



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



EDWINA SANTOS DA COSTA

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO VERMELHO-MS**



AQUIDAUANA, MS

2024

EDWINA SANTOS DA COSTA

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO VERMELHO-MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Geografia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia do *Câmpus* de Aquidauana, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite.

AQUIDAUANA, MS

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDWINA SANTOS DA COSTA

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PERDA DE SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO VERMELHO-MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Geografia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia do *Câmpus* de Aquidauana, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite.

Resultado: **APROVADA.**

Aquidauana, 18 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

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

Componente da Banca: Prof. Dr.: Charlei Aparecido da Silva.
Examinador externo: PPGG/UFGD

Componente da Banca: Prof. Dr.: Vitor Matheus Bacani.
Examinador interno: UFMS/CPAQ

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por me permitir chegar até aqui!

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite, que acreditou no meu potencial e confiou no meu trabalho. Agradeço pela atenção dedicada, pelos ensinamentos valiosos e pelos conselhos, tanto para a trajetória acadêmica quanto para a vida. Sua orientação foi fundamental para superar desafios, e agradeço especialmente por ter me incentivado nos momentos em que pensei em desistir. Além disso, destaco a constante disponibilidade, as reuniões produtivas e o incentivo incansável para explorar novas perspectivas. O Prof. Dr. Emerson não apenas guiou meus passos na pesquisa, mas também cultivou em mim o gosto pelo rigor acadêmico e a busca incessante pelo conhecimento. Sua influência positiva vai além do ambiente acadêmico, refletindo-se na minha formação como pesquisadora e profissional.

Expresso meu desejo sincero de que outros estudantes possam contar com a sorte de ter um orientador tão dedicado e inspirador, como eu tive.

Aos professores Dr. Charlei Aparecido da Silva e Dr. Vitor Matheus Bacani, agradeço pela disposição e participação na banca de qualificação e defesa deste trabalho, contribuindo de maneira importantíssima para o enriquecimento dessa pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus Aquidauana, e a todos os professores e colegas de turma pelo ambiente acadêmico propício ao aprendizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha gratidão pela concessão da bolsa de estudo, que viabilizou minha dedicação integral à pesquisa.

Agradeço ao técnico de laboratório Elias Rodrigues da Cunha pela colaboração na análise dos dados e parceria em trabalhos.

Agradeço também à minha mãe, cujo incentivo e crença em minha capacidade tornaram possível a realização deste mestrado.

Ao meu companheiro, Keliton Monson Serpa, agradeço pelo apoio, carinho e compreensão ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço por entender o pouco tempo disponível, por acompanhar meu esforço diário e por me encorajar a persistir nos momentos de exaustão.

Minha gratidão se estende à colega Ana Flávia Gomes Fernandes Fontes, que tem sido um apoio fundamental desde a graduação.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A preservação do solo é tão crucial para a sustentação da vida quanto a água, tornando-se uma tarefa essencial na conservação do meio ambiente. As bacias hidrográficas surgem como unidades ideais para o planejamento ambiental, permitindo diversos estudos, incluindo a análise da erosão do solo. Embora a erosão seja um fenômeno natural, a erosão acelerada do solo tornou-se um desafio ambiental amplamente estudado, com destaque para métodos eficazes. Nesse contexto, a Equação Universal de Perdas de Solos Revisada (EUPSR), um modelo projetado para estimar as perdas médias de solo, destaca-se como uma ferramenta amplamente utilizada. O objetivo desta pesquisa foi analisar a distribuição espacial da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV), situada nos municípios de Aquidauana (63,65%) e Dois Irmãos do Buriti (36,35%) no Estado de Mato Grosso do Sul. Para tanto, realizou-se o levantamento de dados de precipitação (e posterior correção), solos, topografia e uso e manejo da área de estudo, utilizando como suporte de geoprocessamento o *software* QGIS 3.28. Os resultados obtidos revelaram uma variabilidade na erosividade hídrica, variando de 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm/ha h ano, com média de 8.628,75 MJ mm/ha h ano. A erodibilidade do solo foi mais pronunciada nos Neossolos Litólicos, abrangendo cerca de 26,60% da área, com o valor de 0,1129. As variáveis topográficas destacaram a influência direta dos componentes do relevo no processo de erosão, enquanto os fatores de uso e práticas conservacionistas evidenciaram as atividades existentes. No ano de 2000, 38,34% da área era coberta por vegetação nativa, e 60,41% era ocupada por pastagem. Em 2020, a classe vegetação teve uma leve redução de 1,13%, totalizando 37,21%, enquanto a pastagem diminuiu 19,44%, representando aproximadamente 40,96% da área. A silvicultura, presente desde 2003, ocupou cerca de 18,19% da área em 2020. A perda de solo atingiu um valor máximo de 220,01 t/ha/ano. Atualmente, em campo, observou-se expressiva presença da silvicultura, o cultivo de cana-de-açúcar ocupando uma pequena parte da área, além da presença da pecuária, caracterizando as principais atividades existentes na região. Diante da complexidade e da urgência em mitigar a erosão do solo, a análise da distribuição espacial da perda de solo realizada na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho destaca a importância de abordagens integradas, ressaltando a necessidade contínua de monitoramento e implementação de práticas sustentáveis para preservar esse recurso vital para as gerações futuras.

Palavras-chave: Bioma Cerrado. Erosão do solo. Geoprocessamento. Perda de Solo. Método EUPSR.

ABSTRACT

Soil preservation is as crucial to sustaining life as water, making it an essential task in environmental conservation. Watersheds have emerged as ideal units for environmental planning, allowing for various studies, including the analysis of soil erosion. Although erosion is a natural phenomenon, accelerated soil erosion has become a widely studied environmental challenge, with emphasis on effective methods. In this context, the Universal Equation of Soil Losses Revised (EUPSR), a model designed to estimate average soil losses, stands out as a widely used tool. The aim of this research was to analyze the spatial distribution of soil loss in the Ribeirão Vermelho watershed (BHRV), located in the municipalities of Aquidauana (63.65%) and Dois Irmãos do Buriti (36.35%) in the state of Mato Grosso do Sul. To this end, data was collected on rainfall (and subsequent correction), soils, topography and the use and management of the study area, using QGIS 3.28 software as geoprocessing support. The results obtained revealed a variability in water erosivity, ranging from 8,413.65 to 8,773.07 MJ mm/ha h year, with an average of 8,628.75 MJ mm/ha h year. Soil erodibility was most pronounced in the Litholic Neosols, covering around 26.60% of the area, with a value of 0.1129. The topographical variables highlighted the direct influence of the relief components on the erosion process, while the use factors and conservation practices highlighted the existing activities. In 2000, 38.34% of the area was covered by native vegetation, and 60.41% was occupied by pasture. In 2020, the vegetation class saw a slight reduction of 1.13%, totaling 37.21%, while pasture decreased by 19.44%, representing approximately 40.96% of the area. Forestry, present since 2003, occupied around 18.19% of the area in 2020. Soil loss reached a maximum value of 220.01 t/ha/year. Currently, in the field, there was a significant presence of forestry, sugar cane cultivation occupying a small part of the area, as well as the presence of livestock, characterizing the main activities in the region. Given the complexity and urgency of mitigating soil erosion, the analysis of the spatial distribution of soil loss carried out in the Ribeirão Vermelho watershed highlights the importance of integrated approaches, emphasizing the ongoing need for monitoring and implementing sustainable practices to preserve this vital resource for future generations.

Keywords: Cerrado biome. Soil erosion. Geoprocessing. Soil loss. EUPSR method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fluxograma metodológico	30
Figura 2. Localização da área de estudo	33
Figura 3. Divisão política administrativa da área de estudo	35
Figura 4. Localização das Estações pluviométricas	38
Figura 5. Plantação de cana-de-açúcar	45
Figura 6. Primeiro Campo	46
Figura 7. Operação de drone	47
Figura 8. Segundo Campo	48
Figura 9. Distribuição do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho	52
Figura 10. Classes geológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho	54
Figura 11. Unidades geomorfológicas da área de estudo	56
Figura 12. Distribuição dos solos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho	58
Figura 13. Distribuição da Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho	61
Figura 14. Precipitação média anual (mm) de 2000 a 2020	63
Figura 15. Fator R da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho	65
Figura 16. Erosividade média anual da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho	68
Figura 17. Distribuição espacial dos fatores topográficos da BHRV	70
Figura 18. Distribuição espacial dos fatores C e P da BHRV	72
Figura 29. Distribuição espacial da perda de solo	74
Figura 20. Distribuição espacial do uso e cobertura da terra do ano de 2000 na BHRV	76
Figura 21. Distribuição espacial do uso e cobertura da terra do ano de 2020 na BHRV	78
Figura 22. Gráfico comparativo de Uso e Cobertura da Terra de 2000 e 2020 da BHRV	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Série histórica (2000 a 2020), estação Fazenda Lajeado (Código 2055003).	39
Tabela 2. Fator K	41
Tabela 3. Fator C e P	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estações pluviométricas utilizadas para correção de falhas	39
Quadro 2. Classes de declividade e descrição	51
Quadro 3. Fator K	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Formação do solo e a erosão.....	16
3.2 Bacia hidrográfica como unidade de pesquisa	21
3.3 Geoprocessamento aplicado à análise de perdas de solo.....	25
3.4 Equação Universal da Perda de Solo	27
4. MATERIAL E MÉTODO.....	30
4.1 Procedimento metodológico	30
4.2 Área de estudo	31
4.3 Aplicação da EUPSR.....	36
4.3.1 Fator R – Erosividade da chuva.....	37
4.3.2 Fator K – Erodibilidade do solo	41
4.3.3 Fator LS - Topográfico	41
4.3.4 Fator C – Uso e cobertura da terra.....	43
4.3.5 Fator P – Práticas conservacionistas.....	44
4.4 Trabalho de Campo	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 Caracterização dos aspectos Socioeconômicos, Físicos e Ambientais.....	50
5.1.1 Aspectos socioeconômicos.....	50
5.1.2 Declividade.....	51
5.1.3 Geologia.....	53
5.1.4 Unidades Geomorfológicas	55
5.1.5 Solos	57
5.1.6 Vegetação	59
5.2 Análise dos fatores que compõem a EUPSR (R, K, LS, C e P).	62
5.2.1 Erosividade hídrica (Fator R)	62
5.2.3 Erodibilidade do solo (Fator K).....	67

5.2.4 Fator Topográfico LS (L é o comprimento de rampa ou vertente, S é a declividade média da rampa ou vertente)	69
5.2.5 Uso e Manejo (Fator C) Práticas conservacionistas (Fator P).....	70
5.3 Avaliação da perda de solo	73
5.4 Análise da mudança de uso e ocupação da terra em 2000 e 2020	75
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
7. REFERÊNCIAS	83
8. Anexo - A	91

1. INTRODUÇÃO

O solo desempenha um papel fundamental no ecossistema terrestre, sendo reconhecido como um componente vital e complexo no âmbito da pesquisa científica. Assim, a investigação dedicada à erosão do solo é de suma importância, uma vez que proporciona o entendimento sobre a dinâmica do solo, e também contribui significativamente para a formulação de práticas sustentáveis de manejo do solo e preservação dos recursos naturais.

De acordo com Lepsh (2002), a função primordial do solo está ligada ao desenvolvimento da produção de alimentos, provenientes do cultivo de plantas, emergindo como a base essencial de qualquer nação, pois sua preservação está intrinsecamente vinculada à produção alimentar. Além disso, o solo compõe os campos, cerrados e florestas, e também desempenha um papel fundamental ao suportar a água das chuvas que afloram formando as nascentes.

Quando abordamos a conservação do solo, a erosão emerge como um problema central nessa discussão. Sendo importante destacar que os processos erosivos desencadeados pelas chuvas, apresentam maior intensidade em regiões de clima tropical. Nessas áreas, os totais pluviométricos são consideravelmente mais elevados em comparação com outras regiões (Guerra, 2007). O que ressalta a necessidade de uma abordagem cuidadosa para a gestão e prevenção da erosão nessas condições climáticas específicas.

Do ponto de vista da erosão, tais processos causados pelas águas das chuvas no solo têm início com a erosão laminar, podendo evoluir para outros estágios da erosão como, por exemplo, sulcos, ravinas e voçorocas. Tendo como consequência, o assoreamento dos rios e perda da camada fértil do solo, importante para o desenvolvimento das plantas. Sendo assim, solos desprotegidos, sem cobertura vegetal, tendem a sofrer mais os processos erosivos (Silva, 2001).

A erosão laminar é considerada como um dos principais problemas ambientais ocorrentes em uma bacia hidrográfica com constantes ações antrópicas como urbanização e atividades agrícolas (Baptista, 1997). Neste sentido, a perda de solo é fator importante a ser considerado no âmbito do Planejamento Ambiental, e sua análise pode auxiliar o uso e ocupação de uma determinada área.

Em uma bacia hidrográfica a erosão varia entre as áreas mais altas e mais baixa da bacia, geralmente ocorrendo de cima para baixo, depositando os sedimentos erodidos nas áreas mais planas onde a energia do fluxo diminui (Taveiro, 2018).

Na dinâmica de uma bacia hidrográfica, a erosão apresenta variações ao longo das áreas mais altas e mais baixas, seguindo geralmente de montante a jusante. Esse processo resulta no depósito dos sedimentos erodidos em regiões mais planas, onde a energia do fluxo diminui (Taveiro, 2018). Essa descrição ressalta a importância de compreender o padrão da erosão em diferentes partes da bacia, fornecendo conhecimentos cruciais para o manejo e a conservação eficazes dos recursos hídricos.

Neste contexto, estudos que tem como propostas avaliar os processos erosivos são de suma importância para a preservação dos recursos naturais do planeta Terra e se enquadram no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS 15 estabelecido pela ONU (2015). O ODS 15 corresponde a Vida Terrestre e tem como principal característica a proteção, recuperação e viabilização do uso sustentável, promovendo a recuperação e/ou reversão sustentável das florestas, possibilitando o combate à desertificação, a degradação da terra e a perda da biodiversidade (IBGE, 2022). Dentro desse escopo, a proposta de avaliar os processos erosivos contribui diretamente para a realização desse objetivo. Dessa forma, a proposta de estudo sobre perda de solo não apenas aborda uma questão ambiental crucial, mas também se alinha com objetivos globais de sustentabilidade, contribuindo para a promoção de práticas que visam garantir a vida terrestre de maneira equilibrada e duradoura.

Portanto, espera-se que a presente proposta de pesquisa possa servir de auxílio para melhores tomadas de decisões, na elaboração de políticas públicas, no que diz respeito ao meio ambiente e as comunidades locais. E para reforçar isso, cabe aqui destacar os estudos realizados por Ferreira (2016, p. 71) cujos resultados apontaram que a bacia do Ribeirão Vermelho tem atividade predominante de pecuária e silviculturas. Importa mencionar também que “a silvicultura começa a ocupar grande área da bacia hidrográfica, podendo provocar consequências danosas ao solo, como a desertificação das áreas plantadas, empobrecimento do solo, redução da biodiversidade e desmatamento” (Ferreira, 2016, p. 17).

Diante do exposto, a questão central desta pesquisa de mestrado em Geografia, se fundamenta no seguinte questionamento: “Os tipos de uso e cobertura da terra advindos das múltiplas atividades econômicas têm contribuído para intensificação da perda de solo na bacia?”. Tendo como hipótese inicial que as atividades agropecuárias desenvolvidas nas propriedades contribuem para a perda de solo, acelerando os processos erosivos!

A erosão é um problema ambiental que vem sendo estudado há bastante tempo, possibilitando a elaboração de estratégias de conservação do solo, prevenção e combate a erosão (Guerra; Botelho, 2006). Atualmente a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO, 2021, p.1) aponta que “cerca de 33%

do solo ao nível global está moderado ou altamente degradado”. Cabe destacar que, cerca de 95% da produção de alimentos depende do solo e a erosão é apontada como a maior ameaça da degradação, que pode levar a perda de 10% na produção agrícola e a remoção de 75 bilhões de toneladas de solo até 2050 (FAO, 2022).

Fica evidente que analisar a perda de solo é de suma importância para a manutenção da vida na terra e o valor do solo está principalmente relacionado com a produção de alimentos, que depende da sua qualidade para o seu desenvolvimento. Deste modo, justifica-se a importância de trabalhos relacionados a estudos do solo que possibilitem evidenciar áreas que sofrem com maior influência dos processos erosivos, para que, desta forma, possam ser tomadas medidas corretivas e preventivas.

Para isso, serão analisadas as características naturais e antrópicas existentes na área que colaboram para a perda de solo, podendo concluir ou não a afirmativa, além de evidenciar práticas existentes e estimar a perda de solo da bacia hidrográfica estudada.

Portanto, o que se objetiva com esta proposta de pesquisa é analisar a distribuição espacial da perda de solo a partir da caracterização da área de estudo e aplicação do modelo da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (EUPSR), com suporte das técnicas de geoprocessamento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a distribuição espacial da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar os aspectos físicos, ambientais e sociais.
- II. Aplicar e analisar os fatores que compõem a EUPSR por meio de técnicas de geoprocessamento (R, K, LS, C e P).
- III. Analisar a mudança de uso e ocupação da terra em 2000 e 2020.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Formação do solo e a erosão

O solo é a camada superficial da crosta terrestre, formada por partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos. Ele é fundamental para a vida na Terra, pois sustenta as plantas, animais e micro-organismos que dele dependem para se alimentar e se reproduzir. Além disso, o solo é um recurso natural que pode ser usado para diversas atividades humanas, como agricultura, pecuária, construção civil, mineração e paisagismo. O solo também tem um papel importante na regulação do clima, no armazenamento de água e na proteção contra a erosão. A Embrapa (2022) destaca que a relação do solo com a vida é direta e abrangente, deste modo a má conservação e o manejo inadequado provoca desequilíbrios que afetam diretamente a qualidade da água e do ar.

O solo desempenha um papel crucial na vida do planeta Terra e, conforme destacado por Silva (2014, p.12), pode ser considerado como “um sistema vital no que diz respeito à sobrevivência e evolução das espécies vegetais e animais”. De maneira simplificada, o solo representa a superfície terrestre onde o ser humano habita e realiza suas atividades, frequentemente referida como chão.

Para definir o solo devemos considerar a sua complexidade e a sua utilização. Para a engenharia, por exemplo, é considerado o material em que serão fixadas uma construção e para a hidrologia é um meio em que se armazena água subterrânea (Lamana, 2013). Na agricultura, o solo é entendido como uma camada superficial da terra que fornece condições apropriadas para o desenvolvimento do cultivo. E na geologia o solo é visto como a sucessão de camadas orgânicas e minerais basicamente formado por limo, argila e areia (Silva, 2014).

Palmieri e Larach (2004, p.66) descrevem a composição do solo como:

formado por um conjunto de corpos naturais tridimensionais, resultante da ação integrada do clima e organismos sobre o material de origem, condicionado pelo relevo em diferentes períodos de tempo, o qual apresenta características que constituem a expressão dos processos e dos mecanismos dominantes na sua formação.

A formação inicial do solo provém do processo de intemperismo, que pode ser de origem física, química ou biológica. Esses processos intempéricos e sua intensidade vão depender da rocha de origem e das ações de agentes (pressão, temperatura e umidade), que por sua vez, podem favorecer um ou outro tipo de formação do solo (Lepsch, 2002). As rochas

sofrem o processo de intemperismo nos quais os produtos friáveis e móveis dão origem ao solo no processo de reorganização estrutural chamado de pedogênese (Lamana, 2013).

A formação do solo é o “resultado de um processo dinâmico e ininterrupto, um processo contínuo e de certa forma cíclico” (Silva, 2014, p.23) que se dá ao longo de muitos anos, sendo necessário cerca de 400 anos para a formação de apenas 1 cm (Embrapa, 2023).

O intemperismo é o estágio inicial da formação do solo, que inicialmente forma o regolito e posteriormente o solo, que nada mais é do que o material superficial intemperizado em avançado estado de alteração e lixiviação (Branco, 2014).

Nesse contexto, entende-se que os solos são naturalmente constituídos por “uma fina camada de material que recobre a superfície terrestre” advinda “da desagregação de partículas de rochas, chamada de intemperismo, podendo ser de ordem física, química e/ou biológico” (Silva; Luchiari, 2016, p. 16).

O intemperismo físico consiste basicamente, segundo Branco (2014, p.1) “na desagregação da rocha, com separação dos grãos minerais que a compõem e fragmentação da massa rochosa original. As variações de temperatura dilatam e contraem o maciço rochoso, gerando fissuras que com o tempo vão se alargando”. Esse tipo de intemperismo pode ser mais bem percebido em ambientes áridos que se caracterizam pela pouca presença de água e alteração brusca de temperatura (Silva, 2014).

O intemperismo químico ocorre principalmente pela ação da água, tendo sua intensidade relacionada ao aumento de temperatura. Sendo assim, ambientes úmidos e quentes têm maior intensidade de decomposição química dos componentes das rochas na formação dos solos. Aos poucos os solos são formados pela ação conjunta, mas não uniforme, dos fenômenos físicos, químicos e biológicos, formando as camadas chamadas horizontes (Lepsch, 2002).

Segundo Branco (2014) o intemperismo biológico ocorre em menor proporção do que os outros, ocorrendo através da ação de bactérias que decompõem materiais orgânicos, produzindo os solos mais férteis.

A estrutura de um solo é composta por várias camadas horizontais identificadas e diferenciadas entre si por sua cor, textura e composição que caracterizam o chamado perfil de solo resultantes da ação conjunta dos fatores e processos de formação (Palmieri; Larach, 2004, Lima; Melo, 2007, Lamana, 2013).

Os perfis do solo são compostos por uma sucessão vertical de camadas horizontais designadas como horizontes O, A, B, C e D ou R, descritas como: horizonte O, camada superficial composta geralmente por resíduos orgânicos; horizonte A, mistura de material orgânico com alta atividade biológica; horizonte B, grande concentração de argila, ferro e

alumínio, horizonte C, estágio do intemperismo da rocha e horizonte D ou R caracterizado pela rocha matriz não alterada (Lima; Melo, 2007, Lamana, 2013).

A camada mais superficial do solo é a que primeiro sofre desgaste pelo processo da erosão. A erosão é um processo natural que representa um dos principais aspectos do solo descrito pelo “processo de desagregação e remoção das partículas sólidas do solo” (Silva, 2014, p.23). O conhecimento sobre o desgaste pela erosão é um instrumento fundamental para o planejamento conservacionista indicando maiores ou menores áreas afetadas pela erosão, além do grau de redução da capacidade produtiva, possibilitando a indicação de práticas conservacionistas adequadas a área (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

O relatório da FAO (2021) aponta que “cerca de 33% do solo ao nível global está moderado ou altamente degradado” e mudar essa situação é vital. São cerca de 95% da produção de alimentos que depende do solo e a erosão acelerada é apontada como a maior ameaça da degradação, podendo levar a perda de 10% na produção agrícola e a remoção de 75 bilhões de toneladas de solo até 2050 (FAO, 2022).

A erosão do solo emerge como uma questão que impacta diretamente a qualidade e produtividade das terras agrícolas, provocando, adicionalmente, danos ambientais e sociais. Embora seja um processo natural no solo, as ações humanas podem acentuar significativamente esse fenômeno.

A erosão é definida como um “processo de perda de volume de solo caracterizado pelo desprendimento, transporte e deposição das partículas constituintes, causado pela ação geológica, pela ação física dos ventos e pela ação físico-química da água” (Baptista, 1997, p. 57). Em uma bacia hidrográfica, a erosão é mais prevalente nas vertentes, especialmente ao longo das margens dos rios, ou seja, nos canais de drenagem da bacia. Além disso, ela também ocorre em outras áreas da bacia, como em propriedades rurais com terrenos menos declivosos, onde são realizadas atividades pecuárias ou agrícolas.

Thomaz (2019, p.38) define a erosão como “o destacamento de partículas do solo, transporte e a deposição”, nos quais os processos condicionantes dependem de condições hidráulicas específicas. A erosão é um processo em que ocorre a degradação, o desgaste, a decomposição, o transporte e a sedimentação do solo (Stein, 2017).

