

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS DO PONTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO PONTAL**

TATIANE DIAS ALVES

**PERDA DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA E A INFLUÊNCIA DA APROPRIAÇÃO
E OCUPAÇÃO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO
LOURENÇO, MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

**ITUIUTABA
2026**

TATIANE DIAS ALVES

**PERDA DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA E A INFLUÊNCIA DA APROPRIAÇÃO
E OCUPAÇÃO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO
LOURENÇO, MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal (PPGEP), do Instituto de Ciências Humanas do Pontal (ICHPO), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmicas ambientais

Orientador (a): Prof^a Dr^a Leda Correia Pedro Miyazaki

**ITUIUTABA
2026**

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A474 2026	Alves, Tatiane Dias, 1995- Perda de solos por erosão hídrica e a influência da apropriação e ocupação do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, município de Ituiutaba-MG [recurso eletrônico] / Tatiane Dias Alves. - 2026. Orientadora: Leda Correia Pedro Miyazaki. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia. Modo de acesso: Internet. DOI http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.370 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Geografia. I. Miyazaki, Leda Correia Pedro, 1979-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Geografia. III. Título. CDU: 910.1
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

TATIANE DIAS ALVES

**PERDA DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA E A INFLUÊNCIA DA APROPRIAÇÃO
E OCUPAÇÃO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO
LOURENÇO, MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Leda Correia Pedro Miyazaki (Orientadora)
Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal (PPGEP)
Instituto de Ciências Humanas do Pontal - Universidade Federal de Uberlândia (ICHPO-UFU)

Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa (Membro Interno)
Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal (PPGEP)
Instituto de Ciências Humanas do Pontal - Universidade Federal de Uberlândia (ICHPO-UFU)

Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues (Membro Externo)
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO)
Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva - Universidade Federal de Uberlândia (IGESC-UFU)

Ituiutaba, 24 de abril de 2026



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Geografia do Pontal - PPGE				
Defesa de:	Mestrado Acadêmico				
Data:	24 de abril de 2026	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:00
Matrícula do Discente:	22412GEO012				
Nome do Discente:	Tatiane Dias Alves				
Título do Trabalho:	Perda de solo por erosão hídrica e a influência da apropriação e ocupação do relevo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Município de Ituiutaba-MG				
Área de concentração:	Produção do espaço e dinâmicas ambientais				
Linha de pesquisa:	Dinâmicas Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Fragilidade e Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares no município de Ituiutaba-MG				

Reuniu-se através de conferência pelo Google Meet, Campus Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal assim composta: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues – PPGE/IGESC; Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa – PPGE/UFU, além do Profa. Dra. Leda Correia Pedro Miyazaki-PPGE/UFU, Ituiutaba - MG, orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, a Profa. Leda Correia Pedro Miyazaki, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

APROVADA

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Leda Correia Pedro Miyazaki, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/04/2026, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvio Carlos Rodrigues, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/04/2026, às 08:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rildo Aparecido Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/04/2026, às 08:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7250702** e o código CRC **3AD511FB**.

Dedico este trabalho ao meu avô
(in memoriam), cuja presença
permanece viva em minha
memória e em minha trajetória.
Esta conquista é também uma
forma de honrar sua história.

AGRADECIMENTOS

“Agradecer é reconhecer que nenhuma conquista é construída sozinha.”

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Marinês e Marco Antônio. Nenhuma palavra é capaz de expressar plenamente a gratidão que sinto pelo amor incondicional, pelo apoio constante e pelo incentivo que sempre me ofereceram ao longo de toda minha vida e durante minha trajetória acadêmica. Foi graças a vocês que tive a oportunidade de estudar, crescer e construir meu caminho, e por isso deixo aqui o meu mais sincero agradecimento. Amo vocês.

À minha família, expresso minha profunda gratidão pelo carinho, pelo cuidado e pelo apoio constante. Em especial, agradeço ao meu primo Vinicius, à minha prima e tia Patrícia e as minhas tias Marineide e Rosineide, pelo afeto e pela forma acolhedora com que sempre estiveram ao meu lado ao longo de toda minha jornada.

