 15 ago. 2022.

MEIRELLES, M.; VASCONCELOS, H. Análise da Série Histórica de Temperatura Observada na Ilha Terceira: 1865-2004. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DO AMBIENTE, 11., 2011, Lisboa. **Anais [...]** Lisboa: ULHT, 2011. p. 3-16. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8002406-Xi-congresso-nacional-de-engenharia-do-ambiente-certificacao-ambiental-e-responsabilizacao-social-nas-organizacoes.html>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MENEZES, S. J. M. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LIMA, C. A.; SOUZA, M. O. A. Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental. **Diversidade e Gestão**, v. 1, n.1, p. 57-69, 2017. Disponível em: http://www.itr.ufrrj.br/diversidadeegestao/wp-content/uploads/2017/07/05-Geotecnologias_Sady_revisado_20_05_17.pdf. Acesso em: 22 jan. 2023.

MILLER, J.G. Living systems: basic concepts. **Behavioral Science**, n. 10, p. 193-237, 1965.

MIRA, Í. R. C.; CARVALHO, D. S.; SOUZA, D. S. L.; SILVA, M. L. 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/rbgfe/article/viewFile/251565/41298>. Acesso em: 17 ago. 2021.

MORIN, E. **O Método: 1**. A natureza da natureza. Publicações Europa-América Lda. 1977.

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 6/7, n.1, p. 167-179, 2004/2005. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4850568>. Acesso em: 22 jan. 2022.

NUNES, H. K. B.; AQUINO, C. M. S. Vulnerabilidade ambiental dos setores censitários às margens do rio Poti no município de Teresina (Piauí). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 1941-1962, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234324/31208>. Acesso em: 1 dez. 2021.

OLIVEIRA, F. G; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lageado,

Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 302-309, jul./set. 2015. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1555>. Acesso em: 27 maio 2022.

PINTO, G. S.; SERVIDONI, L. E.; LENSE, G. H. E.; MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. **Revista do departamento de geografia**, v. 39, p. 62-71, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/160233>. Acesso em: 2 março 2022.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Editus, 2002. p. 17-35. Disponível em: http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf. Acesso em: 9 ago. 2022.

PISSINATI, M. C.; ARCHELA, R. S. Geossistema território e paisagem - método de estudo da paisagem rural sob a ótica Bertrandiana. **Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 1, p. 5-31, jan./jun. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rosely-Archela/publication/279656958_Geossistema_territorio_e_paisagem_-_metodo_de_estudo_da_paisagem_rural_sob_a_otica_bertrandiana/links/55fabf0d08aeafc8ac3ff53c/Geossistema-territorio-e-paisagem-metodo-de-estudo-da-paisagem-rural-sob-a-otica-bertrandiana.pdf. Acesso em: 5 abr. 2022.

RADAMBRASIL. **Folha SF. 21 Campo Grande**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia, 1982.

ROCHA, L. B. O.; MAGRI, R. A. F. Predição da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos-MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 87, p. 153-174, jun./2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/59130>. Acesso em: 20 maio 2022.

RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Cervo-MG. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/11695/8294>. Acesso em: 3 fev. 2021.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Zoneamento Ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Acôgo (MS). **Geoambiente Online**, Jataí, n. 31, p. 212-234, maio/ago. 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/52542/26343>. Acesso em: 29 maio 2021.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222 p. Disponível em: http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/043710J_MIOLO_Geocologia.pdf. Acesso em: 23 jan. 2022.

RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental em bacias hidrográficas. In: SILVA, E. V.; RODRÍGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. A. **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas**. Fortaleza: Edições UFC, 2011. p. 29-47.

Disponível em: <http://www.ppggeografia.ufc.br/images/planejaciast1.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2021.

ROMERO, H.; VINAGRE, J. Topoclimatologia de la Cuenca del rio Mapocho. *Investigaciones Geográficas*, Santiago-CHL, v. 32, 1985, p. 3-30. Disponível em: <https://investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/27689>. Acesso em: 3 fev. 2022.

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O. Vulnerabilidade Natural à Perda de Solos na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. *Revista Georaguaia*, v. 11, n. Esp. Geotecnologias, p. 107-131, 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8128867>. Acesso em: 5 mar. 2022.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, 1996.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1991.

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. Cartografia ambiental: contribuições nos estudos geográficos. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 64/3, p. 389-403, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43800/23064>. Acesso em: 8 fev. 2022.

SANTOS, A. B. C.; CARVALHO, E. M. Análise da vulnerabilidade natural da perda de solos na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho/MS. *GEOFRONTER*, v. 8, p. 01-23, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7040/5011>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, p. 303-312, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yMBw8vCpMVy7s6YcvMJVGXJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 5 maio 2023.

SANTOS, M. F. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada-MG**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IGCM-9UXP66/1/m_rcia_fel_cia.pdf. Acesso em: 1 dez. 2021.

SEABRA, V. S. Geotecnologias e Estudos Ambientais: Conceitos e Aplicações. *Revista Ambientale*, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2009. Disponível em: <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/3/3>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SOARES, S. A. **Gestão de recursos hídricos**. Curitiba: InterSaberes, 2015.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Métodos em Questão, São Paulo: IG-USP, n. 16, 1977.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**, São Paulo, n. 14, 1978.

SOUSA, C. J. da Silva. **Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

SOUZA, D. A. **Zoneamento Ambiental da bacia hidrográfica do Alto São Francisco-MG**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23041/5/ZoneamentoAmbientaBacia.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2021.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ecodinamica.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 5, n. 10, p. 79-89, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2736/273620636007.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2022.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2. ed. São Paulo: RiMa, 2003.

VELOSO, G. A.; LEITE, M. E.; ALMEIDA, M. I. S. Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do Riachão, no Norte de Minas Gerais. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 28, n. 2, p. 165-184, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/228811/23222>. Acesso em: 30 jan. 2023.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E. S.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. C.; ALVES, L. S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco: Embrapa Acre-Documentos, 2003. 29 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/498802>. Acesso em: 14 nov. 2022.

ZAMPRONI, K.; BIONDI, D.; MARIA, T. R. B. C.; BOBROWSKI, R. Características fitossociológicas da arborização viária de Bonito-MS. **REVSBAU**, Curitiba, v. 14, n. 4, p. 13-25, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rogério-Bobrowski/publication/337285642_CHARACTERISTICAS_FITOSSOCIOLOGICAS_DA_ARBORIZACAO_VIARIA_DE_BONITO-MS/links/5dceb11892851c382f3f543e/CARACTERISTICAS-FITOSSOCIOLOGICAS-DA-ARBORIZACAO-VIARIA-DE-BONITO-MS.pdf. Acesso em: 1 dez. 2021.