O processo natural da erosão condiciona o desenvolvimento e formação dos solos, mas quando modificado pelas ações antrópicas, diferente do processo natural, podem prejudicar essa formação e conservação, conseqüentemente, modificando a dinâmica natural (Santos Neto, 2017).

Partindo desse pressuposto, à medida que terras são desmatadas para a exploração humana, deixando o solo desprotegido da cobertura vegetal, o impacto da gota de chuva causa o desprendimento das partículas do solo a partir da ação *splash* (erosão por salpicamento), que é considerado o estágio inicial do processo erosivo (Guerra, 2007).

O papel do *splash* é descrito por Guerra (2007, p. 18) como variando “não só com a resistência do solo ao impacto das gotas de água, mas também com a própria energia cinética das gotas de chuva. Dependendo da energia impactada sobre o solo, vai ocorrer, com maior ou com menor facilidade, a ruptura dos agregados, formando as crostas que provocam a selagem do solo”.

Nas bacias hidrográficas a erosão ocorre, principalmente, nas vertentes, ou seja, nas inclinações adjacentes responsáveis pelo escoamento superficial da água para os canais de drenagem. Stevaux e Latrubesse (2017, p. 12) afirmam que:

No início do escoamento, devido à própria característica do fluxo, a erosão ocorre de forma laminar. A erosão laminar é produto da ação integrada de dois processos diferentes: o efeito mecânico do impacto dos pingos de chuva e o escoamento laminar superficial. A inclinação e a distância da vertente que a água é submetida a percorrer controlarão o predomínio de um ou de outro processo na erosão do solo.

Salomão (2007, p. 231) destaca que “com a degradação dos processos erosivos, em função da ocupação do solo, as perdas de solo por erosão laminar são comandadas por diversos fatores relacionados às condições naturais dos terrenos, destacando-se a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solo”.

A cobertura vegetal tem grande efeito sob a proteção do solo, podendo impedir a erosão acelerada, “na medida em que protege o solo reduzindo o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial sobre este” (Paim, 2012, p. 18). Sendo assim, podemos considerar a cobertura vegetal um indicador ambiental, conforme ressaltam Back *et al.*, (2019, p. 22):

Na análise da paisagem, a vegetação que dá vestidura à terra é considerada um indicador das condições ambientais de uma bacia hidrográfica, pois protege o solo, reduz o transporte de sedimentos e o assoreamento dos recursos hídricos, além de servir de habitat para animais silvestres, constituído para a manutenção da diversidade biológica.

Paim (2012, p. 18) salienta que “a ocupação adequada do solo deve ser feita de acordo com a capacidade de uso e manejo, sendo que o uso de práticas de conservação auxilia no controle de perda de solo reduzindo a pressão exercida pelos fatores erosivos”. O uso indevido do solo “pode contribuir para sua degradação, com resultados nefastos à economia e à qualidade

de vida do seu povo, podendo inclusive comprometer o desenvolvimento sustentável” (Silva, 2001, p. 1).

Em síntese, Jorge e Guerra (2013, p. 10) destacam os problemas resultantes da erosão como:

[...] remoção dos nutrientes existentes no topo dos solos; redução da penetração das raízes e do armazenamento de água; diminuição das áreas a serem utilizadas para agricultura e pecuária; aumento do assoreamento de rios, lagos, reservatórios e açudes, levando muitas vezes a grandes enchentes em várias partes do mundo; poluição de corpos líquidos, em especial pelo transporte de defensivos agrícolas, junto com os sedimentos erodidos.

Silva (2007, p. 101) ressalta que “os problemas advindos do uso irracional do solo, seja ele urbano ou rural” além do “aumento da população mundial e a crescente demanda por alimentos levam cientistas a buscar soluções para um uso mais eficiente do solo” visando maiores produções e menores perdas de solo por erosão. Dentre os tipos de erosão, Baptista (1997) ressalta a erosão hídrica subdividida em laminar, sulcos ou ravinas e voçorocas, considerando a erosão laminar como um dos principais problemas ambientais na perda de solo por erosão.

Segundo Cunha e Guerra (2004, p.260) “a ocupação desordenada do solo em bacias hidrográficas, com rápida mudança decorrentes das políticas e dos incentivos governamentais, agrava seus desequilíbrios. Dentre as atividades que causam degradação podem ser citadas as práticas agrícolas, desmatamento, mineração, superpastoreio e urbanização”.

A prática agrícola rompe o equilíbrio natural da erosão, pois a maior parte dos cultivos requerem a retirada da cobertura vegetal, que sem os cuidados adequados, podem remover os horizontes superficiais do solo, promovendo o aceleração da erosão. A erosão acelerada, além de causar a perda de solo, agrava a questão da poluição dos corpos hídricos por meio do arraste dos solos, adubos e agrotóxicos, que consequentemente alteram a microflora aquática, prejudicando a qualidade de vida dos peixes e outros animais aquáticos (Lepsch, 2002).

Hendges *et al.* (2021, p. 4) destaca que “o uso e ocupação do solo é um fator considerável na influência dos processos ecológicos e hidrológicos nas bacias hidrográficas, isso porque pode acarretar em inundações, poluição dos solos e da água, erosão e demais efeitos negativos sobre o solo e os recursos hídricos”. Portanto, a implementação de estratégias de planejamento e gestão sustentáveis se torna imperativa para mitigar esses efeitos negativos e promover a preservação ambiental a longo prazo.

3.2 Bacia hidrográfica como unidade de pesquisa

Segundo Martins e Freitas (2014, p. 42), “as bacias hidrográficas permitem, por meio da diferenciação de paisagens, entrelaçar os fatores físicos e químicos, bem como os agentes naturais presentes na sua dinâmica com a ação do homem” uma análise que demonstra o estado de degradação na área e suas imediações, remetendo-se a perspectiva sistêmica, pois requer uma análise que considere ter o conhecimento do todo.

As bacias hidrográficas apresentam características distintas que demandam uma avaliação cuidadosa para um planejamento eficaz. Conforme destaca Philippi Jr. *et al.* (2019, p. 3), “a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos estabelecidos na legislação, especialmente o planejamento de bacias, é fundamental para contribuir com a busca por um desenvolvimento mais sustentável”.

De modo geral, os recursos hídricos sempre foram vistos como fonte de valor econômico e essencial à vida, no qual por muito tempo acreditava-se que a água potável nunca pudesse faltar, devido a sua abundância distribuída pelo planeta, que, no entanto, é desigual e somado com as atividades antrópicas que impactam o meio ambiente diversos locais passam por escassez de água ou apresentam distúrbios em sua quantidade e qualidade (Kobiyama, 2008).

Nos últimos anos a preocupação a respeito dos recursos hídricos tem aumentado, em razão do aumento dos problemas ocasionados pela ação humana nos processos que causam deterioração dos recursos naturais. Pelo fato de tais recursos estarem ligados a impactos ambientais, como a ocupação do solo indevida, uso indiscriminado da água, desmatamento de mata ciliar, dentre outras degradações que contribuem para o desaparecimento dos rios e lagos (Araújo *et al.*, 2009).

Os rios são correntes de águas que fluem em ramificações conectadas formando as bacias hidrográficas que conforme Kobioma (2008) são áreas geográficas, que compreendem todas as nascentes de um rio principal e de seus rios afluentes, juntamente com as áreas ao redor desses rios, possuindo desta forma caráter integrador. Cunha e Guerra (2004) pontuam que:

Pelo caráter integrador, a bacia hidrográfica pode ser considerada excelente unidade de gestão dos elementos naturais e sociais. Nesta óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza como erosão dos solos, movimentos de massa e enchentes, cujos processos devem ser acompanhados por monitoramento que levem à compreensão de uma natureza integradora (Cunha; Guerra, 2004, p.376).

A bacia hidrográfica está diretamente relacionada com o rio (Taveira, 2018). Deste modo, podemos considerar a bacia hidrográfica um elemento fundamental para análise do ciclo hidrológico, envolvendo, principalmente, a infiltração e o escoamento superficial em sua fase terrestre, entendendo-se a definição de bacia hidrográfica como área limitada por divisores de água que separam as bacias através da superfície vertente (Araújo *et al.*, 2009).

Segundo a Lei das Águas, n.º 9433/97, a bacia hidrográfica é uma “unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Que é vista de forma ideal como área de planejamento e atuação dos órgãos competentes a sua proteção.

Christofoletti (1980, p. 3) define a bacia hidrográfica como “um sistema geomorfológico aberto que está constantemente realizando trocas de energia e matéria entre os elementos climáticos dominantes e a estrutura em que se dá o escoamento, resultando em equilíbrio dinâmico”. Vale ressaltar que este equilíbrio dinâmico é suscetível a alterações significativas por meio de atividades antrópicas, especialmente quando tais ações negligenciam as características intrínsecas da bacia e sua capacidade de suporte.

Costa (2020, p. 10) ressalta que “a bacia hidrográfica, tem sido adotada como unidade de análise ambiental, uma vez que, os processos naturais são vistos de maneira sistêmica”, devido a bacia hidrográfica ser formada a partir de vários elementos que se conectam, conforme descrito por Finkler (2004, p. 29) em que:

A precipitação pluvial representa as entradas de água na bacia hidrográfica. O relevo, solo, vegetação e até mesmo o homem são elementos que compõem a bacia, definindo sua paisagem como única. As saídas são representadas pelo deflúvio, pela evapotranspiração, pela evaporação direta dos corpos d’água, pelos processos erosivos e o carreamento de sedimentos levado pelos rios.

Em síntese, as bacias hidrográficas são áreas de captação natural de água da chuva que consideram todos os processos da rede fluvial, drenando as águas captadas de forma superficial ou subterrânea, convergindo para um ponto de saída em comum (Rocha, 2001; Finkler, 2004; Rodrigues; Adami, 2005; Back, 2014). Nessa perspectiva, nota-se que a bacia naturalmente é dinâmica e caracteriza-se pelos elementos adjacentes, sofrendo influências e influenciando seus componentes, constantemente.

Santos (2004) aponta que o conceito de bacia hidrográfica está associado:

[...] à noção de sistema, nascente, divisores de água, curso de águas hierarquizadas e foz. Toda ocorrência de eventos de uma bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica desse sistema, na quantidade dos cursos de água e sua qualidade. A medida de algumas de suas variáveis permite interpretar, pelo menos parcialmente, a soma de eventos. Essa é uma das peculiaridades que induz os planejadores a escolher a bacia

hidrográfica como uma unidade de gestão. Consequentemente, é muito comum constatar que o banco de dados do planejamento está estruturado em função dessas unidades. Somado a isso, não há dúvida de que é essencial a proteção à água, por sua condição de elemento fundamental para a vida e para as atividades humanas (Santos, 2004, p. 85-86).

As bacias hidrográficas constituem uma unidade espacial que serve de base para o planejamento ambiental em diversas escalas de abordagem (Araújo, 2009). Os planejamentos em bacias hidrográficas visam direcionar os melhores usos da bacia, respeitando sua capacidade oriunda das suas características particulares. Associado à noção de sistema, as bacias hidrográficas devem ser analisadas de forma conjunta, unindo aspectos físicos e ambientais aos aspectos antrópicos.

Nessa perspectiva fica evidente que as bacias hidrográficas são bens imprescindíveis para as nossas vidas, e a degradação ambiental decorrente da falta de comprometimento ambiental e da inadequação das políticas públicas geram profundas vulnerabilidades ambientais que muitas vezes não podem ser recuperadas. A recuperação de áreas afetadas é uma alternativa, mas se não forem adequadas ao tempo necessário que a natureza necessita, o grande perdedor da história será a própria humanidade (Araújo *et al.*, 2009).

Para Santos (2022, p.16) “a bacia hidrográfica é utilizada para entender o sistema integrado na paisagem, assim, pode-se observar os aspectos naturais e antrópicos, sendo que suas interações vão demonstrar como está o meio em detrimento a esse recorte espacial”. Deste modo, podemos entender que a bacia hidrográfica vai muito além da água que a compõem, considerando também as áreas adjacentes que caracterizam a sua formação e formam as paisagens com seus diversos elementos dinâmicos. Analisar uma bacia é destacar um recorte para um maior aprofundamento do estudo, possibilitando uma análise mais rigorosa e direcionada ao local pesquisado.

Para a conservação dos recursos naturais, o conceito de bacia hidrográfica, segundo Pires *et al.*, (2002, p. 21) “está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, determinando as melhores formas de aproveitamento dos mesmos, com o mínimo impacto ambiental”. Para tanto, existem diversos métodos e técnicas que podem ser aplicados para essa avaliação capaz de indicar o uso mais sustentável, apontando áreas que merecem maior atenção e/ou recuperação.

O plano de conservação do solo e da água representa um exemplo de planejamento ambiental, como destacado por Bertoni e Lombardi Neto (2017), que afirmam que tal plano demanda uma compreensão aprofundada das interações entre os elementos que ocasionam a

perda de solo e água, bem como das práticas capazes de mitigar essas perdas. Este enfoque estratégico visa não apenas identificar os fatores responsáveis pelos impactos, mas também implementar medidas eficazes para preservar a integridade desses recursos naturais fundamentais.

Iniciativas direcionadas para a utilização consciente e gestão responsável dos recursos naturais, especialmente do solo, da água e da biodiversidade, têm como objetivo primordial fomentar a prática de uma agricultura sustentável. Essas abordagens não apenas buscam incrementar a oferta de alimentos, mas também almejam aprimorar os níveis de emprego e renda nas comunidades rurais. Ao adotar práticas agrícolas que respeitam os limites dos ecossistemas, promove-se um equilíbrio entre a produção agrícola e a preservação ambiental, contribuindo para um desenvolvimento rural sustentável e resiliente (BRASI, 2017)

Em relação à questão da erosão, Guerra e Botelho (2006) ressaltam que, à medida que os estudos nesse campo avançam, a problemática da erosão torna-se cada vez mais visível. Paralelamente, observa-se o surgimento constante de tecnologias destinadas à prevenção e combate da erosão, refletindo a crescente conscientização e esforços para lidar com essa preocupante questão ambiental.

Cabe frisar que “o avanço de técnicas que empregam o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, bem como a integração desses dados, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), também tem possibilitado um grande avanço nos estudos que envolvem os processos erosivos” (Guerra; Botelho, 2006). Além disso, essas ferramentas permitem uma análise temporal, o que facilita e conduz o acompanhamento das alterações da paisagem.

Analizando a bacia hidrográfica pelo viés da paisagem, conforme proposto por Souza (2020, p. 48), que define a paisagem como “forma” e “aparência”, destaca-se a necessidade constante de “interpretá-la ou decodificá-la à luz das relações entre as formas e conteúdo, aparência e essência”. Essa visão ampla reconhece que a paisagem transcende o aspecto meramente visual, carregando consigo significados e processos que demandam compreensão. A interpretação e decodificação, segundo Souza (2020), emergem como ferramentas valiosas para revelar as camadas mais profundas da paisagem, revelando suas dinâmicas, interconexões e influências.

Nesse contexto, o geoprocessamento se apresenta como uma ferramenta valiosa, permitindo a caracterização da paisagem procurando interpretar e/ou decodificá-la. Isso alinha-se à busca pela “adoção de técnicas do Geoprocessamento, como elo entre a teoria e o método

geográfico” (Leite, 2011, p. 19), proporcionando uma abordagem mais aprofundada e contextualizada na compreensão da complexidade da paisagem na bacia hidrográfica.

3.3 Geoprocessamento aplicado à análise de perdas de solo

É necessário pensar o geoprocessamento de forma abrangente e integrada, sendo possível defini-lo como “um conjunto de técnicas para coleta, armazenamento, tratamento e análise e para uso integrado” (Leonard, 2020, p.9). De uma forma mais ampla, representa a área do conhecimento que se vale da interação entre técnicas matemático-estatísticas e computacionais, proporcionadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para abordar os processos que se desenrolam no espaço geográfico (Lourenço *et al.*, 2012). Essa visão holística do geoprocessamento sublinha não apenas suas capacidades técnicas, mas também sua aplicação na compreensão e análise aprofundadas dos fenômenos espaciais, consolidando-se como uma ferramenta essencial na gestão e interpretação do espaço geográfico.

Cubas e Taveira (2020, p.41) destacam que “os SIGs possibilitam a união de informações de temas variados e que associados à informação de localização, permitem a realização de uma análise espacial qualitativa e quantitativa dos dados para diferentes objetivos”. Neste sentido, os SIGs podem ser considerados ferramentas poderosas e capaz de realizar diversos tipos de análises espaciais utilizando técnicas de geoprocessamento, buscando realizar, de forma geral, segundo Fitz, (2008, p.51) “o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, ou seja, de informações espaciais localizadas”.

A observação de Cubas e Taveira (2020) ressalta a importância central do geoprocessamento nos processos de análise espacial. Nesse contexto, o geoprocessamento atua como uma ferramenta essencial que não apenas permite a manipulação e análise de dados geoespaciais, mas também desempenha um papel fundamental na construção e interpretação da geoinformação. Assim, a presença do geoprocessamento no cerne da análise espacial destaca seu papel como uma ferramenta essencial na compreensão e interpretação do mundo ao nosso redor.

O geoprocessamento é conceituado, de acordo com Baptista e Eid (1998, p. 58), como “um conjunto de ciências e técnicas que se mesclam e se concatenam”, sendo o suporte tecnológico voltado para aprimorar a gestão do espaço. Nesse contexto, as aplicações do geoprocessamento revelam-se amplas, proporcionando uma base tecnológica que permite uma análise técnica e científica da paisagem. Os resultados obtidos desse processo não apenas oferecem conhecimentos valiosos, mas também orientam de maneira consistente os usos e

ocupações humanas do ambiente, promovendo abordagens mais coerentes e sustentáveis, conforme ressaltado por Leite (2011).

A utilização do geoprocessamento é vasta, abrangendo uma variedade de setores, incluindo “instituições de ensino e organizações públicas ou privadas, como ministérios, órgãos e agências reguladoras, prefeituras de municípios, empresas de engenharia e consultoria e profissionais liberais” (Cubas; Taveira, 2020, p.34). Instituições de ensino podem empregar o geoprocessamento em pesquisas e análises espaciais, enquanto órgãos públicos e privados o utilizam para planejamento urbano, gestão ambiental, monitoramento de recursos naturais, entre outros. Prefeituras encontram no geoprocessamento uma ferramenta valiosa para o ordenamento territorial e o desenvolvimento sustentável de municípios. Empresas de engenharia e consultoria, assim como profissionais liberais, podem beneficiar-se da capacidade analítica e interpretativa do geoprocessamento para oferecer soluções mais eficientes e embasadas em dados espaciais.

O geoprocessamento desempenha um papel significativo na avaliação do impacto da erosão do solo, permitindo estimativas através de modelos matemáticos que consideram variáveis essenciais, como clima, relevo, cobertura vegetal, tipo de solo e práticas de manejo. Nesse contexto, o geoprocessamento simplifica a obtenção e integração desses dados, além de facilitar a visualização e interpretação dos resultados, proporcionando uma abordagem mais abrangente e eficaz na compreensão e gestão dos impactos erosivos sobre o solo.

O estudo da erosão laminar associado às técnicas de geoprocessamento permitem análise especializada das degradações, o que facilita a adoção de medidas pontuais na contenção e prevenção à perda de solo, fornecendo subsídio ao planejamento ambiental (Baptista, 1997). Para além disso, Leite (2011) ressaltava que, a aplicação do geoprocessamento e suas tecnologias têm importante papel no auxílio à interpretação da paisagem, podendo exercer uma visão integrada, destacando ainda que:

As técnicas de análise propostas pelo Geoprocessamento através de um amplo leque de novas geotecnologias – imagens de satélite, receptores GPS, *softwares* –, nos auxiliam no entendimento da paisagem a partir da composição de um banco de dados geográficos georreferenciados, nos possibilitando identificar, mensurar e qualificar os elementos que constituem a paisagem. Proporcionam agilidade na análise, quando comparado com técnicas tradicionais da cartografia, e uma acurácia melhor na análise e nos mapas (Leite, 2011, p. 199).

O geoprocessamento tem sido amplamente utilizado para realizar diversas análises, concentrando-se em apresentar a situação em locais específicos. Em estudos de bacias

hidrográficas, é possível observar uma variedade de aplicações, desde simples localizações até previsões de cenários futuros.

Em análise a perda de solo realizada por Baptista (1997), no qual, inclusive, foi inspiração dessa pesquisa, o autor utiliza o geoprocessamento na aplicação do modelo USLE, modelo precedente ao EUPSR (RUSLE, sigla em Inglês), como forma de zonear e diagnosticar qualitativamente a severidade dos impactos ambientais ocasionados pela perda de solo por erosão laminar, destacando ainda a necessidade de refinamento da metodologia utilizada.

Outro exemplo de aplicação de geoprocessamento em análise a perda de solo é o de Cunha (2015) no qual “a aplicação do modelo RUSLE a partir de técnicas de geoprocessamento se apresentam eficaz no cálculo de estimativa de perda de solo em bacias hidrográficas” tendo em vista a satisfatoriedade dos resultados obtidos em seu trabalho o autor ainda salientando o subsídio fornecido pelos resultados para a elaboração estratégias de controle a erosão. O EUPSR (RUSLE, sigla em Inglês), é amplamente utilizado em estudos de planejamento ambiental e agrícola, pois fornece informações sobre o potencial de degradação do solo e as medidas necessárias para sua conservação.

Cunha, Bacani e Panachuki (2016) enfatizam a importância de estratégias adaptadas às características específicas de cada local na análise da perda de solo. Este destaque ressalta não apenas a necessidade, mas também a relevância do conhecimento local na eficaz implementação de medidas de conservação do solo. Reconhecendo também o papel crucial do geoprocessamento como uma ferramenta essencial na promoção de gestão de terras em bacias hidrográficas.

3.4 Equação Universal da Perda de Solo

A Equação da Perda de Solo desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) é considerada uma importante forma de analisar a perda de solo, uma vez que ela consegue exprimir os principais fatores que influenciam a erosão hídrica (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Além desse método foram criados vários outros modelos matemáticos nos quais Bacchi *et al.* (2019) destacam os USLE, MUSLE, RUSLE, AUSLE e MMF, que correspondem ao processo de desprendimento e transporte de partículas do solo, possibilitando o conhecimento sobre a erosão hídrica. O mesmo autor ainda ressalta que:

Estes modelos, quando associados às técnicas de geoprocessamento, possibilitam a elaboração de cartas com informações especializadas, tais como áreas de maiores taxas de erosão e risco, por exemplo, que fornecem suporte em planos de manejo de unidades de conservação, programas e demais instrumentos de gestão ambiental (Bacchi, *et al.*, 2019, p. 121).

Um dos modelos mais difundidos é a Equação Universal de Perda do Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) elaborado por Wischmeier e Smith (1978) para talhões de solo americano. Posteriormente, outros modelos foram sendo adaptados, utilizando a USLE como base, para corresponder a outros tipos de solos com maior confiabilidade. A exemplo, a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada EUPSR (*Revised Universal Soil Loss Equation* – RUSLE em Inglês) organizada por Renard *et al.*, (1997), sendo uma atualização da USLE (EUPS, sigla em português), modelo de erosão projetado para prever as perdas médias de solo de longo prazo no escoamento de uma determinada área. Tendo como principal objetivo guiar a conservação e planejamento permitindo prever a taxa média de solo por erosão para cada uma das várias combinadas fornecendo diretrizes específicas para efetuar o controle da erosão (Wischmeier; Smith, 1978).

Em síntese, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017, p. 286) as propriedades que influenciam a erosão hídrica do solo são aquelas que “afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água”, bem como aquelas que “resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte provocados pela chuva e escoamento”. Esses elementos destacam a complexidade e interconexão dessas propriedades, sublinhando a importância de compreender e gerenciar esses aspectos para mitigar os processos erosivos e promover a sustentabilidade do solo.

O fator Erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área com solo desprotegido representando “um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas” (Bertoni; Lombardi Neto, 2017, p. 279).