Ao meu companheiro, Pedro Henrique, agradeço por estar ao meu lado em todos os momentos, compartilhando comigo as dificuldades, as conquistas e os desafios dessa caminhada. Obrigada pelo carinho, pela paciência, pelo apoio constante e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos em que tudo parecia difícil. Seu incentivo foi fundamental para que eu concluísse este mestrado e permanecesse firme na busca pelos meus objetivos.

Aos professores Antônio de Oliveira Junior e Saul Moreira, registro minha profunda gratidão pela amizade construída desde a graduação, por me incentivarem continuamente em minha formação acadêmica e profissional, sempre acreditando em meu potencial, inclusive quando eu mesma duvidei da minha capacidade.

À professora Leda Miyazaki, minha orientadora desde a graduação, expresso minha profunda gratidão pelo apoio constante, pela dedicação e pelos ensinamentos compartilhados ao longo dessa trajetória. Sua orientação, confiança e incentivo foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

Aos meus amigos Leticia Paranaíba, Henrique Archanjo, Mateus Belchior, Mariana Rodrigues, Driele Núbia, Lara Dantas e João Moreira, agradeço pelas conversas, pelas palavras de incentivo e, principalmente, por estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis. O apoio, a escuta e a presença de vocês tornaram esse percurso muito mais leve. E também agradeço à minha amiga de infância Kellen Barbosa, que apesar da distância física, sua presença e amizade sempre se fizeram constantes.

Aos técnicos João e Natalia, agradeço por disponibilizarem as instalações do laboratório de química para a realização da pesagem das amostras de solo, bem como pelas conversas descontraídas sempre acompanhadas de um bom café.

Agradeço também aos alunos frequentadores do laboratório PEDOGEO, pela companhia no dia a dia, pelas conversas e pelos momentos compartilhados no laboratório, que tornaram essa caminhada mais leve e agradável.

Da mesma forma, agradeço aos demais mestrandos do ano de 2024, pelos momentos que dividimos, pelas conversas muitas vezes desesperadas sobre as dificuldades enfrentadas ao longo do processo e pelo apoio mútuo. Vocês tornaram essa jornada mais fácil de ser percorrida.

Aos professores que, dentro e fora da sala de aula, contribuíram para meu crescimento acadêmico e pessoal, deixo meu sincero agradecimento. Em especial, aos professores Carlos Roberto Loboda e Gerusa Moura, pelo incentivo, pelos ensinamentos e pelo apoio ao longo da graduação e do mestrado.

Aos membros da banca examinadora, professor Rildo Aparecido Costa e professor Silvio Carlos Rodrigues, agradeço a disponibilidade em participar da avaliação deste trabalho e pelas valiosas contribuições, que enriqueceram significativamente esta pesquisa. É uma honra contar com as considerações de profissionais pelos quais tenho grande admiração e respeito.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal, expresso minha gratidão pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico e científico proporcionada ao longo do mestrado. Agradeço aos docentes, técnicos e colaboradores do programa pelo comprometimento e pela contribuição para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido ao longo do mestrado, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. O financiamento de pesquisas é primordial para o fortalecimento da ciência e da produção do conhecimento, contribuindo não apenas para o avanço acadêmico, mas também para a melhoria de vida da sociedade.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de diferentes formas, fizeram parte dessa caminhada e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta conquista. A todas e todos, deixo aqui o meu mais sincero obrigada.

*“A terra atrai irresistivelmente o homem,
arrebatando-o na própria correnteza dos rios
que, do Iguaçu ao Tietê, traçando
originalíssima rede de drenagem, correm da
costa para os sertões, como se nascessem nos
mares e canalizassem as suas energias eternas
para recessos das matas opulentas.”*

Euclides da Cunha, Os sertões, 1902.