O fator erodibilidade do solo (K) é estabelecido como a habilidade do solo em opor resistência à erosão, destacando-se como a variável fundamental na EUPSR devido à sua abordagem dos parâmetros físicos que regulam o processo erosivo (Pereira, 2016).

O fator Topográfico LS (L é o comprimento de rampa, S é a declividade) tem importância significativa na análise de perda de solo e pode ser considerado fator condicionante da capacidade de uso da terra. “O fator LS é a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perda de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive” (Bertoni; Lombardi Neto, 2017, p. 287).

Salomão (2007, p. 233) destaca que “a influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta)” ressaltando que “esses fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas”.

Por conseguinte, Bertoni e Lombardi Neto (2017) acrescentam que o fator topográfico (LS) é a junção dos fatores comprimento de rampa e declividade.

Sobre o fator C (Uso e Manejo), Silva (2001, p. 53) destaca que esse fator “representa o grau de proteção à erosão, obtidos pela combinação do tipo de uso (lavoura, pastagem, bosque etc.) e manejo (convencional, mecanizado, tração animal, cultivo mínimo e etc.)”. Esse fator, juntamente com o fator P (Práticas Conservacionistas), representa a real situação da área e uma vez definido os valores de peso para as classes e integrado aos outros fatores.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Procedimento metodológico

Considerando a análise sistêmica, ponderou-se os elementos componentes da BHRV inicialmente de forma separada e posteriormente de forma conjunta, possibilitando compreender suas características particulares e dinâmicas, além da relação na interação do desenvolvimento da paisagem (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma metodológico.



Elaboração: A própria autora, 2023.

A partir do levantamento bibliográfico, cartográfico, interpretação de área de estudo e validação em campo, será realizada a caracterização dos aspectos ambientais, sociais e físicos que correspondem a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

Utilizando como suporte o *software* Q.GIS 3.22, foi elaborado um banco de dados alimentado inicialmente com os dados em formato *shapefiles* de hidrografia (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2020), limite dos municípios do Estado e distritos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2020), rodovias estaduais

(Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, 2022) e estradas de acesso (IBGE, 2020).

Para a delimitação da bacia do Ribeirão Vermelho utilizou-se as imagens SRTM 30m 20S57 e 20S555 (Topodata, 2011), em que foi feita a união das duas cenas, na função mesclar da ferramenta miscelânea do *software* QGIS 3.28, e posteriormente realizou-se o recorte delimitando a área de estudo. Com o SRTM da área, converteu-se as coordenadas de origem geográficas para coordenadas UTM, e em seguida utilizou-se a ferramenta *r.fill.dir*, para refinamento dos dados e posteriormente a ferramenta *r. watershed* para a criação de direção de fluxo, segmento de fluxo e rótulos. Com esses dados, na ferramenta *r.water.outlet* foi selecionada a direção de fluxo e identificado o ponto mais baixo, criado o limite da bacia automaticamente. Em seguida, transformou-se o limite da bacia gerada e as drenagens (identificadas como rótulos) de formato *raster* para vetor na ferramenta *r.to.vect* e posteriormente foi realizado a suavização das linhas em Geometria do vetor.

Tendo o limite da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho em *shapefile*, realizou-se o recorte e organização dos mapas de geologia (2015), geomorfologia (2015), solos (2015) e cobertura vegetal (2015) a partir de dados disponibilizados pelo IBGE – Diretoria de Geociências - DGC / Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – CREN por meio do Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA.

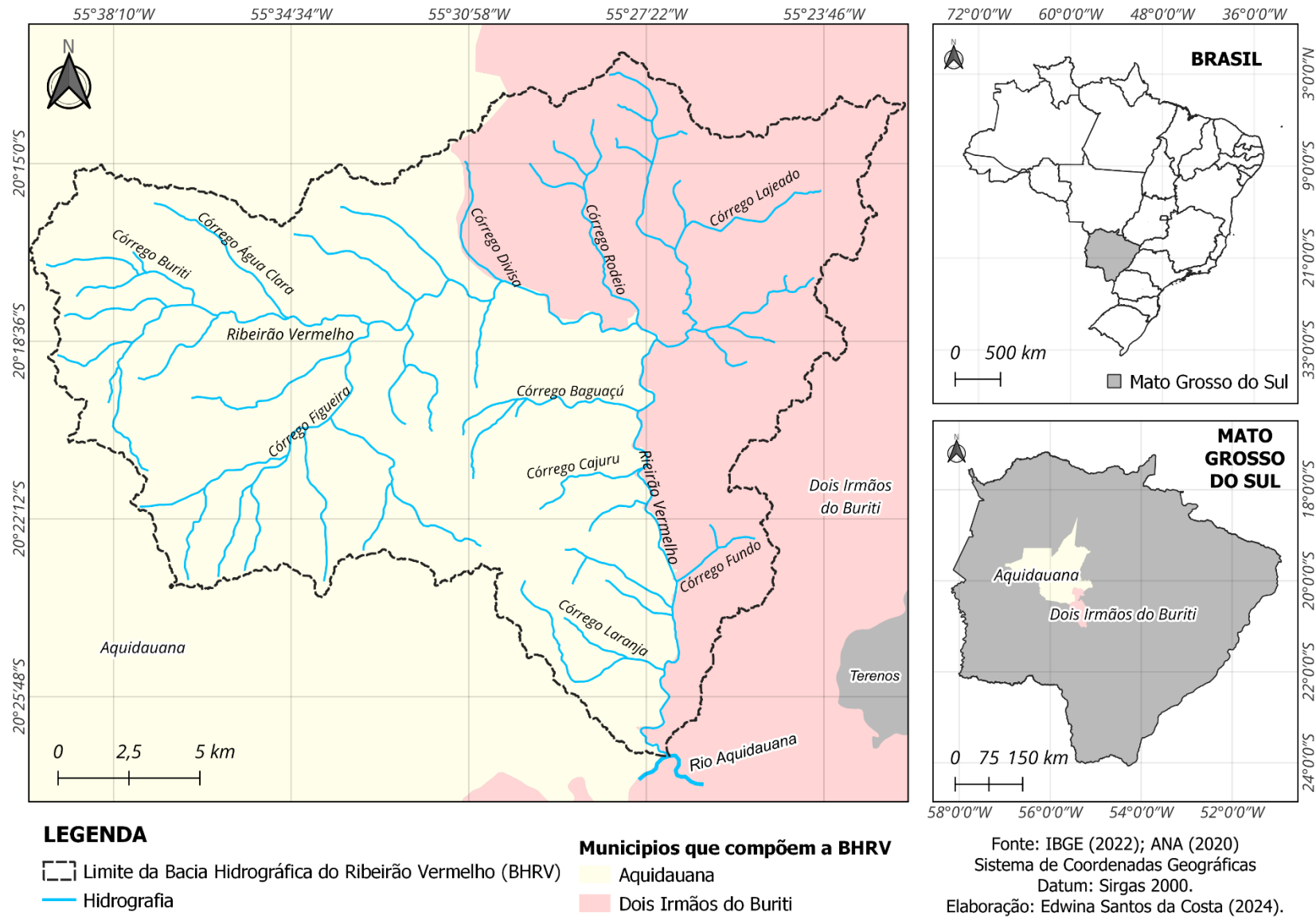
4.2 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho está localizada entre as coordenadas geográficas 55°39'54" W, 20°12'41" S e 55°21'57" W, 20°27'06" S, compreendendo a área total de 451,83 km², nos municípios de Aquidauana (63,65%) e Dois Irmãos do Buriti (36,35%) (Figura 2). O Ribeirão Vermelho tem seu exutório no Rio Aquidauana, que é o principal rio de drenagem do município de Aquidauana e importante afluente da margem direita da bacia do rio Miranda.

A bacia hidrográfica do Rio Miranda, ou Unidade de Planejamento e Gestão (UPG) do Miranda, é delimitada a oeste pela Serra de Bodoquena e a sudeste pela Serra de Maracaju. A extensão total da área drenada abrange cerca de 42.993,83 km², equivalente à dimensão UPG do rio Miranda. Essa bacia é de suma importância para o Estado de Mato Grosso do Sul, desempenhando papéis essenciais em áreas como abastecimento de água, biodiversidade, pesca, climatologia e turismo (IMASUL, 2014).

Nesse contexto, preservar e gerenciar de maneira sustentável a bacia do Rio Miranda como um todo é vital para garantir não apenas a resiliência dos ecossistemas locais, mas também a prosperidade econômica e o bem-estar das comunidades em Mato Grosso do Sul, região na qual a BHRV está integrada.

Figura 2. Localização da área de estudo.

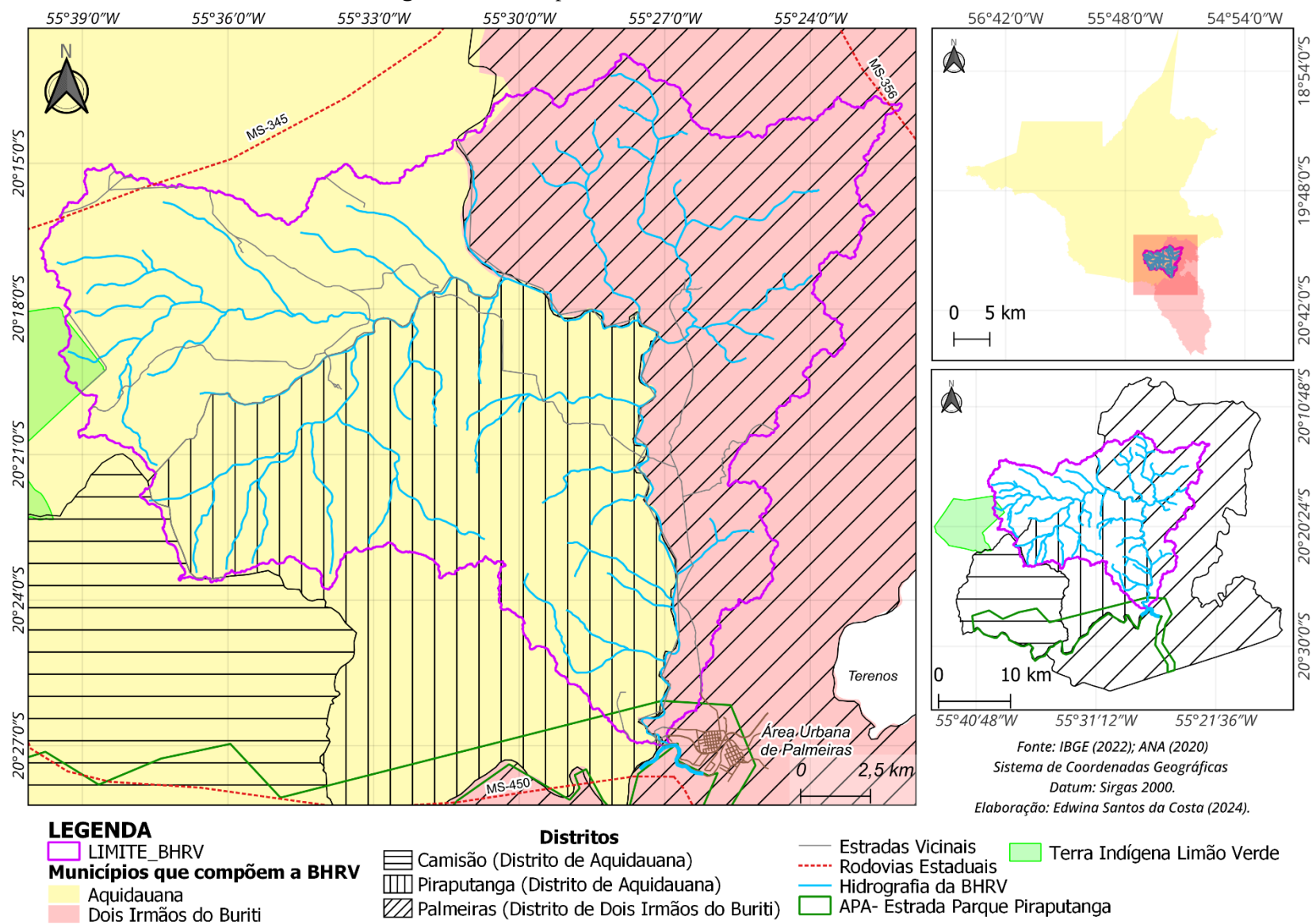


Com cerca de 63,65 % da área no município de Aquidauana e 36,35% no município de Dois Irmãos do Buriti, a BHRV destaca a necessidade de um diálogo efetivo entre esses dois municípios. A gestão compartilhada da bacia requer a cooperação ativa entre os municípios para abordar desafios ambientais, como a conservação da água, a preservação da biodiversidade e a prevenção de impactos negativos causados por atividades humanas.

Ao nível de maior detalhe, a BHRV está inserida, principalmente, nos Distritos de Palmeiras (36,34%) e Piraputanga (38,93%), tendo uma pequena porção na aldeia Limão Verde (0,49%) e outra porção no Distrito de Camisão (0,22%) (Figura 3). Além disso, a Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) integra um conjunto de 10 bacias hidrográficas que compõem a Área de Proteção Ambiental (APA) Estrada Parque Piraputanga (ANA, 2019).

As unidades de conservação desempenham um papel multifacetado e essencial na preservação da natureza, na promoção da sustentabilidade e na manutenção do equilíbrio ecológico, beneficiando não apenas a biodiversidade, mas também as comunidades humanas e o planeta como um todo (ANA, 2019). As bacias hidrográficas integrantes da APA Estrada Parque de Piraputanga desempenham um papel fundamental na preservação, conservação e manutenção da Unidade de Conservação, uma vez que a sua integridade está intrinsecamente ligada às condições ambientais de todas as bacias hidrográficas que a compõem (Ayach; Souza; Silva, 2019). É importante destacar que a BHRV é a maior bacia que compõem a APA Estrada Parque Piraputanga, reforçando sua importância nesse contexto específico.

Figura 3. Divisão política administrativa da área de estudo.



A BHRV está inserida no Bioma Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, cobrindo cerca de 2 milhões km² do território nacional, ou seja, quase um quarto de todo o território do país. O Cerrado comporta cerca de 5% de toda a diversidade do planeta, abrigando 30% dos seres vivos do Brasil, constituída por 262 espécies de répteis, e outros animais, e cerca de 12.385 espécies de plantas, das quais são 4.400 endêmicas (Embrapa, 2022).

Conforme análise feita para o Mato Grosso do Sul por Ivasko Júnior *et al.*, (2020) baseado na classificação de Koppen, a área da BHRV encontra-se entre os tipos de clima Am, definido como clima tropical de monção e Aw, clima tropical de savana, tendo concentração pluviométrica no verão com ocorrência de chuvas torrenciais.

4.3 Aplicação da EUPSR

Os seis fatores que integram a equação EUPSR foram originados a partir da análise de dados sobre as condições do solo nos Estados Unidos. No entanto, eles oferecem subsídios e diretrizes que podem diminuir a quantidade de pesquisa local necessária para desenvolver uma metodologia apropriada à investigação específica (Wischmeier; Smith, 1978).

Embora as variáveis que compõe a USLE original tenham sido mantidas no modelo EUPSR, o modelo revisado propõe atualizações que foram introduzidas, tornando a análise das variáveis mais complexas, porém facilitada pelo uso de computadores (Renard *et al.*, 1997).

A EUPSR é expressa pela seguinte Equação (Renard *et al.*, 1997):

$$A = R * K * LS * C * P$$

Onde:

A = perda de solo média anual, em t/ha/ano;

R = fator erosividade da chuva, em MJ mm/ha h ano-1;

K = fator erodibilidade do solo, em t.h/MJ mm;

LS = fator topográfico, adimensional;

C = fator uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator práticas conservacionistas, adimensional

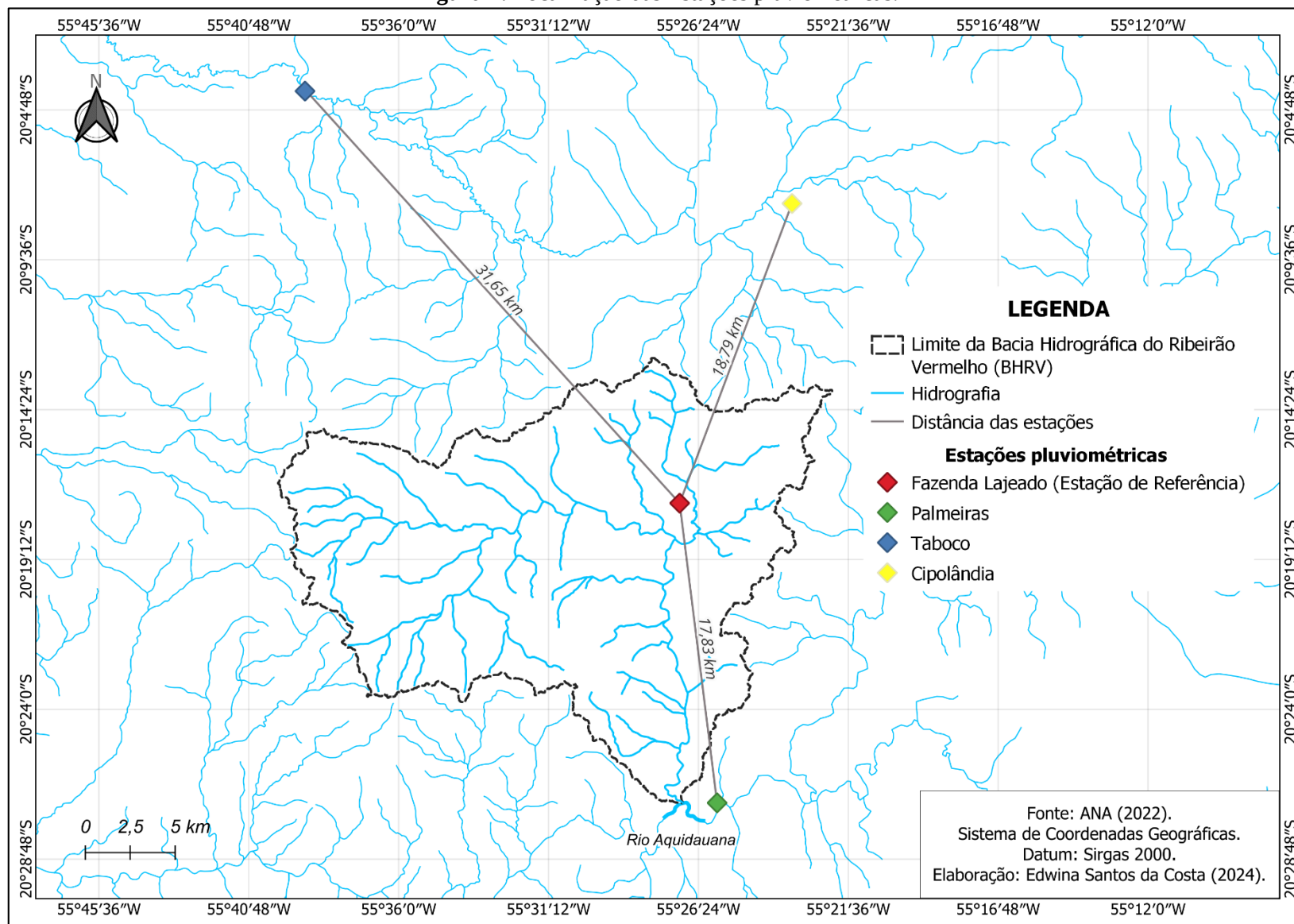
É importante ressaltar a relevância da adaptação contínua e aprimoramento de modelos para melhor refletir as condições e avanços tecnológicos, contribuindo para uma abordagem mais precisa e eficiente na gestão de solos e prevenção da erosão.

4.3.1 Fator R – Erosividade da chuva

Para analisar a erosividade da chuva, utilizou-se uma série histórica de dados pluviométricos de 20 anos (2000 a 2020), obtidos através da plataforma HIDROWEB v3.2.7 da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). A estação de referência para esses dados foi a Fazenda Lajeado, localizada no interior da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, nas coordenadas Latitude -20,29° e Longitude -55,45°, no distrito de Palmeiras em Dois Irmãos do Buriti.

Além da estação de referência, foram utilizadas mais três estações localizadas nas proximidades da bacia em estudo, conforme indicado na Figura 4. Essas estações são: Estação Pluviométrica Palmeiras, Estação Pluviométrica Cipolândia e Estação Pluviométrica Taboco.

Figura 4. Localização das Estações pluviométricas.



Com os dados de pluviometria para o período histórico de 20 anos das 4 Estações (Fazenda Lajeado, Palmeiras, Cipolândia e Taboco) notou-se falhas em alguns meses que foram corrigidas utilizando outras estações próximas, totalizando a análise em 9 estações listadas no quadro 1.

Quadro 1. Estações pluviométricas utilizadas para correção de falhas.

Nome da Estação	Códigos da Estação	Coordenadas		Distância da Estação de Referência
		Latitude	Longitude	
Fazenda Lajeado	2055003	-20,29	-55,45	Estação de Referência
Cipolândia	2055002	-20,45	-55,43	17,89 Km
Palmeiras	2055001	-20,13	-55,39	18,78 Km
Taboco	2055004	-20,07	-55,65	31,97 Km
Iguaçu	1955000	-19,94	-55,79	52,72 Km
Santa Elisa	2054009	-20,49	-54,87	64,47 Km
Jaguará	2054005	-20,49	-54,81	70,42 Km
Rochedo	2054009	-20,49	-54,87	71,55 Km
DNOS - 8.DRS	2054014	-20,45	-54,63	86,87 Km

Fonte: ANA (2022).

A estação de referência Fazenda Lajeado apresentou falhas no registro em 46 meses no intervalo temporal de 20 anos (2000 a 2020) sendo concentrado principalmente nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016 (Tabela 1).

Tabela 1. Série histórica (2000 a 2020), estação Fazenda Lajeado (Código 2055003).

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
2000	91,4	238,4	341,2	65	14,6	5,8		62,4	89	82,9	91,8	224,1	1342,00
2001	123,6	128	94,2	59,6	91,4	34	40,4	30,7	139,2	195,9	257,5	177,5	1372
2002	52,5	195,5	112,2	7,4	33,5	0	72,5	10,4	50,2	41,5	101,5	69,4	746,6
2003	182,2	58,6	118,4	106	27,9	47,2	54,2	95,2	74,2	233,5	123,8	218,4	1339,60
2004	101,3	112,8	50,8	102,3	136,8	58,7	51	0	20,8	119,8	237,2	307,1	1298,60
2005	164,2	23,3	92,5	56,9	138,6	135,4	15,4	0	67	108,9	229,9	115	1147,10
2006	154,6	303,5	169,9	115,4	69	7,4	1,9	25,4	140,2	54,8	124		1434,51
2007				29,1	63,4	0	0	0	0,7	65	123	98,6	776,47
2008	366,6	102,1	16,2	43,2	68,3	6,4	0	78	24,8	93,7	96,7	147,9	1043,90
2009	225,1	163,8	165,1	0	92,2	73,6	55,2	175,1	72,9	204,8	246	300,8	1774,60
2010	275,1	239,9	103	13	78,4	13	30	0	130,9	169,1	166,1	94,7	1313,20
2011	278,6	184,2	370,1	151,9	0	6,9	9	20,7	45	186,7	105,3	87,2	1445,60
2012	155,9	105,3	57,4	80,8	100,5	187,1	13,3	1,3	128,5	83	99,9	125,7	1138,70
2013	31	145				227							1311,23
2014				111,2							246,7		1693,53
2015			58,3			25,5			131,7				1311,96
2016	195,4					28,4	0	89,6			97,5	261,2	1441,01
2017	128,9	127,5	111,2	163	170,1	73,8	0		19,3		227,3	98,2	1391,82
2018	217				69,6			128,6	157,9	122,1	125,5	116,1	1406,49
2019	70,1	402,3	158,4	119,3	63,1	19,7	16,9	0	25,4	63,7	131,8	326,6	1397,30
2020	187,7	186,9	57,3	52,5	266,2	32,5	0,8	99,3	10,7	192	42	174,6	1302,50

Fonte: ANA (2000 a 2020).

Para a organização dos dados pluviométricos e o preenchimento de falhas, optou-se pelo uso do *software Excel*, proporcionando uma análise mais eficiente e agilidade nos cálculos para o período proposto.

Para a correção das falhas utilizou-se o método da Ponderação Regional, considerado “um método simplificado normalmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitação, visando a homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações” (Bertoni; Tucci, 2001, p 183). A equação proposta por Bertoni e Tucci é:

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x_1}{xm_1} + \frac{x_2}{xm_2} + \frac{x_3}{xm_3} \right] = ym$$

Em que: y é a estação com falha; x_1 , x_2 e x_3 são os valores correspondentes às estações vizinhas para o mesmo mês e/ou ano; xm_1 , xm_2 e xm_3 , são as médias das estações vizinhas e ym corresponde a precipitação média a ser preenchido (Bertoni; Tucci, 2001).

Com os valores corrigidos de cada estação foi possível calcular o valor da erosividade (Fator R) para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho. Além de possibilitar uma análise da distribuição hídrica por meio da interpolação dos valores de precipitação média anual.

Para obter o valor de R para a bacia do Ribeirão Vermelho utilizou-se a equação estimada para o Estado de Mato Grosso do Sul proposta por Oliveira *et al.*, (2012):

$$R = 80,305 \text{ (MFI)} 0,8966$$

Em que R é a erosividade, e o MFI é calculado pelo índice de Fournier modificado, apresentado pela equação:

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

Onde p é a precipitação média mensal (mm), P_t é a precipitação média anual (mm) e sua somatória corresponde ao MFI. Essa análise foi formulada por Oliveira *et al.*, (2012) especificamente para atender as características do Estado de Mato Grosso do Sul, apresentando bons resultados nas estimativas sobre erosão.

Obtendo o valor de R para as quatro estações pluviométricas (Fazenda Lajeado, Palmeiras, Cipolândia e Taboco) realizou-se a interpolação dos valores estimados com o uso do *software QGIS 3.28* pelo método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW)

onde “as amostras de pontos são pesadas durante a interpolação de acordo como a influência de um ponto relativo a outro” (QGIS, 2022, p.1).

4.3.2 Fator K – Erodibilidade do solo

Para os valores de K utilizou-se os dados de solos obtidos por Cunha (2015) em análise a uma bacia hidrográfica vizinha. Deste modo, os solos ficaram classificados conforme a tabela 2.

Tabela 2. Fator K.

Classes de solos	Fator K
Neossolo Litólico	0,1129
Latossolo Vermelho	0,0697
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,0618
Gleissolo Háptico	0,0595
Neossolo Quartzarênico	0,0878
Outros elementos/componentes	-
Total	-

Fonte: Cunha (2015) adaptado pelo autor (2023).

Com os valores de peso para cada tipo de solo realizou-se a espacialização dos dados a partir da edição da tabela do arquivo correspondente aos solos da bacia e elaborou-se um mapa para demonstrar os valores do fator K distribuídos na mesma.

4.3.3 Fator LS - Topográfico

O fator L representa o comprimento da rampa ou vertente, enquanto o fator S representa a declividade média da mesma. Ambos desempenham um papel fundamental como fatores topográficos que compõem a EUPS. Diversos métodos podem ser empregados para calcular o fator LS, sendo que, neste trabalho, adotou-se o procedimento delineado pelo canal *OpenGis* (2022). A determinação do valor de L baseou-se nas equações apresentadas a seguir:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896}\right)}{(3\text{sen}\theta^{0,8} + 0,56)}$$

A primeira equação, proposta por McCool *et al.* (1987; 1989), foi empregada para determinar o parâmetro Beta (β), essencial na fórmula subsequente aplicada.

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)}$$

A segunda fórmula, desenvolvida por Foster et al. (1997), foi utilizada para determinar o fator "m" e assim complementar os parâmetros essenciais para a última fórmula, responsável por calcular o valor do fator "L", apresentada a seguir:

$$L_{i,j} = 1 + \frac{((A_{i,j} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1})}{X_{i,j}^m * D^{m+2} * 22,13^m} +$$

A última fórmula, proposta por Desmet e Govers (1996), é responsável por calcular o fator "L". Cada uma das variáveis utilizadas é descrita a seguir:

$L_{i,j}$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2) [*flow accumulation*];

D = tamanho da grade de células (m) [*pixel size*];

$X_{i,j}$ = valor de direção do fluxo;

m = coeficiente dependente da declividade;

β = quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos;

Para calcular o fator "S", adotou-se a fórmula condicional proposta por McCool *et al.* (1987, 1989), apresentada da seguinte maneira:

$$S = \begin{cases} 10,8 \operatorname{sen}\theta + 0,03 & (S < 9\%) \\ 16,8 \operatorname{sen}\theta - 0,50 & (S \geq 9\%) \end{cases}$$

Onde:

θ = declividade em graus.

Para realizar os cálculos conforme essas fórmulas, utilizou-se como referência os dados SRTM 30m (Topodata, 2011) e o *software* QGIS 3.28, tendo como auxílio os vídeos do canal *OpenGis* (2022).

4.3.4 Fator C – Uso e cobertura da terra

O fator C foi elaborado a partir do mapa de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomias que por meio de técnicas de geoprocessamento no *software* QGIS 3.28 possibilitou a edição e adequação dos dados conforme verificados.

Foram adotadas as seguintes classes temáticas: Água, pastagem, solo exposto, vegetação remanescente e silvicultura. Nesse sentido, as categorias do projeto MapBiomias passaram por uma revisão detalhada e foram agrupadas de acordo com essas classes, com a utilização de imagens de satélite para verificação e ajuste específico em cada ano. Importante destacar que, embora o projeto MapBiomias mantenha uma qualidade de dados notável, a realização em larga escala pode propiciar alguns equívocos na classificação. Um exemplo evidente foi a identificação de silvicultura nas imagens de satélite em 2020, enquanto no MapBiomias estava categorizada erroneamente como vegetação.

No ano de 2000, empregou-se a imagem de satélite LandSat 7 com resolução de 30m, obtida através de recorte direto na interface web EOS Land Viewer. Essa plataforma, conhecida como Land Viewer, destaca-se por sua interface web simples e intuitiva, disponibilizada pela EOS como um produto de mercado direto para o público. Oferecendo acesso gratuito a imagens de satélite de alta resolução, o Land Viewer facilita a pesquisa e visualização, tornando-se uma ferramenta valiosa para análises geoespaciais.

Para o ano de 2020, adotou-se a imagem de alta resolução proveniente do satélite CBERS 4A, especificamente da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) na data de 30/05/2020, com a Órbita/Ponto registrados como 215/138 e 215/139. Inicialmente, realizou-se a composição colorida das bandas com uma resolução espacial de 8m, seguida pela fusão reamostrada para alcançar uma resolução final de 2m. Essa abordagem buscou otimizar a qualidade e detalhamento das informações obtidas para a análise espacial.

Para realizar a composição colorida, foram utilizadas as bandas: B1 0,45 - 0,52 μm (Blue), B2 0,52 - 0,59 μm (Green), B3 0,63 - 0,69 μm (Red) e B4 0,77 - 0,89 μm (NIR), as quais foram combinadas através da função miscelânea na ferramenta *raster* do QGIS. A sequência utilizada para a renderização multibanda colorida, visando a obtenção da cor verdadeira na imagem, foi 3, 2, 1.

Para realizar a fusão da imagem, utilizou-se a ferramenta de *Pansharpening*, na qual a imagem contendo o empilhamento de bandas foi selecionada como conjunto de dados espectrais, e a banda Pancromática (P: 0,45 - 0,90 μm) foi escolhida como conjunto de dados pancromáticos.

Atribuíram-se valores de peso com base na classificação temática do uso e cobertura da terra, conforme será detalhado no próximo tópico.

4.3.5 Fator P – Práticas conservacionistas

O fator "P" representa a relação entre a intensidade esperada de perdas com uma prática conservacionista implantada. Adotando uma abordagem metodológica mais ampla, os valores para essa variável foram considerados com base nas classes de uso e cobertura da terra, sem especificar práticas específicas, mas seguindo os pesos estabelecidos por Cunha (2015). Assim, os valores de peso para "P" e "C" foram empregados conforme indicado na tabela a seguir:

Tabela 3. Fator C e P.

Classes	Fator P	Fator C
Vegetação	0.8	0.013
Pastagem	0.5	0.016
Água	1	0
Solo exposto	1	1
Silvicultura	1	0.005

Fonte: Cunha (2015)

Embora a análise dessa variável tenha sido abordada de maneira generalizada, cabe destacar que as práticas conservacionistas ajudam a prevenir a erosão do solo, mantendo sua estrutura e fertilidade. Ao adotar práticas que respeitam a integridade do solo, estamos investindo não apenas na saúde do ambiente imediato, mas também na construção de sistemas mais robustos, capazes de enfrentar desafios e proporcionar benefícios duradouros para a sociedade e o meio ambiente.

4.4 Trabalho de Campo

O trabalho de campo desempenhou um papel fundamental na análise dos dados e na compreensão dos aspectos naturais de formação e de uso e cobertura da terra na área de estudo. O trabalho de campo é essencial para adquirir conhecimento prático da área e, associado à reflexão teórica, representa um instrumento importante para desenvolver uma visão crítica da realidade estudada (Gaboardi; Panho, 2016).

O primeiro levantamento em campo ocorreu em 29 de maio de 2023, com 11 paradas ao longo da BHRV, proporcionando registros fotográficos e um levantamento de drone para obter uma visão abrangente da área de estudo. Na elaboração do mapa (Figura 6) com as fotos

registradas neste campo, foi empregada a imagem proveniente do satélite CBERS 4A, utilizando a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) na data de 20/05/2023, com a Órbita/Ponto registrados como 215/138 e 215/139. As cenas selecionadas pertencem às bandas B1 (Azul), B2 (Verde), B3 (Vermelho) e B4 (NIR), que foram combinadas por meio da função miscelânea na ferramenta *raster* do QGIS. A renderização multibanda colorida foi executada com o intuito de obter a cor verdadeira na imagem, seguindo a sequência 3, 2, 1. O layout foi concluído por meio do *software* Inkscape.

O acesso à área foi realizado por meio de estradas vicinais, que estão em boas condições na maior parte do trajeto. Contudo, em alguns pontos, foi evidente a deterioração das pontes que conectam as vias de acesso, ressaltando a necessidade de manutenção. Adicionalmente, durante a exploração, identificou-se uma nova cultura, até então desconhecida, de cana-de-açúcar, localizada a noroeste da bacia (Figura 5).

Figura 5. Plantação de cana-de-açúcar.



Figura 6. Primeiro Campo.



Ponto 1: MS-450; Ponto 2: Ponte sobre o Ribeirão Vermelho, com mata ciliar preservada e notável presença de sedimentos na água, conferindo-lhe uma tonalidade amarronzada.; Ponto 3: Pastagem e árvores espaçadas, presença da árvore Buriti; Ponto 4: Ponte sobre um dos canais de segunda ordem da bacia; Ponto 5: Vista da estrada vicinal; Ponto 6: Ponte localizada sobre um dos canais, evidencia a necessidade de manutenção.; Ponto 7: Vista de uma área de pastagem; Ponto 8: Vista de cabeças de gado; Ponto 9: Plantação de Cana de Açúcar; Ponto 10: Vista de plantação de eucalipto; Ponto 11: Imagem de drone, vista de áreas de pastagem.

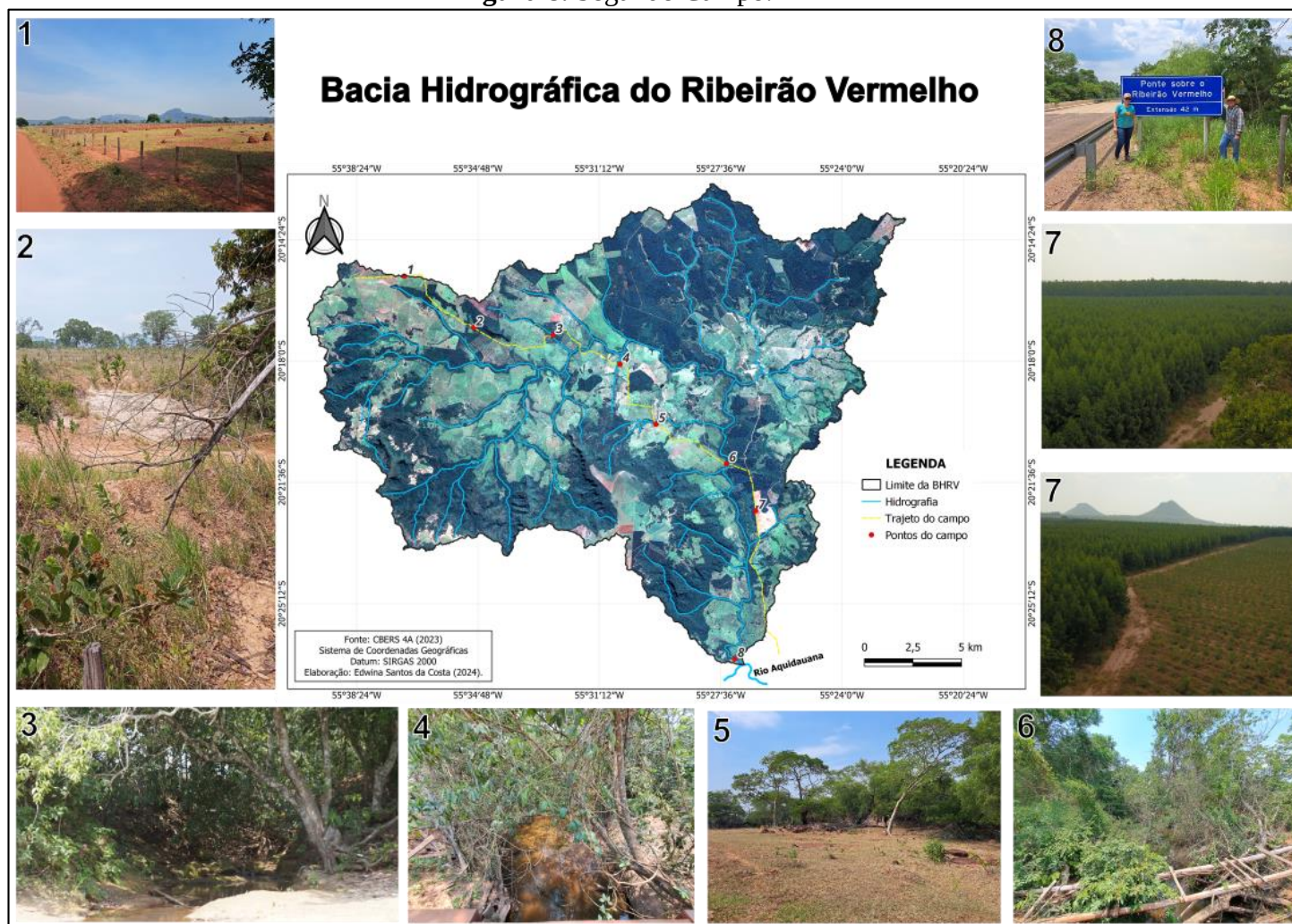
O segundo campo ocorreu em 13 de novembro de 2023, com cerca de 8 paradas, sendo particularmente empolgante e gratificante, marcando minha estreia na pilotagem de drone (Figura 7) e proporcionando registros valiosos da área da bacia, os quais foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. O trajeto desse campo foi diferente, o que permitiu uma visão mais completa da área da bacia.

Figura 7. Operação de drone.



Para a elaboração do mapa (Figura 8) do segundo campo, com as fotos registradas, empregou-se também a imagem proveniente do satélite CBERS 4A, utilizando a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) na data de 22/10/2023, com a Órbita/Ponto registrados como 215/138 e 215/139. As cenas selecionadas pertencem às bandas B1 (Azul), B2 (Verde), B3 (Vermelho) e B4 (NIR), que foram combinadas por meio da função miscelânea na ferramenta *raster* do QGIS e posteriormente renderizadas em multibanda colorida, na sequência 3, 2, 1.

Figura 8. Segundo Campo.



Ponto 1: Pasto com presença de cupim; Ponto 2: Afloramento rochoso; Ponto 3: Curso d'água de primeira ordem; Ponto 4: Curso d'água perene; Ponto 5: Pastagem; Ponto 6: Ponte sobre um dos trechos do Ribeirão Vermelho; Ponto 7: Foto tirada por drone da área de plantação de eucalipto; Ponto 7: Vista de outro ângulo da silvicultura na área; Ponto 8: Ponte sobre o Ribeirão Vermelho, MS-450.

O campo é fundamental em uma pesquisa geográfica, e a observação direta da paisagem, muitas vezes, revela nuances que os dados por si só podem não capturar completamente. Ambos os campos desempenharam um papel crucial nesta pesquisa. O primeiro permitiu uma avaliação inicial da área e uma compreensão de seus aspectos específicos, sendo possível se preparar para o segundo com um maior conhecimento sobre a área.

O campo proporcionou uma visão completa da área, evidenciando as mudanças em curso, com a adição de um novo cultivo previamente desconhecido. Além disso, foi possível esclarecer dúvidas sobre a localização dos cultivos já estabelecidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos aspectos Socioeconômicos, Físicos e Ambientais

5.1.1 Aspectos socioeconômicos

A BHRV está contida nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti, nos quais cabe destacar alguns aspectos socioeconômicos dos últimos anos.

No ano de 2021, o município de Aquidauana teve a sua população estimada em 48.184 pessoas e o Produto Interno Bruto (PIB) per capita de 2019 em R\$ 20.066,24, com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,688 (IBGE, 2022). O setor com maior expressividade no PIB, “que mais gera valor no município é o de Comércio e Serviços, que vem aumentando a sua participação nos últimos anos” (SEBRAE, 2020, p. 11).

No município de Dois Irmão do Buriti, a população estimada para o ano de 2021 foi de 11.547 pessoas e PIB per capita do ano de 2019 foi de R\$ 18.698,47, com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,639 (IBGE, 2022). No PIB, o setor com maior destaque e que vem crescendo é, também, o de Comércio e Serviços, o qual representou cerca de 49% no ano de 2012 (SEBRAE, 2020).

A BHRV possui uma grande diversidade de fauna e flora, além de ser um importante recurso hídrico para a agricultura, a pecuária e o turismo ecológico. Ferreira (2016, p. 28) destaca que a bacia do Ribeirão Vermelho tem o desenvolvimento ligado a “atividades relacionadas à agropecuária de corte, a silvicultura que visa o mercado de carvão a fim de abastecer a siderurgia para a produção de ferro gusa e, finalmente, as atividades de ecoturismo no distrito de Palmeiras”.

A pecuária se distribui por quase toda bacia, mas principalmente na região centro norte e leste, acompanhando o curso do rio, o que evidencia a necessidade de manejo adequado, visto que ocupam áreas naturalmente mais vulneráveis (Santos, 2022).

A fim de estabelecer relação entre o panorama geral da bacia e sua característica socioeconômicas o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Miranda analisou o índice de qualidade de água (IQA, em época de cheia) com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no qual apontou que a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho apresentou um IQA bom e IDH entre 0.567 a 0.698 (classe intermediária). A análise ainda destaca que as alterações na qualidade da água estão mais associadas às características físicas e aos usos da terra do que fatores socioeconômicos (IMASUL, 2014).

O Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Miranda aponta que a área da BHRV se encontra com uma vulnerabilidade natural medianamente estável/vulnerável. Ressaltando-se ainda que essa vulnerabilidade está associada à capacidade do meio em resistir aos processos naturais de alteração da paisagem, tais como o processo de erosão (IMASUL, 2016).

Analisar as características físicas do ambiente permite identificar as potencialidades e as limitações de cada área, bem como os riscos e os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas. As características que serão apresentadas a seguir são: a declividade, a geologia, a geomorfologia, os solos e a vegetação.

5.1.2 Declividade

Ao analisar a declividade separadamente em porcentagem (Figura 9), com base na classificação da Embrapa (1979), que considera seis classes (conforme Quadro 2), observa-se que a classe predominante na área é a Suave Ondulado, abrangendo declividades de 3 a 8%, com aproximadamente 247,25 km², equivalente a 54,73% da área total.

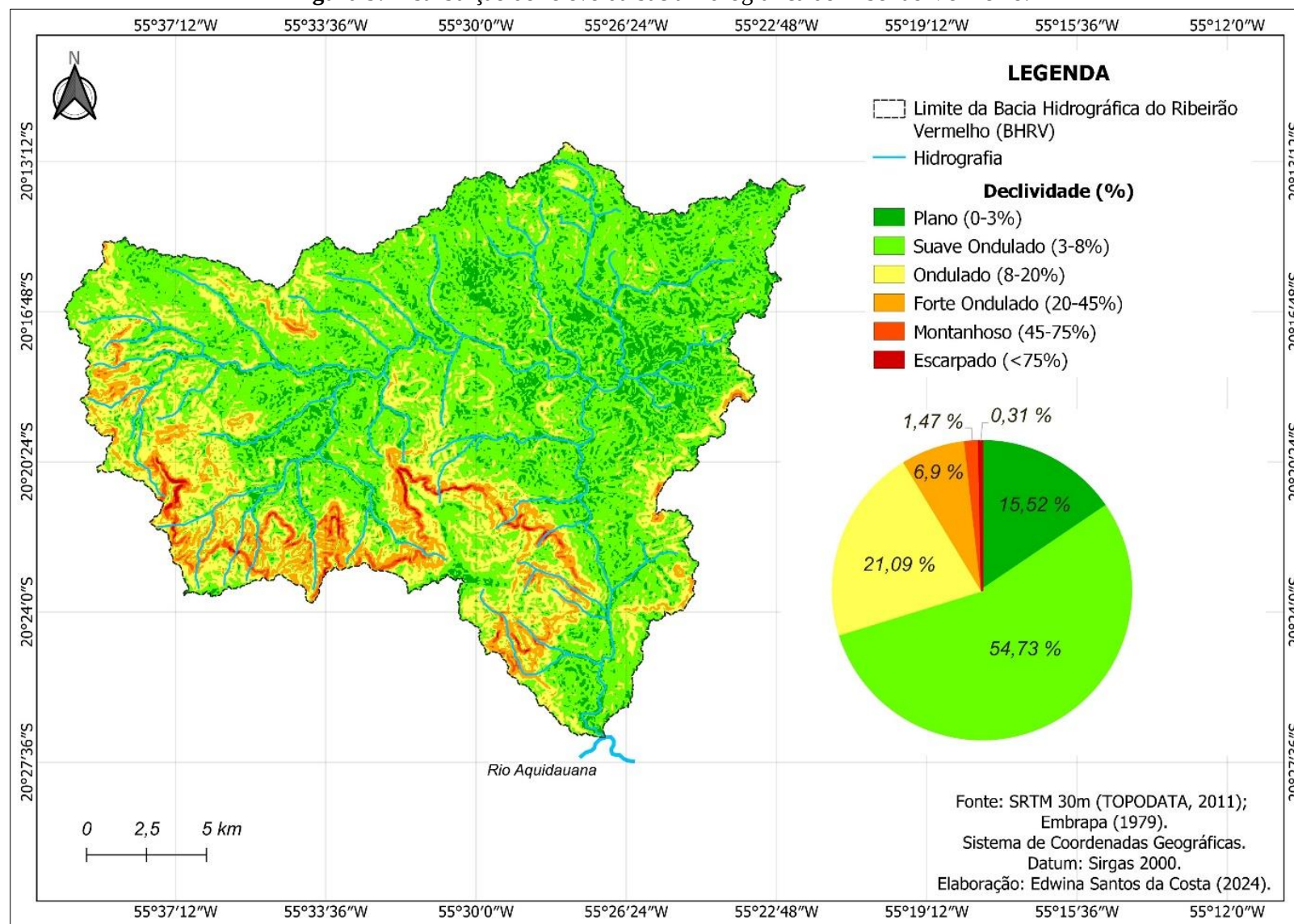
Quadro 2. Classes de declividade e descrição.

Classe de Declividade	Classe de declividade	Descrição
Plano	(0 a 3%)	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
Suave ondulado	(3 a 8%)	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto e/ou outeiros apresentando declividade suave.
Ondulado	(8 a 20%)	Superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas e/ou outeiros.
Forte ondulado	(20 a 45%)	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros com elevações de 100 a 200m de altitude relativa.
Montanhoso	(45 a 75%)	Superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos.
Escarpado	(> 75%)	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escapamentos com declividade muito forte.

Fonte: Embrapa (1979).

Taveira (2018) destaca que a inclinação do terreno tem influência direta na velocidade do escoamento e, portanto, na ocorrência de processos erosivos. Pois quanto maior a declividade, maior é a força da gravidade que atua sobre o solo e a água, favorecendo o deslocamento de partículas e o aumento da velocidade da enxurrada. Deste modo, a declividade do terreno pode determinar o potencial de erosão e o transporte de partículas que são transportadas para áreas mais planas.

Figura 9. Distribuição do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



Analisar o relevo é uma tarefa importante no entendimento da dinâmica das unidades de paisagens, onde suas formas são representadas pela combinação de componentes que a configuram (Ross, 2012). Deste modo, segundo a declividade, apoiado na classificação do relevo estabelecida pela Embrapa (1979) analisou-se a BHRV, ficando distribuída entre as classes plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), Forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 75%).

Espacialmente, os declives mais suaves encontram-se predominantemente no centro, norte e nordeste da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, representando 15,52% do relevo como plano, 54,73% como suave ondulado e 21,09% como ondulado. Áreas com topografia mais plana geralmente são mais propensas à ocupação, uma vez que oferecem condições de acesso mais fácil e são mais adequadas para o uso de maquinário.

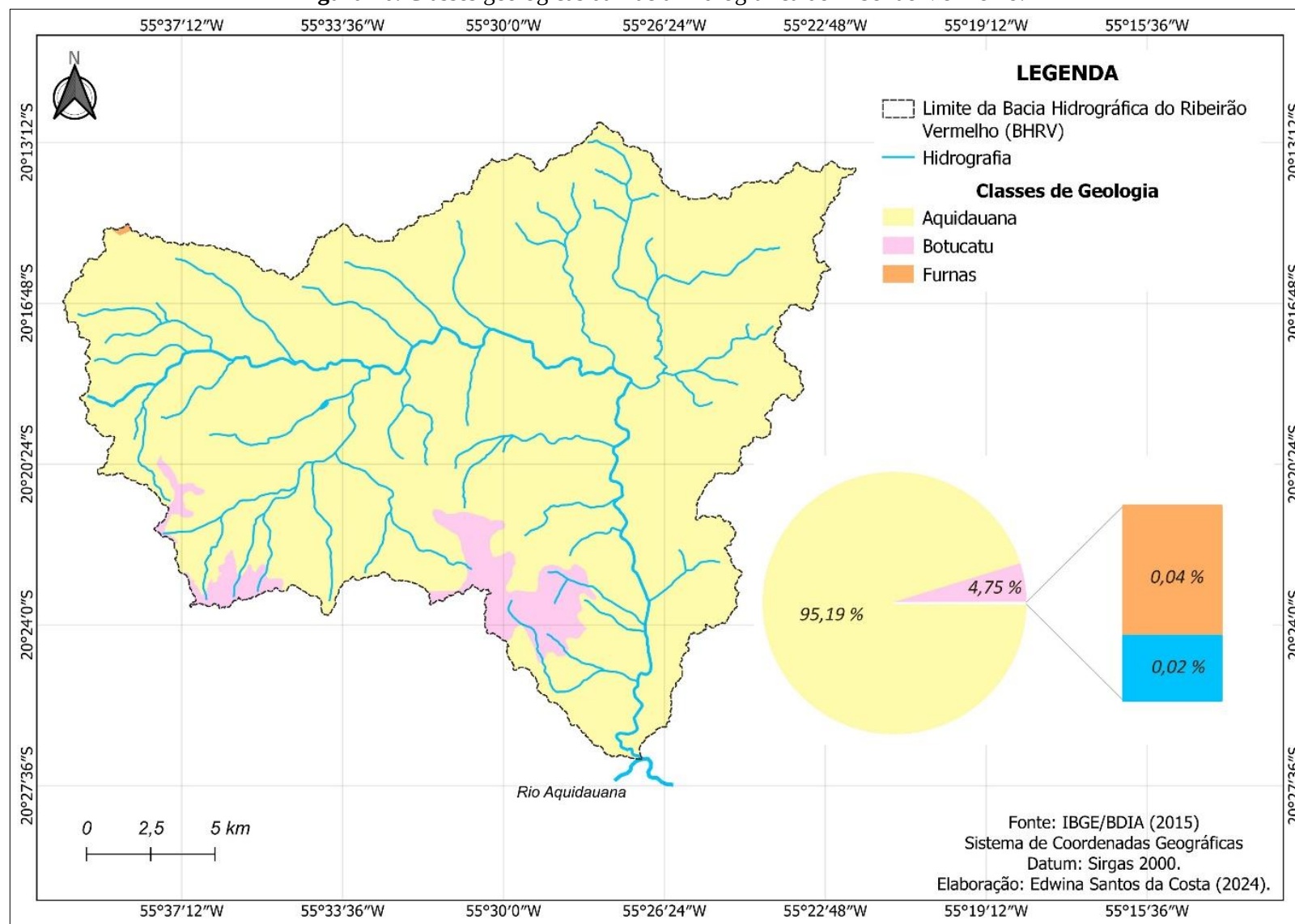
As áreas que correspondem aos maiores valores de declividade localizam-se de Sul a Oeste da bacia, onde encontra-se a Serra de Santa Bárbara com relevo composto por escarpas e serras, apresentando para as classes de declividade Escarpado (> 75%) cerca de 0,31% da área, Montanhoso (45 a 75%) cerca de 1,47% e para a classe Forte ondulado (20 a 45%) 6,90%.

O relevo tem relação direta com o fluxo de água, pela velocidade de escoamento e a sua infiltração no solo. Áreas declivosas apresentam baixa infiltração, pois a água da chuva esco superficialmente com maior velocidade causando a erosão superficial mais intensa. Já em áreas planas a infiltração é maior, o escoamento é mais lento e a erosão superficial é menor (Silva, 2014).

5.1.3 Geologia

A geologia tem papel fundamental na formação do solo “o material geológico do qual o solo se origina é um fator de resistência à formação do mesmo, exercendo um ‘papel passivo’ à ação do clima e dos organismos” (Lepsch, 2002). Do ponto de vista litológico a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho concentra-se na litologia da Formação Aquidauana, com 95,19%, seguido da Formação Botucatu, com 4,75% e uma pequena porção da Formação Furnas, 0,04% (Figura 10).

Figura 10. Classes geológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



A principal formação geológica na região, a Formação Aquidauana, abrange aproximadamente 430,12 km² e estende-se por grande parte da bacia. Enquanto isso, a Formação Botucatu, com cerca de 21,46 km², está situada a sudoeste, e a Formação Furnas, cobrindo uma área de 0,163 km², encontra-se em uma porção reduzida a noroeste da bacia.

Conforme destacado pelo levantamento realizado no projeto RadamBrasil, a classe geológica Formação Aquidauana é composta por relevo escarpado, com feições apresentando platôs em níveis elevados, “no trecho em que acompanha o rio Aquidauana, nas vilas de Piraputangas e Palmeiras, com paredões bastante íngremes” (Brasil, 1982, p. 80).

A espessura do compartimento sedimentar é de cerca de 500m estando esta unidade compreendida entre o Carbonífero Superior e o Permiano Inferior. Constituído principalmente de arenito, os sedimentos apresentam-se em variabilidade granulométrica, encontrando-se diamictitos ao longo do afloramento da formação (Brasil, 1982).

A Formação Botucatu é composta por arenitos bastante alterados com estratificações cruzadas de médio a grande porte, apresentando espessura em torno de 120m e discordância erosiva sobre a Formação Aquidauana. Os arenitos desta formação “mostram-se como extensos chapadões arenosos, totalmente desagregados formando solos areno-argilosos sem os caracteres da rocha original” (Brasil, 1982, p. 85).

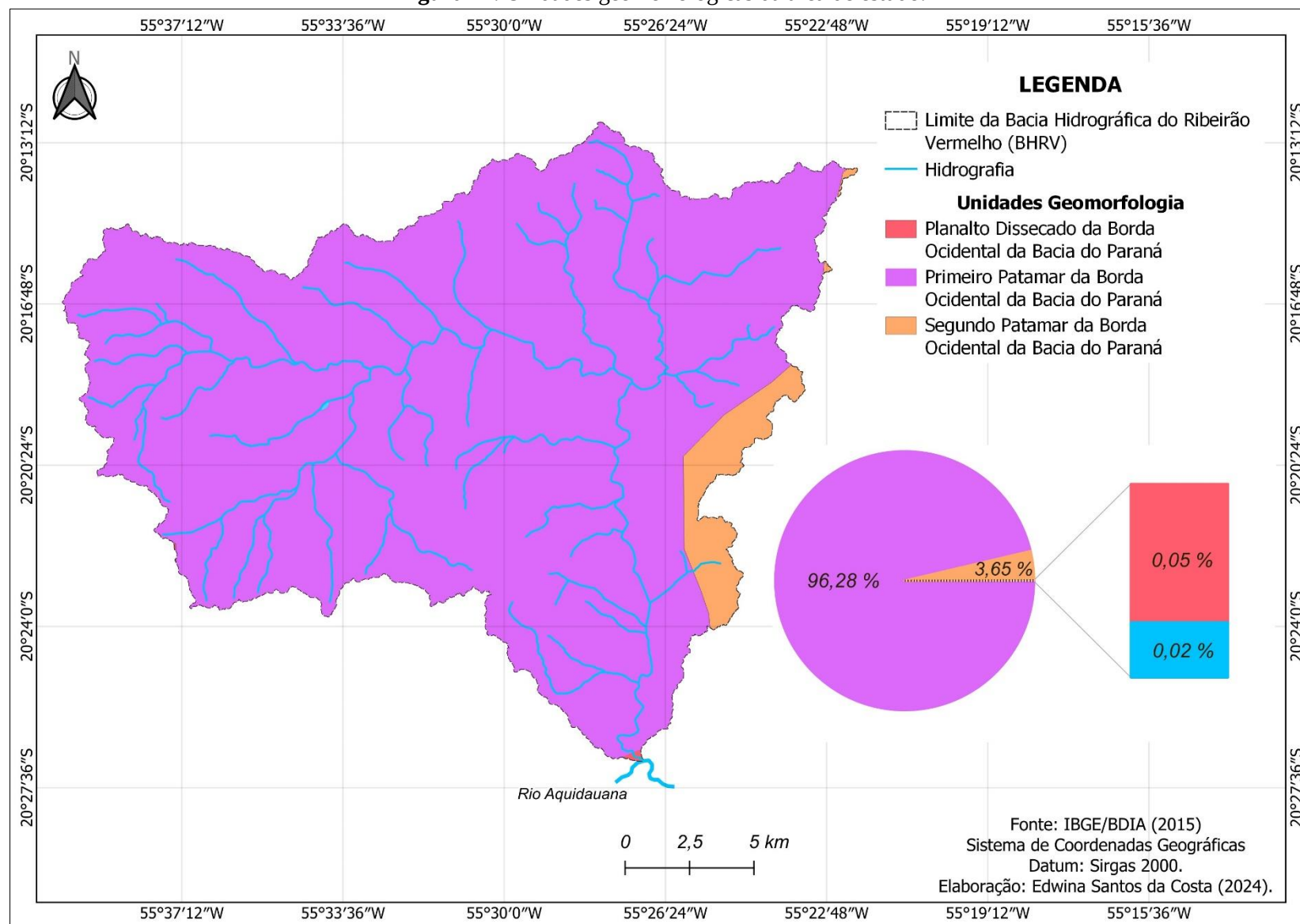
A Formação Furnas é composta por arenito com estratificação cruzada, no geral predominam-se arenitos grosseiros, com estruturas pouco nítidas tendo espessura máxima em torno de 180m (Brasil, 1982).

5.1.4 Unidades Geomorfológicas

As Unidades Geomorfológicas são descritas a partir dos compartimentos que são identificados como planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras. Esses compartimentos apresentam “o comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias que são tomados como referencial à medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas” (IBGE, 2009, p.29).

A BHRV é constituída predominantemente pelas Unidades Geomorfológicas Primeiro Patamar da Borda Ocidental da Bacia do Paraná (96,28%), Segundo Patamar da Borda Ocidental da Bacia do Paraná (3,65%) e Planalto dissecado da Borda Ocidental da Bacia do Paraná (0,05%) (Figura 11).

Figura 11. Unidades geomorfológicas da área de estudo.



Essas unidades geomorfológicas são reflexos de distintas características geológicas, altimétricas e morfológicas na paisagem da bacia. Conforme o IBGE (2009, p.30) define, os patamares representam “relevos planos ou ondulados, elaborados em diferentes classes de rochas, constituindo superfícies intermediárias ou degraus entre áreas de relevo mais elevado e áreas topograficamente mais baixas”.

Apesar de constituir uma porção reduzida da bacia, o Planalto se destaca por suas características distintivas. Definido como "conjuntos de relevos planos ou dissecados, de altitudes elevadas, limitados, pelo menos em um lado, por superfícies mais baixas, onde os processos de erosão superam os de sedimentação" (IBGE, 2019, p.30), o Planalto representa uma elevação geográfica singular na região. O conhecimento aprofundado dessas características é fundamental para uma abordagem eficaz na conservação e uso sustentável dos recursos na bacia hidrográfica.

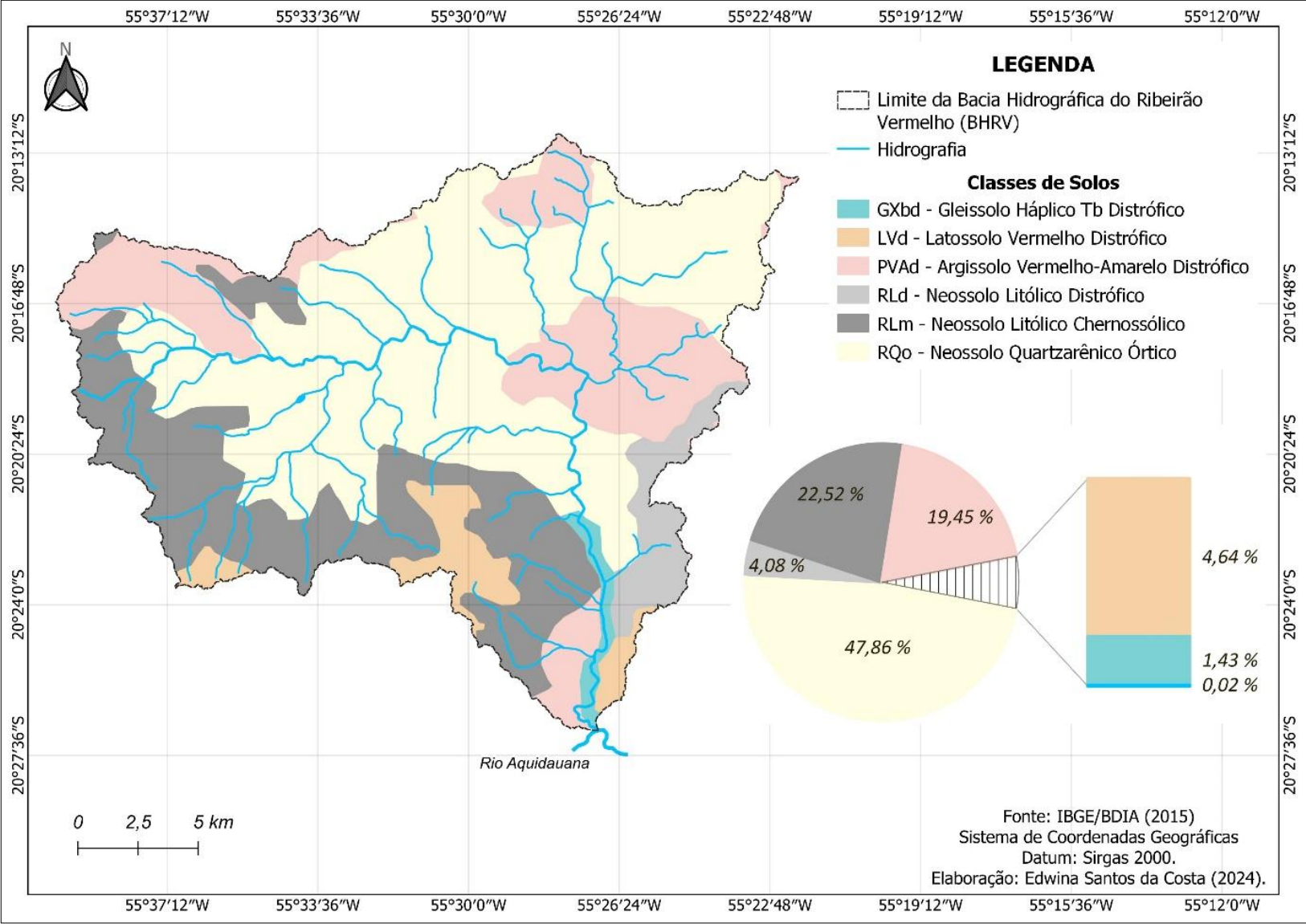
5.1.5 Solos

Os solos encontrados na área foram: GXbd – Gleissolo Háplico Td Distrófico, LVd – Latossolo Vermelho Distrófico, PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, RLd – Neossolo Litólico Distrófico, RLm – Neossolo Litólico Chernossólico e RQo – Neossolo Quartzarênico Órtico.

Ao analisar a distribuição espacial dos solos na BHRV (Figura 12), destaca-se a presença dominante e bem distribuída dos Neossolos, abrangendo expressivos 74,46% da área total. Além desses, identificam-se os Latossolos, representando 4,64%, os Argissolos com 19,45%, e os Gleissolos com uma participação de 1,43%.

Os Neossolos são caracterizados por serem solos novos com pouco desenvolvimento pedogenético (SIBCS, 2018). Dentre os Neossolos encontrados na BHRV temos os do tipo Litólicos (26,60%), caracterizado pelo contato lítico dentro de 50cm da superfície, sendo os distróficos (4,08%), solos mais pobres em nutrientes, e os chernossólicos (22,52%), solos mais ricos em matéria orgânica e nutrientes.

Figura 12. Distribuição dos solos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



Outra categoria significativa na área é a dos Neossolos Quartizarênicos, compreendendo uma expressiva porcentagem de 47,86%. Esses solos caracterizam-se por uma textura predominantemente arenosa, desprovida de minerais alteráveis (IBGE, 2007). Esta é a classe dominante que abrange a maior extensão na área da bacia.

Essa diversidade de Neossolos na BHRV destaca a importância de compreender suas características específicas para o manejo adequado do solo e para a tomada de decisões relacionadas ao uso da terra na região.

Os Latossolos correspondem a 4,64% da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, conforme o SIBCS (2018), são considerados solos muito intemperizados apresentando horizonte B latossólico. O Latossolo encontrado na área de estudo corresponde ao LVd – Latossolo Vermelho Distrófico, que de acordo com o IBGE (2007), são característicos da coloração vermelha e saturação por base + teor de ferro.

As argilas predominantes nos Latossolos são “do tipo caulinita, cujas partículas são revestidas por óxidos de ferro, responsáveis pelas típicas cores avermelhadas” contendo uma granulometria uniforme com agregados arredondados de 0,5 a 3,0 mm (Lepsch, 2002, p. 89).

Os solos da classe Argissolo, com cerca de 19,45% são, basicamente, solos com processo de acumulação de argila (SIBCS, 2018). O solo dessa classe encontrado corresponde ao solo PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que são característicos da coloração vermelho-amarelo e saturados por base e saturados por base + teor de ferro (IBGE, 2007).

Segundo o SIBCS (2018), o solo da classe Gleissolo é conotativo a excesso de água (Horizonte glei). O solo dessa classe encontrado foi o solo do tipo GXbd – Gleissolo Háplico Tb Distrófico, correspondendo a 1,43% da área da bacia do Ribeirão Vermelho.

Conforme o IBGE (2007) os solos Háplicos quando empregado, se refere a todos os demais solos não distinguidos nas classes precedentes. Essa categoria de solo contém características de Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e teor de argila (Tb), além de saturação por base e base + teor de ferro, conforme os solos Distróficos.

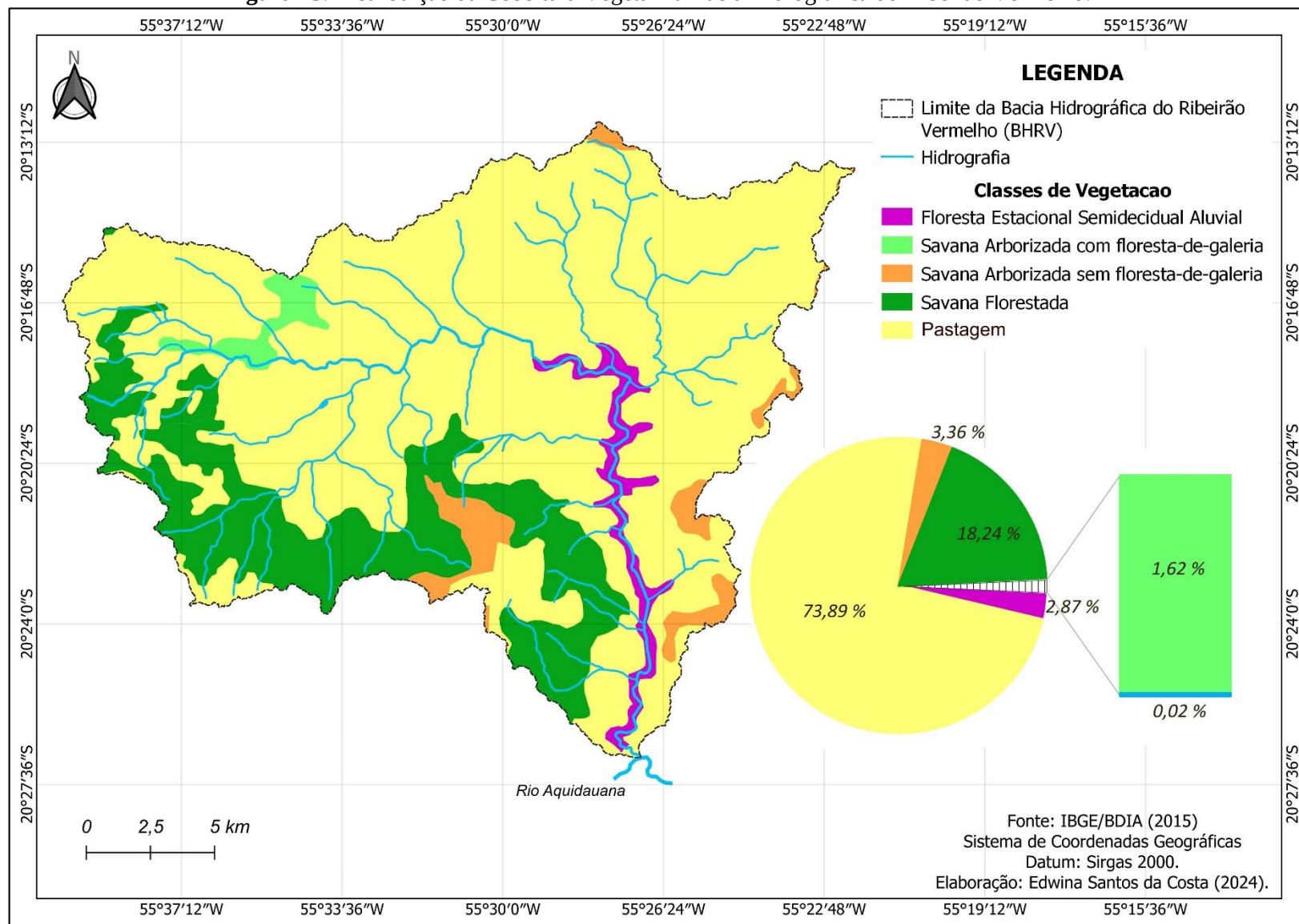
5.1.6 Vegetação

A vegetação é um fator essencial para a conservação e a fertilidade do solo, pois ela protege a superfície da erosão, contribui para a formação de matéria orgânica e favorece a atividade biológica. A vegetação é a proteção natural do solo que impede o impacto direto da chuva e consequentemente a evolução dos processos erosivos. Deste modo, essa característica da paisagem é de suma importância e é vista como um indicador de qualidade ambiental. A

vegetação é dinâmica e pode mudar abruptamente por ações naturais ou antrópicas e por isso é tão importante os estudos que permitem conhecer as características da vegetação e possibilitam o monitoramento sob o uso antrópico (Santos, 2004).

Na BHRV a Cobertura Vegetal encontrada na área é composta por 5 classes: Sd - Savana Florestada, localizada principalmente nas áreas de maior elevação da bacia; Ap - Pecuária (pastagens), distribuídas ao longo da bacia; Sas - Savana Arborizada sem floresta-de-galeria, em alguns fragmentos a norte, leste, sudeste e sudoeste; Fa - Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, que acompanha o canal principal do seu meio curso a sua jusante; e Saf - Savana Arborizada com floresta-de-galeria, a noroeste da bacia (Figura 13).

Figura 13. Distribuição da Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



A classe Savana Florestada (18,24%) corresponde ao “subgrupo de formação com fisionomia típica e característica restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional” (IBGE, p. 109, 2012).

A classe Pastagens corresponde a maior porção da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, com cerca de 73,89% da área, sendo essa classe caracterizada pela predominância antrópica, ou seja, com maiores alterações das características naturais causadas pelas atividades humanas.

A Savana Arborizada caracteriza-se “por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide contínua, sujeito ao fogo anual” (IBGE, 2012, p. 110). Na área da bacia apresenta-se as classes do tipo Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (3,36%) e a classe do tipo Saf - Savana Arborizada com floresta-de-galeria (1,62%).

A classe Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (2,87%) é típica das depressões pantaneiras sul mato-grossense e “as florestas estacionais ocupam, aproximadamente, 15% da área do Cerrado e estão entre os tipos de vegetação mais degradados e fragmentados, neste bioma” (Pereira; Venturoli; Carvalho, 2011, p. 446).

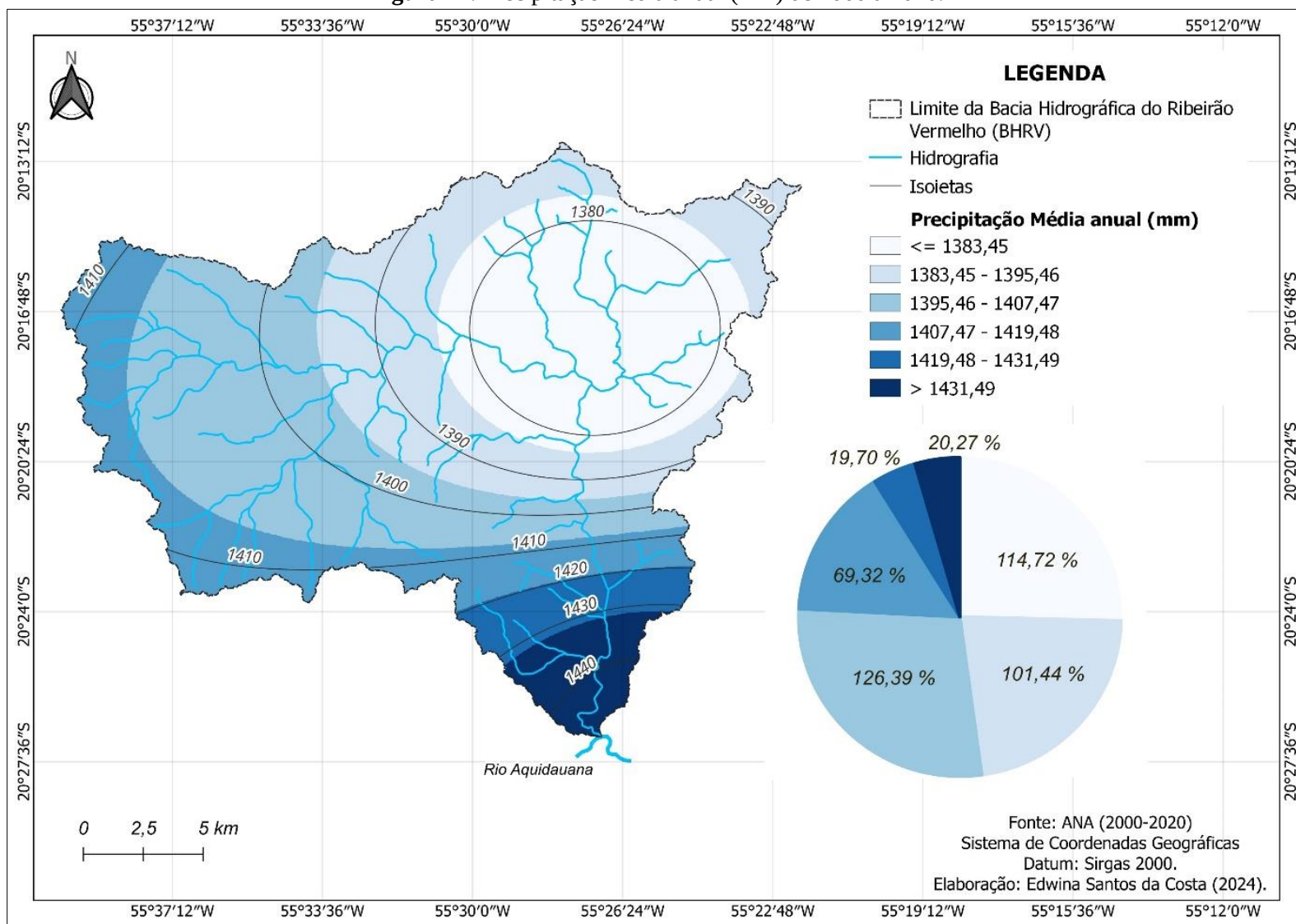
5.2 Análise dos fatores que compõem a EUPSR (R, K, LS, C e P).

5.2.1 Erosividade hídrica (Fator R)

O emprego do método da Ponderação Regional possibilitou o preenchimento simplificado das falhas identificadas. Estudos conduzidos por Soares e Silva (2017) e Amador e Silva (2020) também adotaram esse método, obtendo resultados positivos e ressaltando a importância de levar em consideração as características específicas da área de estudo. Esses trabalhos destacam o método como uma alternativa eficaz nas correções de dados pluviométricos.

A distribuição hídrica por meio da interpolação dos valores de precipitação média foi possível a partir da correção das falhas por meio do método da Ponderação Regional, obtendo-se para o intervalo temporal de 20 anos (2000 a 2020) valores que variam entre 1371,43 a 1443,65mm (Figura 14).

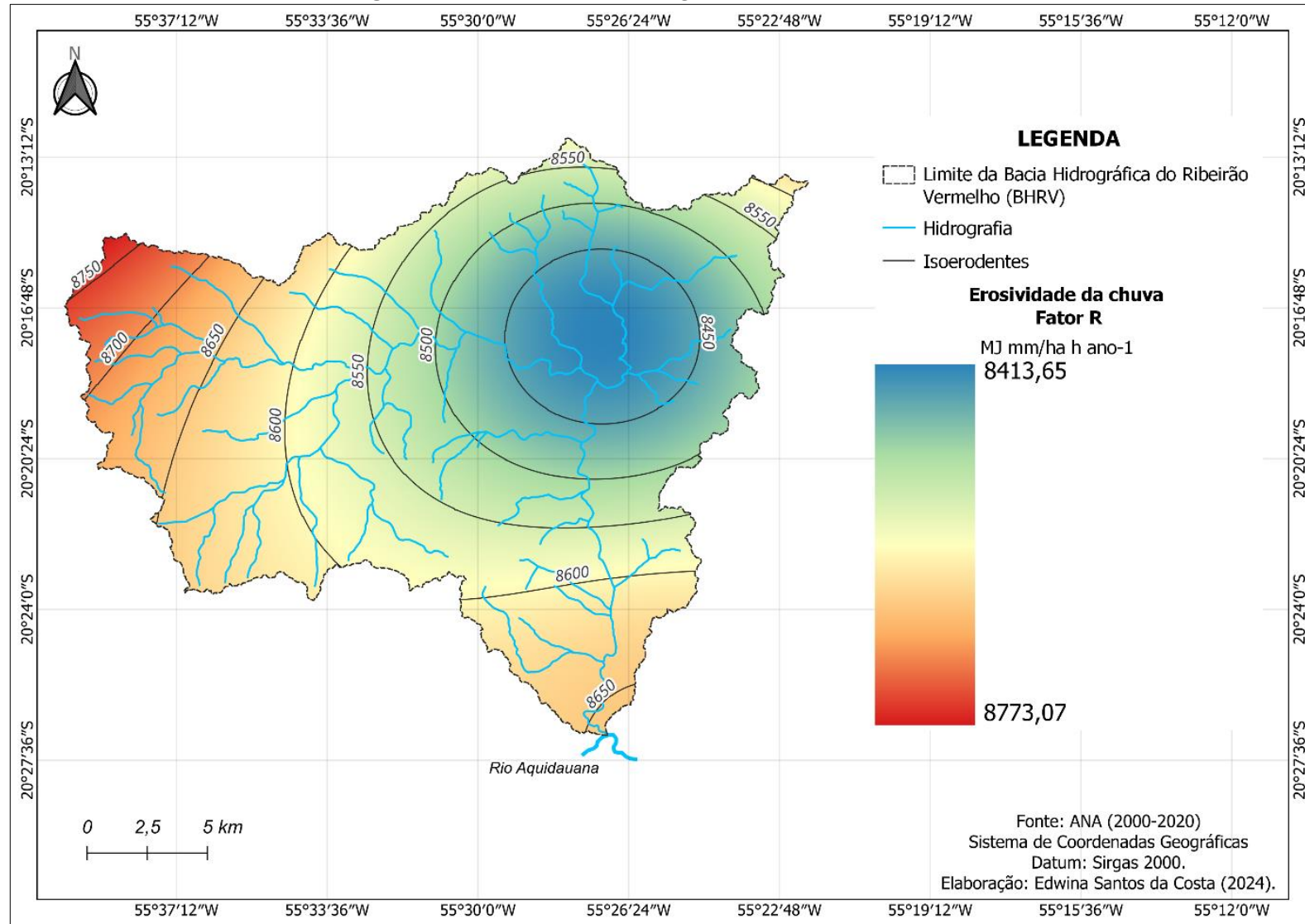
Figura 14. Precipitação média anual (mm) de 2000 a 2020.



Os maiores valores de precipitação média anual para área de estudo concentram-se na região da foz da bacia, com maiores índices que partem da foz ao Sul, contornando de Sul a Oeste. Enquanto que os menores índices de precipitação média localizam-se ao Centro e Nordeste da bacia em estudo.

A partir dos dados pluviométricos gerou-se os valores de erosividade hídrica que apresentaram para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho valores que variam de 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm/ha h ano, com média de 8.628,75 MJ mm/ha h ano (Figura 15).

Figura 15. Fator R da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



Os maiores valores estimados para erosividade anual na BHRV concentram-se na região Noroeste e Sul da bacia, com as menores estimativas localizadas a Nordeste, onde localiza-se o centro do rio principal, de mesmo nome da bacia, Ribeirão Vermelho.

De acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008), a erosividade da chuva na região é caracterizada como sendo da classe Erosividade forte (Quadro 3). Tal avaliação fundamenta-se na faixa de valores da precipitação anual média, situando-se entre 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm/ha h por ano, encontrados para a área da BHRV.

Quadro 3. Fator K.

Erosividade	Classes
R < 2452	Erosividade Fraca
2452 < R < 4905	Erosividade moderada
4905 < R < 7357	Erosividade moderada a forte
7357 < R < 9810	Erosividade forte
R > 9810	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

Em trabalhos realizados sobre os solos do Brasil, os valores médios de Erosividade anual variam de 1.672 a 22.452 MJ mm/ha h ano com maiores estimativas nas regiões Norte e Sudeste e menores na região Nordeste do país (Oliveira; Wendhand; Nearing, 2012). Já para o Estado de Mato Grosso do Sul Oliveira *et al.* (2012) apresenta valores médios anuais de erosividade que variaram de 5.770 a 13.601 MJ mm/ha h ano e a erosividade média anual de 9.318 MJ mm/ha h ano.

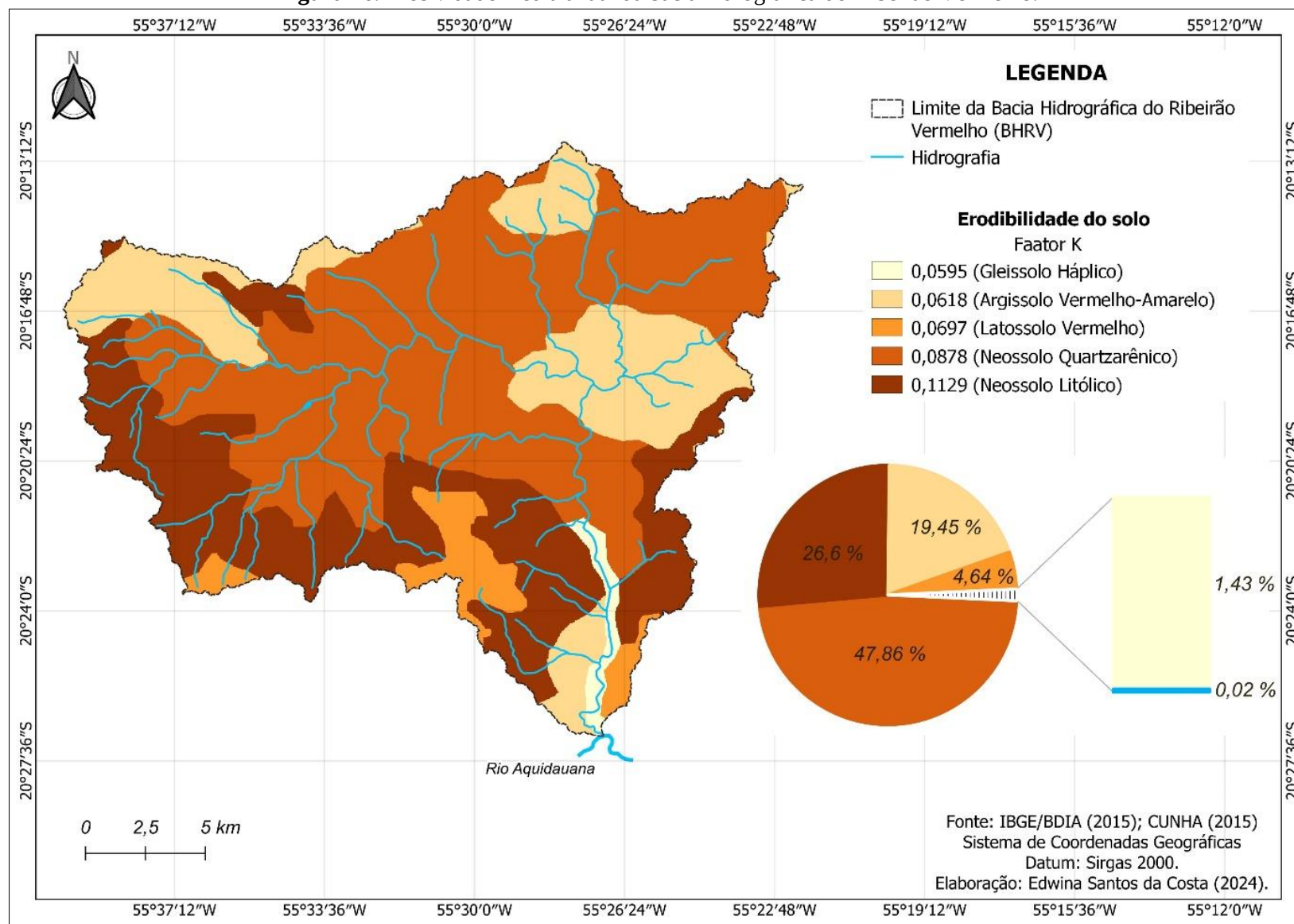
Cunha (2015) ao estudar a bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, vizinha a bacia do Ribeirão Vermelho, localizado a Noroeste, apresentou valores médios para erosividade anual de 8953,05 MJ mm/ha h ano. Dessa forma, os valores encontrados para a bacia do Ribeirão Vermelho apresentam valores dentro da média esperada para o Estado e próximo a valores encontrados em áreas contíguas à bacia.

Diante da caracterização de intensidade elevada da erosividade da chuva na região, conforme a classificação de Carvalho (2008), torna-se evidente a necessidade de estratégias robustas de manejo ambiental. A amplitude significativa dos valores de precipitação anual média destaca a potencial influência erosiva sobre o solo. Em resposta a esse cenário, medidas de conservação, tais como práticas agrícolas sustentáveis, manejo adequado da vegetação e adoção de técnicas que minimizem a erosão, são essenciais para proteger a integridade do solo e preservar a qualidade dos recursos naturais na área.

5.2.3 Erodibilidade do solo (Fator K)

Os valores da erosividade do solo correspondem a média para cada tipo de solo, que embora não tenha sido feita coleta do solo utilizou-se dados correspondentes aos mesmos tipos de solo encontrados em trabalhos realizados em bacia vizinha com aspectos semelhantes. Deste modo, a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho teve valores de Erosividade média anual que variaram de 0,0595 a 0,1129 (Figura 16).

Figura 16. Erosividade média anual da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



Os Neossolos Litólicos destacam-se por apresentar os maiores índices de erodibilidade do solo, abrangendo aproximadamente 26,60% da área. Conforme ressaltado por Cunha (2015), os solos classificados como Neossolos demonstram tendência maior à erodibilidade. Conforme ressaltado por Guerra e Botelho (2016, p.191) os neossolos litólicos “são os mais suscetíveis a erosão, em especial, quando ocorrem em terreno mais declivoso”.

Diante desse contexto, medidas adequadas de manejo, como a implementação de práticas sustentáveis e a preservação de cobertura vegetal, tornam-se essenciais para mitigar os efeitos da erodibilidade acentuada, promovendo a sustentabilidade e a preservação das áreas mais vulneráveis.

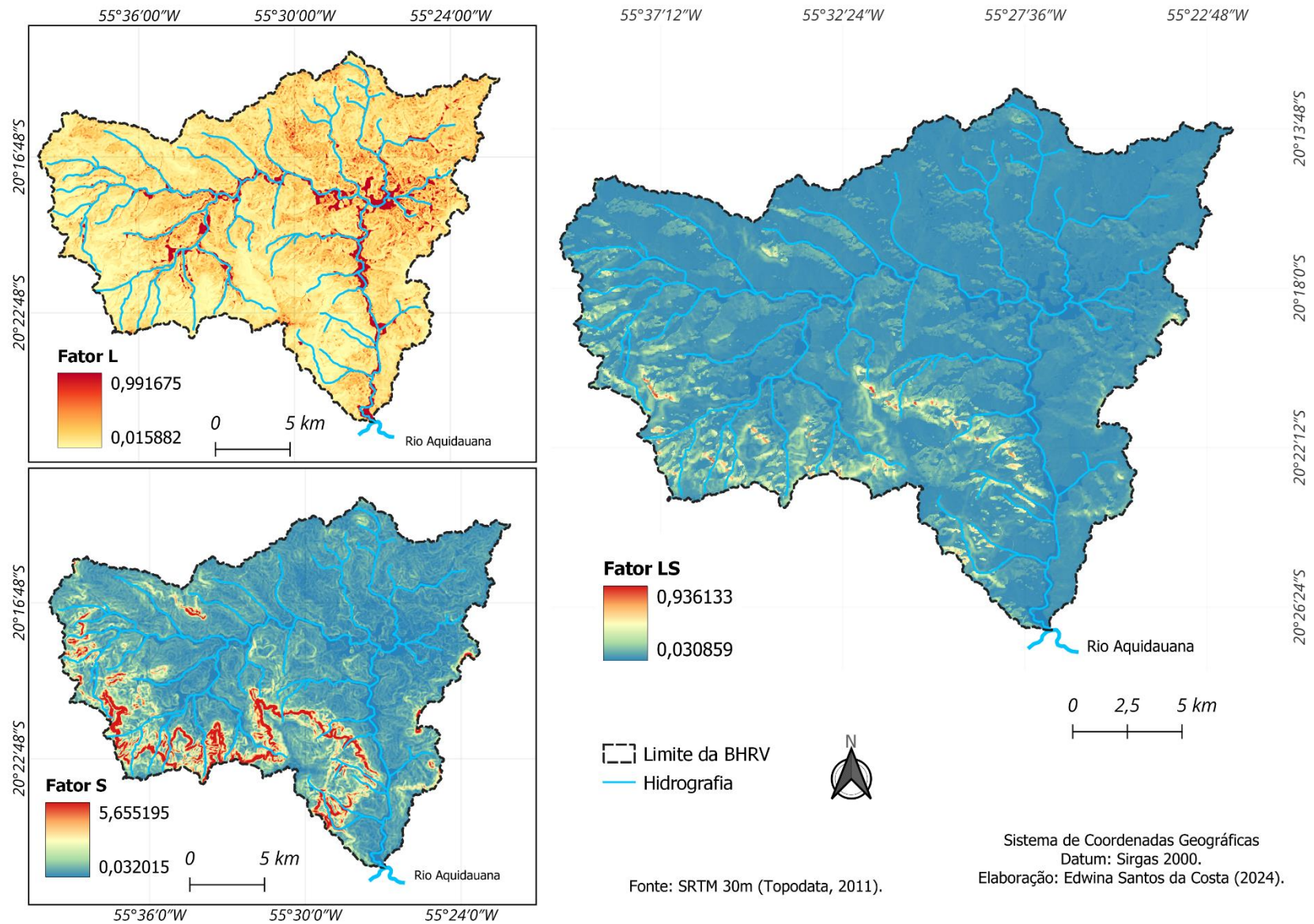
5.2.4 Fator Topográfico LS (L é o comprimento de rampa ou vertente, S é a declividade média da rampa ou vertente)

A análise da distribuição espacial dos fatores topográficos revelou que os valores mais elevados do fator L (comprimento de rampa) predominam ao longo do canal principal. Isso sugere que áreas específicas ao longo do canal principal podem estar mais suscetíveis a processos erosivos, devido ao comprimento da rampa nessas regiões (Figura 17)

Já o fator S (declividade média da rampa) apresenta maiores valores na região Sul a Oeste da bacia, onde está situada a Serra de Santa Bárbara, caracterizada por relevos compostos por escarpas e serras. A presença de escarpas e serras nessa área influencia a declividade média do terreno, indicando que as regiões caracterizadas por relevos mais íngremes podem apresentar maior potencial para erosão.

Essa distribuição diferenciada dos fatores L e S ressalta a importância de considerar a heterogeneidade do terreno ao avaliar os riscos de erosão. Trazendo informações que podem ser cruciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo de solo e água, direcionando esforços para áreas específicas que possuem maior propensão a processos erosivos.

Figura 17. Distribuição espacial dos fatores topográficos da BHRV.

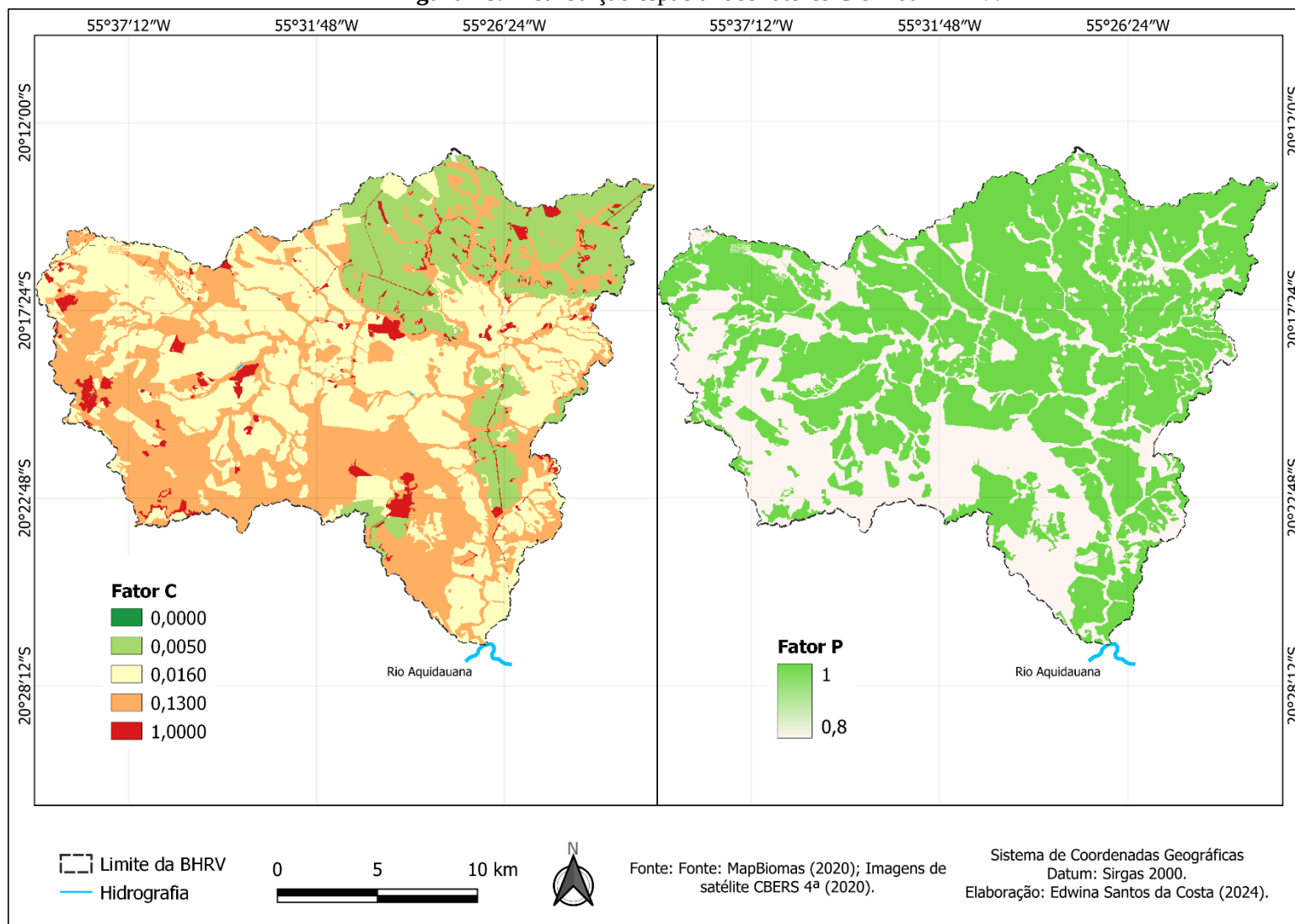


5.2.5 Uso e Manejo (Fator C) Práticas conservacionistas (Fator P)

Os fatores C e P são considerados fatores extremamente importantes, pois, correspondem ao estado atual da área e aos cuidados existentes para reduzir os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente, respectivamente. Taveira (2018, p.116) destaca que “o fator C representa a relação entre o volume de solo erodido em determinada condição de manejo e o volume de solo cultivado e mantido limpo”.

O uso e manejo e as práticas conservacionistas demonstraram certa proteção dessa variável nas áreas que são ocupadas principalmente por vegetação nativa e silvicultura (Figura 18).

Figura 18. Distribuição espacial dos fatores C e P da BHRV.

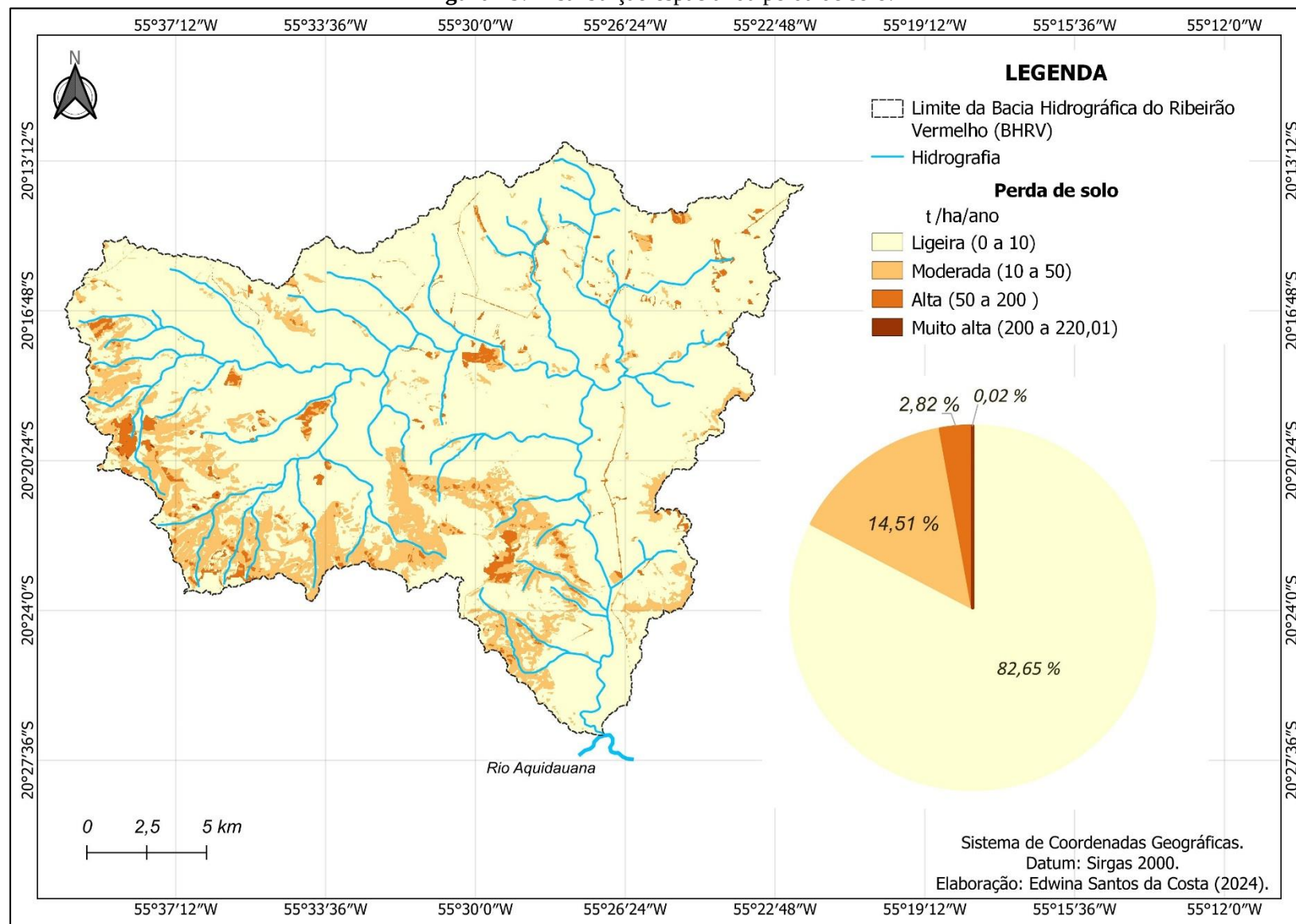


Embora as áreas de pastagem ofereçam uma certa proteção, é crucial destacar que pastagens degradadas não possuem a mesma eficiência que pastagens vigorosas. Nesse sentido, torna-se imperativo focar na restauração de áreas críticas, promovendo a proteção do solo e, por conseguinte, impulsionando o aumento da produtividade.

5.3 Avaliação da perda de solo

A perda de solo máxima para a BHRV foi de 220,01 t/ha/ano (Figura 19), concentrando-se os maiores valores em áreas com maior declividade e principalmente de solo desprotegido de cobertura vegetal.

Figura 19. Distribuição espacial da perda de solo.



Segundo a classificação da FAO (1980) a perda de solo (em t/ha/ano) a partir do modelo RUSLE é de: 0 a 10 (Ligeira), 10 a 50 (Moderada), 50 a 200 (Alta) e de 200 a 220,01 (Muito alta). Nota-se que na BHRV os maiores valores se concentram distribuídos pela bacia, concentrando-se principalmente em áreas de alta declividade.

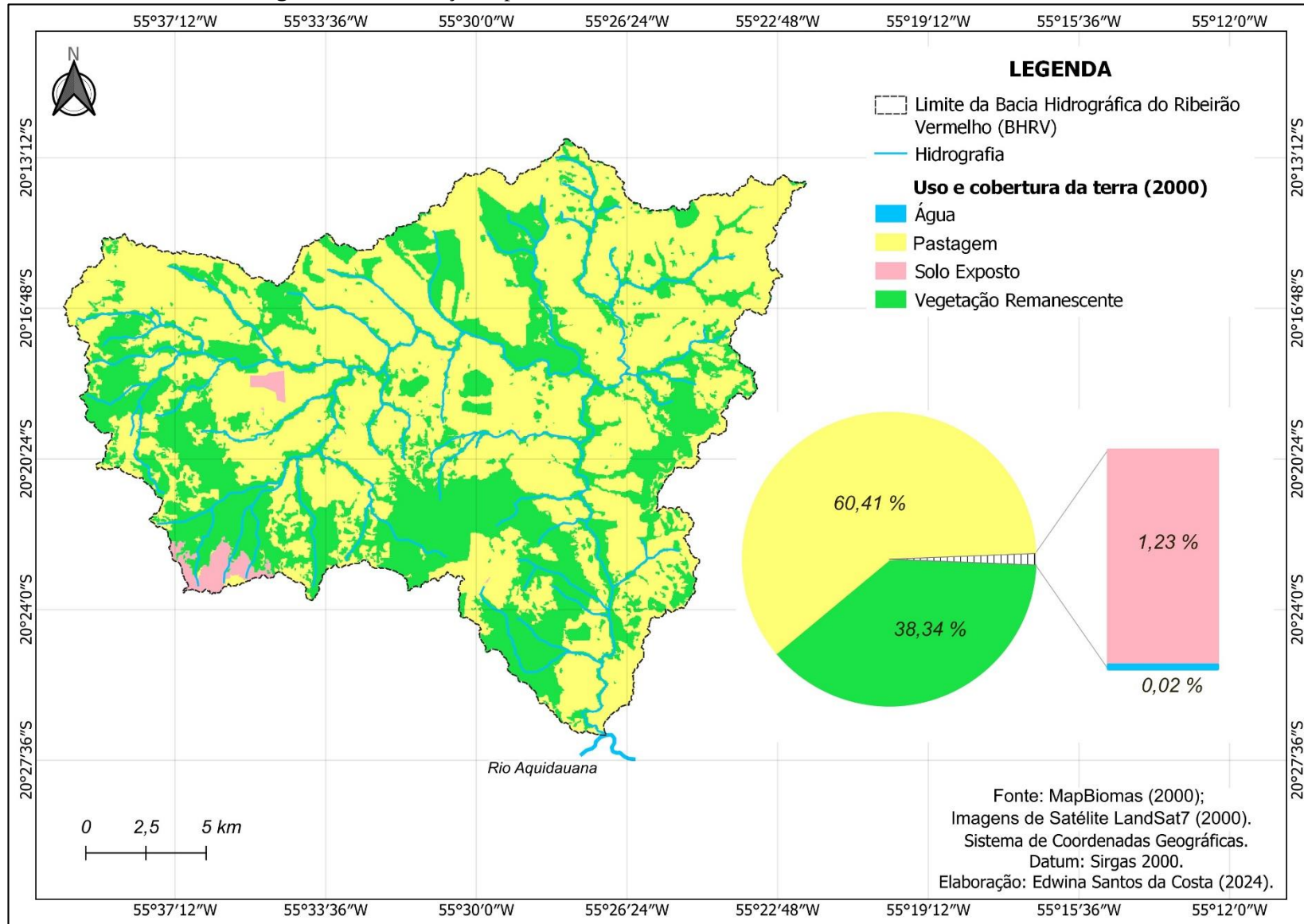
A perda de solo é considerada um problema causado pela erosão acelerada, deste modo conter o desenvolvimento da erosão é uma alternativa. No entanto, pensando-se em preservar antes de impactar para então recuperar, identificar áreas com maior tendência erosiva pode evitar futuros impactos, ressaltando-se sobretudo a importância das práticas conservacionistas.

5.4 Análise da mudança de uso e ocupação da terra em 2000 e 2020

É importante analisar temporalmente o uso e cobertura da terra quando se analisa fatores ambientais, deste modo apresenta-se na figura 20 e 21 os mapas de uso e ocupação da terra para os anos de 2000 e 2020 para BHRV, nos quais foram utilizados para a análise do fator C e P.

Para o ano de 2020 a área da BHRV apresenta algumas alterações, relacionada principalmente ao aumento do solo exposto, que apresenta um acréscimo de 2,35% (10,62 km²) passando a ocupar 3,58% (16,18 km²) da área, distribuído em várias partes da bacia.

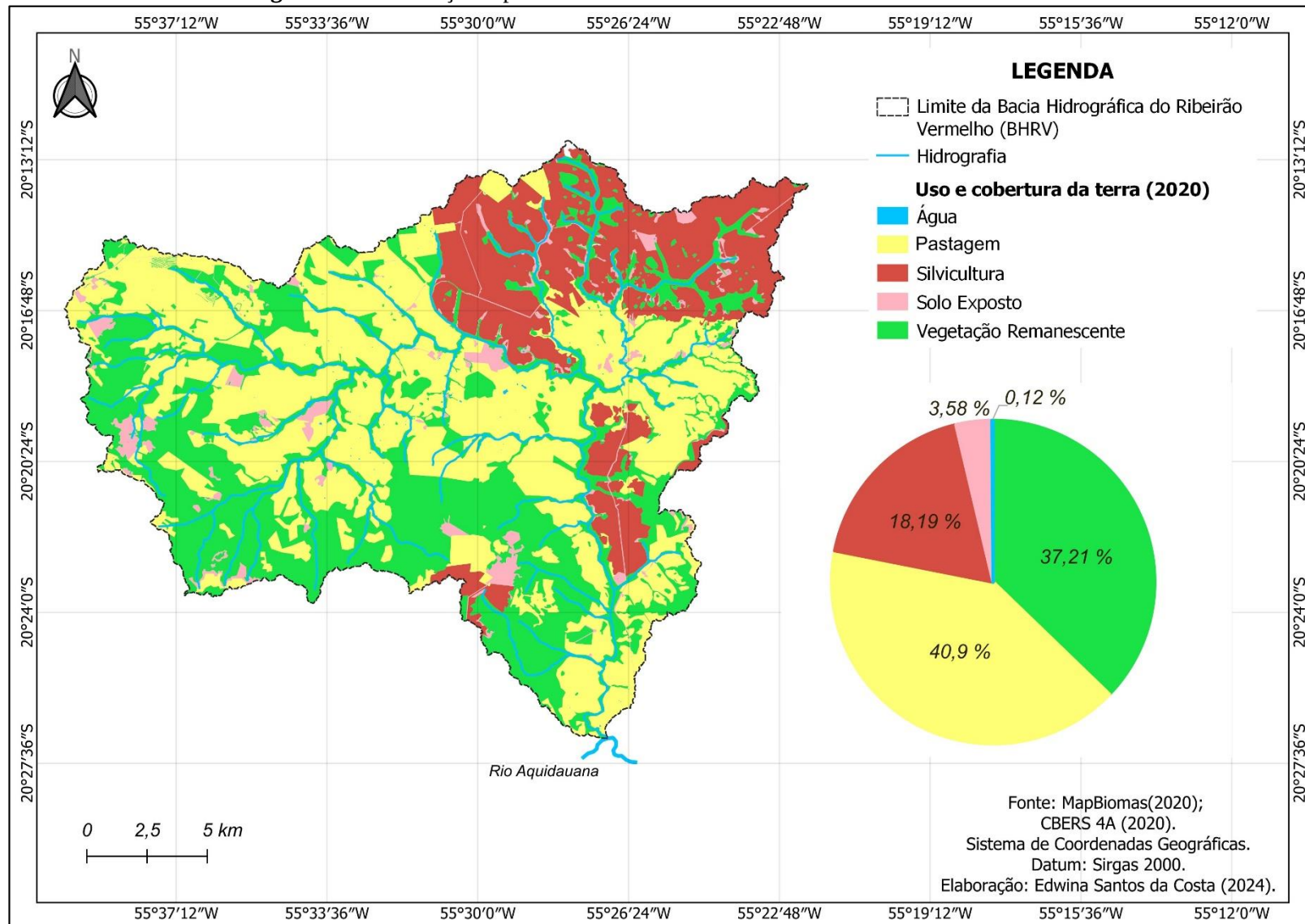
Figura 20. Distribuição espacial do uso e cobertura da terra do ano de 2000 na BHRV.



A classe Pastagem representou aproximadamente 60,41% da ocupação da área em 2000. Ao analisar a vegetação remanescente, que engloba áreas mantendo sua cobertura vegetal original ou preservando características essenciais de ecossistemas nativos, mesmo quando sujeitas a impactos decorrentes de atividades humanas, nota-se que essa porção abrange aproximadamente 38,34% da área.

Em análise temporal de 20 anos (2000 a 2020) observa-se que houve a implantação de uma nova atividade, a silvicultura, que se concentra a noroeste da bacia, ocupando cerca de 18,19% da área, no ano de 2020 (Figura 21).

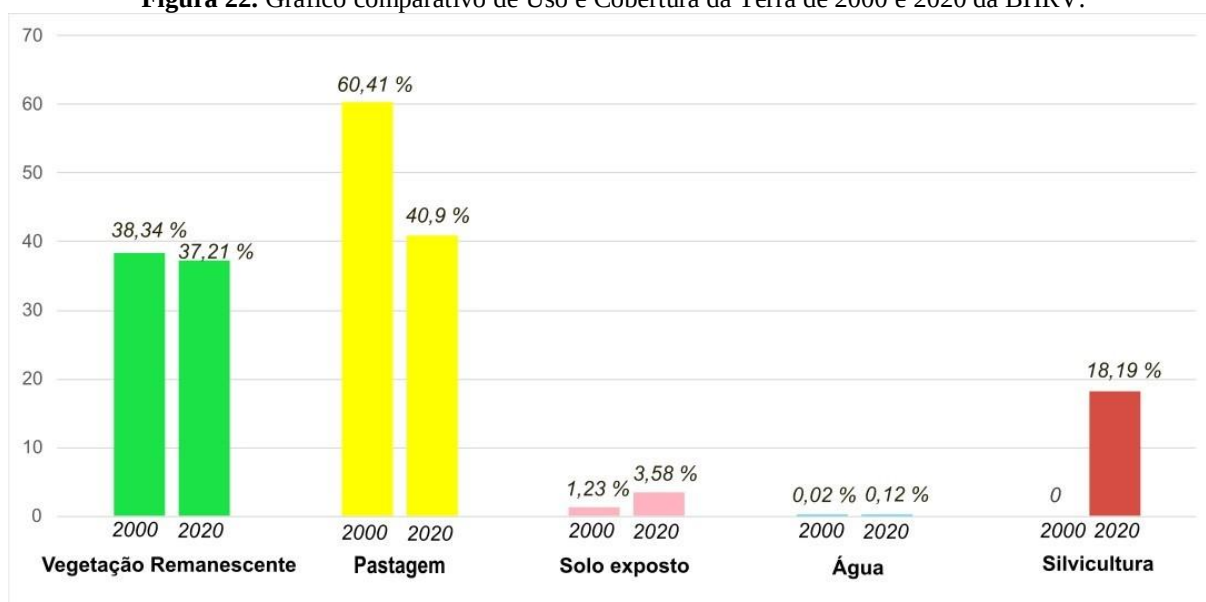
Figura 21. Distribuição espacial do uso e cobertura da terra do ano de 2020 na BHRV.



A vegetação remanescente, que tem importância significativa na proteção a erosão dos solos, teve um decréscimo de 1,13% da área da BHRV do ano 2000 ao ano de 2020. A pastagem, que ocupava pouco mais da metade da área (60,41%), também apresentou decréscimo, sendo de cerca de 19,51% para o ano de 2020.

O solo exposto por sua vez, que apresentava cerca de 1,23% aumentou 2,35%, passando a apresentar 3,58% da área em 2020, estando distribuído em fragmentos por toda a bacia. A água que se apresentava com 0,02% teve um aumento de 0,10%, passando a 0,12%, possivelmente devido ao grande número de açudes encontrados distribuídos pelas áreas de pastagem da bacia (Figura 22).

Figura 22. Gráfico comparativo de Uso e Cobertura da Terra de 2000 e 2020 da BHRV.



Fonte: MapBiomias (2000); LandSat 7 (2000).

A silvicultura, que não existia nessa área em 2000, passou a ocupar a área a partir de 2003 (Ferreira, 2016), e em 2020 já ocupava 18,19% da área. Embora haja uma boa expressão da silvicultura, a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2015, p.3) salienta que “quando o plantio de eucalipto ocorre em pastagens degradadas, o impacto da floresta é positivo na preservação e proteção do solo. Isso ocorre pelo fato das pastagens degradadas se apresentarem com solo praticamente descoberto”.

No entanto, nota-se que a área ocupada pela silvicultura não corresponde somente a áreas anteriores à pastagem, apresentando concentração em uma região e subtração quase que total da vegetação natural nas áreas das plantações, considerando os dois períodos analisados, 2000 e 2020.

Valadares, Landau e Maia destacam que no Mato Grosso do Sul identificou-se uma tendência média de aumento entre 2013 e 2017 na produção de eucalipto. Além disso, o MS é

um dos Estados que têm se destacado em termos de produção de madeira em tora de eucalipto para papel celulose entre os mesmos anos.

Conforme destacado pelo G1 (2023), Mato Grosso do Sul é atualmente o segundo maior produtor de celulose no Brasil, sendo superado apenas pela Bahia, porém lidera as exportações nacionais. Com três linhas industriais em operação, duas pertencentes à Suzano em Três Lagoas e uma à Eldorado no mesmo município, o Estado possui uma capacidade instalada que atinge a marca de 5 milhões de toneladas de celulose anualmente. Este volume coloca o Estado entre os maiores produtores mundiais desse recurso.

A silvicultura é frequentemente chamada de floresta plantada porque envolve o cultivo e manejo de árvores em áreas específicas para a produção de madeira ou outros produtos florestais. Pinto Júnior *et al.*, (2014) destacam que do ponto de vista ambiental, as florestas plantadas desempenham um papel crucial no combate às causas das mudanças climáticas, graças à sua notável capacidade de absorver carbono atmosférico. Elas oferecem benefícios significativos, incluindo o aprimoramento da fertilidade do solo, a reciclagem de nutrientes e a proteção de bacias hidrográficas, sendo cada vez mais adotadas em áreas afetadas pela erosão. Além disso, desempenham um papel relevante no sequestro de uma quantidade substancial de carbono da atmosfera, representando uma valiosa fonte potencial de fibras e bioenergia

Para a agricultura a conservação do solo tem objetivo de promover as melhores formas de uso, quanto a retirada da vegetação, reflorestamento e tipo de cultivo agrícola. Para tanto, o conhecimento sobre a perda de solo é importante para um melhor aproveitamento respeitando as individualidades locais. Além disso, “os agricultores podem preservar o solo e proporcionar maior estabilidade a seus empreendimentos se, para isto, tiverem vontade, e os meios materiais e os conhecimentos necessários” (Lepsch, 2002, p. 152).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método EUPSR revelou-se eficaz, permitindo identificar áreas com maiores tendências erosivas e estimar a perda de solo com base em fatores essenciais para compreender a dinâmica da paisagem.

Em resposta ao questionamento inicial: “Os tipos de uso e cobertura da terra advindos das múltiplas atividades econômicas tem contribuído para intensificação da perda de solo na bacia?”. É possível contatar e corroborar a hipótese inicial de que as atividades agropecuárias desenvolvidas nas propriedades contribuem para a perda de solo, acelerando os processos erosivos!

A análise da distribuição espacial da perda de solo na BHRV registrou uma perda de solo máxima de 220,01 t/ha/ano, com os valores mais expressivos concentrados em áreas de maior declividade, especialmente em locais desprovidos de cobertura vegetal. Esses resultados ressaltam a influência significativa da topografia e da presença de vegetação na dinâmica da erosão na região. A identificação desses padrões auxilia na compreensão dos fatores que contribuem para a perda de solo, fornecendo informações valiosas para estratégias de conservação e manejo sustentável do solo na BHRV.

A área da BHRV demonstrou alterações em termos de ocupação antrópica, inicialmente marcada por uma presença notável da pecuária, que ao longo do tempo, compete com outras atividades econômicas. Destacam-se a silvicultura, que ganha relevância, e a recente introdução da cana-de-açúcar, que começa a ocupar espaço na região da bacia.

Contudo, é importante ressaltar que a vegetação natural possui singularidade intrínseca, e embora a silvicultura forneça proteção ao solo e benefícios notáveis na regulação climática, não consegue criar todas as condições ideais para o pleno desenvolvimento das espécies animais locais. Portanto, a preservação e restauração da vegetação natural continuam sendo prioridades fundamentais para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos ecossistemas.

Com a divulgação dos resultados, espera-se que seja possível tomar decisões mais assertivas em relação ao uso e ocupação da área, respeitando as condições ambientais locais. Os resultados expressos nessa pesquisa permitirão a formulação de estratégias para a recuperação de áreas com maiores índices de perda de solo.

Vale destacar que a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho desempenha um papel fundamental como afluente do rio Aquidauana, que, por sua vez, contribui para a bacia do rio Miranda, responsável por alimentar a planície pantaneira. Portanto, as decisões embasadas nos

resultados dessa pesquisa não apenas afetarão a área em estudo, mas também terão impacto nas condições ambientais de todos os afluentes interligados.

Espera-se que o tema explorado neste trabalho possa servir como suporte e estímulo para pesquisas científicas subsequentes. Ademais, é aconselhável na área de estudo a adoção de dois períodos temporais distintos para análise, viabilizando a comparação das perdas e a aplicação de metodologias que permitam prever as perdas de solo por erosão.

Para concluir, é importante ressaltar que este trabalho teve início durante o período da pandemia, que se estendeu de 2020 a 2023, sendo declarado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 5 de maio de 2023 o término da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) relacionada à COVID-19. Essa contextualização temporal é relevante para compreender as condições sob as quais este trabalho foi conduzido.

7. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) –. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Hidroweb V3.2.6. 2000 a 2020. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Unidades de Conservação**. 2019. Disponível em: < <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>> . Acesso em: 10 jan. 2024.

AMADOR, Maisa Cofani. SILVA, Charlei Aparecido da. O Preenchimento de Falhas de Séries Históricas de Precipitação: O Método de Ponderação Regional Associado Ao Hidro-Plu e o Hidroweb1. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas** - V. 1, Nº 31, 2020.

AYACH, Lucy Ribeiro. SOUZA, Ivânia Mineiro de. SILVA, Jaime Ferreira da. O Planejamento das Unidades de Conservação a partir das bacias hidrográficas: Uma análise da Área de Proteção Ambiental Estrada Parque Piraputanga, Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Ciência Geográfica** - Bauru - Ano XXIII - Vol. XXIII - (2): Janeiro/Dezembro – 2019.

BACK, Á. J. **Bacias Hidrográficas: Classificação e Caracterização Física**. Florianópolis: Epagri, 2014.

BACK, Álvaro José; LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo; MATOS, Henrique; PEREIRA, Jori Ramos. Características Morfométricas Da Bacia Hidrográfica Relacionadas À Erosão Hídrica. In: POLETO, Cristina (Org.). **Hidrossedimentologia**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2019. p.21-52.

BACCHI, Cláudia Gonçalves Vianna; AYACH, Jamil Alexandre; ALMARO, Anache; SOBRINHO, Teodoro Alves. Geoestatística No Mapeamento Da Erodibilidade Dos Solos. In: POLETO, Cristina (Org.) **Hidrossedimentologia**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2019. p.121-144.

BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; EID, Nabil Joseph. Metodologia para elaboração de diagnóstico ambiental de perda laminar de solos, por meio de geoprocessamento. Estudo de caso: Distrito Federal. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p.57-77, 1998.

BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. **Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

BRANCO, Pércio de Moraes. **O Intemperismo e a Erosão**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2014. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/O-Intemperismo-e-a-Erosao-1313.html>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Folha SF-21, Campo Grande, 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Conservação do Solo e da Água**. 2017. Disponível em: < <https://encurtador.com.br/eqCLM> >. Acesso em: 10/01/2024.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. .:In: Carlos E. M. Tucci (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS: ABRH, 2001.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 10ª ed. São Paulo: Ícone, 2017.

CARVALHO, N.O. (2008). **Hidrossedimentologia Prática**, 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro, Brazil. 599 pp.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COSTA, Edwina Santos da. **Análise de Fragilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Nioaque-MS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2020.

CUBAS, Manyra Gutierrez.; TAVEIRA, Bruna Daniela de Araujo. **Geoprocessamento: fundamentos e técnicas**. Curitiba, InterSaberes, 2020.

CUNHA, Elias Rodrigues da. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá – MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.

CUNHA, Elias Rodrigues da.; BACANI, Vitor Matheus.; PANACHUKI, Elói. Modeling soil erosion using RUSLE and GIS in a watershed occupied by rural settlement in the Brazilian Cerrado. **Natural Hazards** 85(2) 851–868, 2016.

DESMET, P. J.; GOVER, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE-LS fator on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. V. 51, n 5, p.427-435, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo** / TEIXEIRA, Paulo César et al. (Ed.). 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cerrado**, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

EOS Land Viewer. Dados geoespaciais de satélites. Disponível em: < <https://eos.com/landviewer/?lat=-21.29950&lng=-57.34310&z=11> >. Acesso em: 15/10/2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Metodologia provisional para la evaluacion de la degradacion de los suelos.** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Roma, 1980.

FERREIRA, Ednilson Mendes. **Uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho nos anos de 1988, 2000 e 2014 – nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti – MS.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2016.

FINKLER, Raquel. **Planejamento, manejo e gestão de bacias.** Acervo Educacional sobre Água. ANA – Agência Nacional de Águas. 2004. Disponível em: < <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2560>>.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica.** São Paulo: Oficina de textos, 2008.

G1. Globo.com. MS se transforma na 'bola da vez' da indústria de celulose e ganha destaque mundial. 2023. Disponível em: < <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2023/01/30/ms-se-transforma-na-bola-da-vez-da-industria-de-celulose-e-ganha-destaque-mundial.ghtml>>. Acesso em: 20/02/2024.

GUERRA, Antonio José Teixeira. O início do processo erosivo. In. Guerra, Antonio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceito e aplicações.** 3º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, Antonio José Teixeira.; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Erosão do solo. In: **Geomorfologia do Brasil.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.

GABOARDI, Shaiane Carla.; PANHO, Leila Maria. A Importância do Trabalho de Campo Em Geografia: Reflexões Acerca da Questão Agrária no Noroeste do Paraná. **Anai... XVIII Encontro Nacional de Geógrafos.** A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia. São Luís/MA, 2016.

HENDGES, Letiane Thomas.; REINHER, Roselaine Cristiane Rejei.; LEICHTWEIS, Jandira.; FERNANDES, Édina Jaíne.; TONE, Aline R. M. Planeamento do uso do solo em bacias hidrográficas: áreas agrícolas; áreas urbanas e áreas de preservação permanente. **Anais... XXV Seminário de Iniciação Científica.** Salão do conhecimento a matemática está em tudo. Campus da Unijuí, Panambi, Santa Rosa e Três Passos/RS. 2017.

IMASUL. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Miranda.** Diagnóstico, produto 5. Campo Grande, 2014. Disponível em: <<https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/06/Diagn%C3%B3stico-Final-Plano-de-Bacia-Miranda.pdf>> Acesso em: 14 jun. 2023.

IMASUL. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Miranda.** Proposta, produto 17. Campo Grande, 2016. Disponível em: < https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/101_BHRM_CONSOLIDA%C3%87%C3%83O_FINAL-20T_07_04.pdf> Acesso em: 14 jun. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Silvicultura e os recursos hídricos**. 2015. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/pdfs/silvicultura-hidricos.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências número 4. 2º ed. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico em geociência número 5**. Manual Técnico de Geomorfologia. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico em geociência número 1**. Manual Técnico de Vegetação Brasileira. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades Aquidauana**. 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/aquidauana/panorama>>. Acesso em: 10 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2022. Disponível em: < <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=15>>. Acesso em: 04 fev. 2022.

IVASKO JÚNIOR, Severo; MASTELLA, Alexandre Dal Forno; TRES, Andressa; TETTO, Alexandre França; WENDLING, Willian Thomaz. Classificação do estado de Mato Grosso do Sul segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 16 – Vol. 26 – 2020.

JORGE, Maria do Carmo Oliveira; GUERRA, Antônio José Teixeira. Erosão dos Solos e Movimentos de Massa – Recuperação de Áreas Degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira (Org.) **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

KOBIYAMA, Masato. **Recursos hídricos e saneamento** / Masato Kobiyama, Aline de Almeida Mota, Cláudia Weber Corseuil – Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008.

LAMANA, Chirley Xavier. **Os solos**. 2013. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Os-Solos-2620.html?tpl=printerview>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

LEITE, Emerson Figueiredo. **Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental: o exemplo da Bacia do Rio Formiga – TO**. Tese (Doutorado em Geografia e Gestão do Território) Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia - MG, 2011.

LEPSCH, Igor Fernando. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEONARD, Ivan Rodrigo. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto para recursos hídricos**. Curitiba: Contentus, 2020.

LIMA, Valmiqui Costa.; MELO, Vander de Freitas. Perfil do solo e seus horizontes. In: **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007.

LOMBARDI NETO, Francisco; MOLDENHAUER, Willian Calvin. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas (SP)**. Bragantia, Campinas, v.51, n.2, 1992. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/JVzbSngjnsnGX3mFhQyXQNG/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

LOURENÇO, Roberto Wagner.; MARTINS, Antonio Cesar Germano.; ROVEDA, Sandra Regina Monteiro Masalskiene.; ROVEDA, Jose Arnaldo Frutuoso.; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Análise espacial de dados geográficos**. In: Meio Ambiente e Sustentabilidade. Org. ROSA, André Henrique; Fraceto, Leonardo Fernandes; MOSCHINI-CARLOS, Viviane. São Paulo: Bookman, 2012.

MARTINS, Fernanda; FREITAS, Andreza Rocha de. Identificação das unidades de Paisagem na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras, em Irati-PR. **Revista Perspectiva**, Erechim. v. 38, n.143, p. 39-49, 2014.

MCCOOL, D. K. *et al.* Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, 32(5), 1571-1576. 1989.

MCCOOL, D. K. *et al.* Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, 30(5), 1387-1396. 1987

OPENGIS. USLE (**Perda de Solo** - Fator L, S, LS, A) no QGIS 3 - Parte 2/2. *YouTube*, 5 de jul. de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iue_Vfn_Vu4>. Acesso em: 10/11/2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>. Acesso em: 25 out. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. FAO alerta sobre degradação de um terço dos solos do planeta. 2021. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A.; Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena** 100, 139-47, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>.

OLIVEIRA, P. T. S; RODRIGUES, D. B. B; SOBRINHO, T. A; CARVALHO, D. F; PANACHUKI, E. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola** [online]. 2012, v. 32, n. 1. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/eagri/a/dLZ9JwQ5sSHWCvjqxP5LHgG/?lang=en#>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

PAIM, Jean Berná. **Aplicação da equação universal de perda do solo para a bacia hidrográfica do rio Piçarras utilizando técnicas de geoprocessamento**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

PEREIRA, Benedito Alísio da Silva; VENTUROLI, Fábio; CARVALHO, Fabrício Alvim. **Florestas Estacionais No Cerrado: Uma Visão Geral**. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 446-455, 2011.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, José Eduardo dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. (Editores). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA. Editora: Editus, 2002.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SILVA, H. D. da.; AHRENS, S. Aspectos socioeconômicos, ambientais e legais da eucaliptocultura. In: SANTOS, P. E. T. dos (Ed.). **Cultivo do eucalipto**. 4. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. (Embrapa Florestas. Sistema de Produção, 4). Disponível em: <
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155567/1/EmbrapaCultivoDoEucalipto2014.pdf>> . Acesso em: 20/02/2024.

PHILIPPI JR, Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo; CARVALHO, Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira. Bacia hidrográfica no contexto da sustentabilidade. In: PHILIPPI JR, Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo (Editores). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1ª ed. Barueri, SP: Manole, 2019.

QGIS. **Análise Espacial (Interpolação)**. Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). 2022. Disponível em: <
[>](https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#:~:text=Pondera%C3%A7%C3%A3o%20pelo%20Inverso%20da%20Dist%C3%A2ncia%20(IDW),quer%20criar%20(ver%20figure_idw_interpolation)). Acesso em: 29 set. 2022.

RENARD, K. G; FOSTER, G., WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook** No 703. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.

RODRIGUES, Cleide; ADAMI, Samuel. **Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas**. In: Praticando Geografia técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental. Org. Luiz Antonio Bittar Venturi. São Paulo – SP. Oficina de Textos, 2005.

ROCHA, José Sales Mariano da. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. 5. Ed. – Santa Maria: Edições UFSM, 2001.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. Ed. 9ª. São Paulo: Contexto, 2012.

SANTOS, Adriana Bilar Chaquime. **Análise da vulnerabilidade natural da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho/MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2022.

SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS NETO, José Ramalho dos. **Distribuição espacial do potencial de erosão hídrica na bacia do rio Araçuaí – MG**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia, Ambiente e Sociedade) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Teófilo Otoni, 2017.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. Controle e prevenção dos processos erosivos. In. GUERRA, Antonio Jose Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (Org.) **Erosão e conservação do solo: conceito, temas e aplicações**. 3º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

SEBRAE/MS - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Desenvolvimento econômico territorial, Mato Grosso do Sul: Aquidauana Pantanal**. 2020. Disponível em:
<<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/MS/Anexos/Mapa%20Oportunidades/Mapa%20de%20Oportunidades%20AQUIDAUANA.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SIBCS – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SANTOS, Gonçalves dos et al. 5. Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, Antonio Soares da. Análise Morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceito e aplicações**. 3º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 340p.

SILVA, Valtercides Cavalcante da. **Erosão atual, erosão potencial e aporte de sedimentos na bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF)**. Tese (Doutorado nº45) Universidade de Brasília, Instituto de geociências. Brasília-DF, 2001.

SILVA, Rui Corrêa da. **Mecanização e manejo do solo**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2014.

SILVA, Laís Coêlho do Nascimento; LUCHIARI, Ailton. Estimativa de Perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Bagaçu – SP. **Revista do Departamento de Geografia USP**. V. 32. 2016.

SOUZA, Marcelo Lopes de. **Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial**. 5º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

STEIN, Ronei Tiago. **Manejo de bacias hidrográficas** [recurso eletrônico] Porto Alegre: SAGAH, 2017.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESS, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial**. Coleção geografia, v. 3, São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TAVEIRA, Bruna Daniela de Araújo. **Hidrogeografia e gestão de bacias**. Curitiba: InterSaberess, 2018.

VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C.; MAIA, N. L. M. Evolução da produção de eucalipto (*Eucalyptus* spp. e outros gêneros, Myrtaceae). In: **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 3, cap. 44, p. 1435-1500.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook, n. 537, Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

8. Anexo - A

Dados das principais Estações Pluviométricas utilizadas no preenchimento de falhas para esse trabalho.

Falhas preenchidas pelo método da Ponderação Regional

Estação Pluviométrica Palmeiras

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2000	60,8	260,6	362,9	39,2	23,6	0	33	60	36,7	88,5	94,1	252,4	1311,8
2001	149,1	187,7	72	65,5	98,2	13,3	53,5	32,2	145,7	160,6	304,1	171,4	1453,3
2002	105,3	112,2	97,7	16,4	51,3	0	78,4	11,6	35,2	65,54	129,6	100,7	803,94
2003	282,4	55	129,1	97,4	53	46,3	65	113,8	108,3	300,5	115,7	148,8	1515,3
2004	79,9	228,5	97,9	80,9	153,6	36	58,9	0	24,2	138,9	185,3	325,3	1409,4
2005	265,2	26	87,2	49,6	128,5	96,4	20,5	3,5	49,1	275,3	164,8	325,9	1492
2006	136,4	128,3	286,2	169	74,8	27,5	13,8	26,3	140,9	114,7	259,6	464,9	1842,4
2007	190,9	178,7	71,78	43,9	44,4	0	54,4	0	29,3	81,24	252	218,8	1165,42
2008	179,4	68,4	175,9	50,3	171,4	20,3	0	59,7	35,8	84,3	157,3	117,2	1120
2009	209,6	90,2	171,7	9,3	89,6	110	73,4	174,6	67,8	193,1	97,5	243,7	1530,5
2010	266,1	130,6	75,9	54,1	99,5	4,7	16,6	0	123,7	109,4	164,1	138,5	1183,2
2011	177,4	127,4	537,2	97,8	5,3	26,2	21,7	22,3	59,9	163,7	101,7	26,3	1366,9
2012	167,7	130,3	77,8	88,9	78,5	203,9	19,7	0,5	41,2	135,4	148,3	99,4	1191,6
2013	48,6	126,8	162,8	214,4	66,2	152,3	81,9	0	64,7	131,9	95,5	127,9	1273
2014	182,3	74,4	201,5	79,7	275,9	80	143,9	50,7	171,2	25,5	237,1	250,9	1773,1
2015	179,8	108	63,6	101,1	170,4	100,1	107,6	13,5	175,1	66,25	176,61	239,13	1501,19
2016	217,52	201,7	110,8	43,9	226,1	24,7	16,5	137,6	107,9	33,7	148,5	146,8	1415,72
2017	136,82	121,5	154,2	201,6	116,4	78,6	0	44,9	33,8	222,2	125,9	166,1	1402,02
2018	220,2	273,6	166,2	73,9	92,4	64,8	0	128,7	112,8	102,1	52	99,5	1386,2
2019	147,5	240,2	131,9	123,9	29,5	16,8	76,9	0	42,1	88,8	115,3	206,3	1219,2
2020	203	254,7	80,5	78,1	178,9	44,1	24,4	111,9	16,3	195,3	105,7	240,5	1533,4

Estação Pluviométrica Cipolândia

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2000	54,5	161,4	329,9	53,4	36,1	2	40,3	88,3	73,8	33,9	51,1	266,1	1190,8
2001	104,7	137,8	83,7	16	50,8	28	37,4	42,3	97,1	158,9	319,9	210,6	1287,2
2002	75,9	97,8	74,1	4,7	25	0	41,5	7,3	87,4	49,3	140,8	140,8	744,6
2003	194,2	35,5	146,5	63,5	38,9	15	30	84,8	48,3	257,3	183,9	149,6	1247,5
2004	103,4	94,2	78,9	83,8	154,9	62,8	51,6	0	9,7	151,8	182,4	90,1	1063,6
2005	139,2	21,1	121,7	59,8	64,8	111	24,5	0	57	166,5	249,3	151,5	1166,4
2006	152,7	178,9	171,6	178,8	64,2	0	5,5	9,7	138,9	104,3	119,2	214,1	1337,9
2007	151,2	200,90	53,9	58,1	67,1	0	28,5	0	12,5	83	150,3	122,1	927,60
2008	361,8	99	51,6	76,8	92	6,1	0	53,9	15,4	95,76	130,9	170,8	3162,06
2009	219,1	170,86	130,6	0	68,6	34	65,3	196,6	81,7	214,7	124,7	331,1	1637,26
2010	272,3	238,7	134,1	57,3	84,5	6,2	33,7	0	161,4	212,7	201,9	48,7	1451,5
2011	376,2	317,1	586,7	135,6	6	2,1	2,3	31,2	57,1	176,1	122,2	100,3	1912,9
2012	106,9	216,3	71,2	117,8	85,5	120,5	6	9,2	57,9	142,2	224,1	144,2	1301,8
2013	70,5	267	236,1	302,4	41,6	151,7	42,3	0	71	128,4	77,9	186,2	1575,1
2014	237,5	117,60	219,5	35,2	293,7	21,1	102,24	19,4	43,3	119,7	267,2	265,7	1742,14
2015	119,2	160,5	119,8	105,3	143,2	17,5	90,2	15,6	171,3	73,53	177,36	167,80	1361,28
2016	267,93	141,4	173,9	100,4	87,3	47,4	13,6	99,2	67,3	160,7	152,7	362,8	1674,63
2017	242,9	49,4	121,2	123,7	142,5	66,8	0	51,9	9,5	250,2	241,5	120,6	1420,2
2018	244,5	335	88,6	97,8	56,4	14,6	0	92,9	194	50,1	138,5	66,9	1379,3
2019	114,9	190,3	203,8	105,7	52,9	21	27,1	0	37,2	47	148,9	290,7	1239,5
2020	206,5	267,56	22,7	106,3	179,9	33,5	0	68,8	17,2	144,1	90,9	174,3	1311,76

Estação Pluviométrica Taboco

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2000	56,6	209,9	383,9	144,4	0	0	48,8	61,8	98,7	89,1	88,3	535,2	1716,7
2001	243,8	262,6	254,5	390,4	136,4	39	36,2	55	116,6	197,4	242,2	269,9	2244
2002	63,9	242,1	116,8	9,4	25,6	0	29,4	40,6	51,6	90,8	170,2	49,9	890,3
2003	438,7	115,1	50	127,6	27,3	50,1	60,9	118,8	69,3	387,4	149,5	249,7	1844,4
2004	164,3	86,9	40,5	194,1	105,6	35,4	45,3	0	17,7	155,9	178,5	271,3	1295,5
2005	317,7	101,1	149,1	109,2	122,2	120,4	33,7	0	111,2	23,4	356,7	205,9	1650,6
2006	46,9	230,8	197,5	149	63,3	5,7	3,5	13,4	145	53,5	170,5	234,5	1313,6
2007	353,3	177,3	72,5	101	69,8	0	39,6	0	0	51,3	114,2	191	1170
2008	529,3	263,1	48,8	196	97,49	2,4	0	46,5	18,5	95,2	103,6	132,2	1533,09
2009	72	61,5	192,3	0	26	0	107,9	141,9	43,1	145,7	58,3	232,5	1081,2
2010	381,67	269,47	138,5	70	85,5	12	23	0	72	128,6	173,5	111	1465,24
2011	400	242	365,5	37,5	25	3,3	0	37,5	49,5	135	123	95,6	1513,9
2012	128	155,5	33	53	71	151	4,9	4,7	57,1	101,8	104,3	185,4	1049,7
2013	161,1	178,9	175,78	323,92	37,2	208,6	68,42	0	37,1	85,5	97,3	217,8	1591,62
2014	167,3	74,5	278,1	80,61	189,6	46,93	99,30	15,5	74,6	15,5	220,8	227,7	1490,44
2015	68,7	240,2	0	112,3	160,5	0	64,4	17,7	157,1	44,65	148,46	206,79	1220,80
2016	229,54	230,9	95,7	67,7	81	50,6	66	65,68	75,1	78,8	42,5	319,2	1402,72
2017	90,5	91,4	95,1	212,3	121,5	35,5	0	3,9	2,7	63,3	134,7	113,5	964,4
2018	177	370	127,5	73	54,5	0	0	72	172	106	126,5	185,5	1464
2019	61	257	73	113	51	27	0	0	35	29	104	179,5	929,5
2020	204,00	150,50	15,00	59,00	213,50	46,50	0,00	60,00	0,00	54,50	66,92	31,00	900,92