RESUMO

A erosão do solo é um processo natural de esculturação do relevo, ocorrendo de forma contínua na superfície terrestre. No entanto, as ações antrópicas tendem a intensificá-la, ampliando a perda de solos e os impactos ambientais. Apropriação e a ocupação do relevo contribuem para a destabilização dos processos naturais, rompendo o equilíbrio dinâmico e provocando alterações nos processos hidrológicos, especialmente na infiltração da água no solo. Diante disso, a bacia hidrográfica tem sido amplamente adotada como unidade de análise, por permitir a integração entre os aspectos físicos e socioeconômicos. O objetivo geral desta pesquisa consiste em compreender a perda de solos decorrente da erosão hídrica, bem como analisar a forma de apropriação e ocupação do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, no município de Ituiutaba/MG, e as respostas do ambiente frente a essas intervenções. Para alcançar esse objetivo, foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: (a) revisão bibliográfica dos principais conceitos abordados; (b) levantamento de dados e bases cartográficas; (c) extração dos parâmetros morfométricos; (d) realização de trabalhos de campo para coleta de amostras e registros fotográficos; (e) análise morfológica e granulométrica dos solos; (f) elaboração de mapas temáticos, incluindo localização da área, hierarquia fluvial, hipsometria, declividade, litologia, relevo, solos, uso e cobertura da terra e feições erosivas; e (g) determinação e espacialização dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a saber: Fator R (erosividade das chuvas), Fator K (erodibilidade dos solos), Fator LS (fator topográfico) e Fator CP (uso, manejo e práticas conservacionistas). Como resultados, foi constatado que a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço apresenta uma área de drenagem de 294,11 km² e um perímetro de 119,02 km. A área de estudo apresenta baixa propensão à ocorrência de grandes enchentes, em função de sua forma alongada. Além disso, o relevo suavemente ondulado, com baixa amplitude altimétrica, aliado à reduzida densidade hidrográfica e de drenagem, indica menor suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos intensos. No que se refere aos fatores da EUPS, o Fator R apresenta valor médio de 7720,49 MJ·mm/ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹, com precipitação média de 1363,6 mm. O Fator K varia entre 0,0479 e 0,0792 t·ha·h/ha·MJ·mm⁻¹, estando associado aos Latossolos, Gleissolos, Neossolos e Cambissolos, desenvolvidos sobre as Formações Marília, Vale do Rio do Peixe e Serra Geral. O Fator LS predominante situa-se entre 0 e 2, abrangendo aproximadamente 82,3% da área, refletindo as baixas declividades. Já o Fator CP varia de 0, em áreas com adequada cobertura e manejo do solo, até 1, em áreas de solo exposto. Em relação à perda de solo anual, observa-se que 72,9% da bacia apresenta perdas de até 10 t·ha⁻¹·ano⁻¹, caracterizando predomínio de erosão laminar de baixa intensidade. No entanto, foram identificadas 268 ocorrências de feições erosivas lineares concentradas principalmente no alto e baixo curso da bacia, bem como em áreas de cabeceiras de drenagem. A análise integrada dos pontos amostrais evidenciou que a apropriação e ocupação do relevo tem intensificado as dinâmicas erosivas e, conseqüentemente, a perda de solos, refletindo a morfodinâmica atual da bacia. Nesse contexto, essa pesquisa contribui não apenas para o avanço do conhecimento acadêmico, mas também fornece subsídios relevantes para a gestão territorial e o planejamento urbano e ambiental, visando a conservação do solo e dos recursos hídricos, promovendo uma abordagem integrada entre as dinâmicas socioambientais.

Palavras-chave: erosão de solos; EUPS; morfodinâmica; impactos socioambientais; gestão territorial.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural process of landscape shaping that occurs continuously on the Earth's surface. However, anthropogenic activities tend to intensify this process, increasing soil loss and associated environmental impacts. Land appropriation and occupation contribute to the destabilization of natural processes by disrupting the dynamic equilibrium and altering hydrological processes, especially water infiltration into the soil. In this context, the watershed has been widely adopted as a unit of analysis, as it enables the integration of physical and socioeconomic aspects. The main objective of this research is to understand soil loss resulting from water erosion, as well as to analyze land appropriation and occupation patterns within the Ribeirão São Lourenço watershed, located in the municipality of Ituiutaba, Minas Gerais, Brazil, and the environmental responses to these interventions. To achieve this objective, the following methodological procedures were adopted: (a) literature review of key concepts; (b) collection of data and cartographic bases; (c) extraction of morphometric parameters; (d) fieldwork for sample collection and photographic records; (e) morphological and granulometric soil analysis; (f) preparation of thematic maps, including location, fluvial hierarchy, hypsometry, slope, geology, geomorphology, soils, land use and land cover, and erosive features; and (g) determination and spatialization of the factors of the Universal Soil Loss Equation (USLE), namely: R factor (rainfall erosivity), K factor (soil erodibility), LS factor (topographic factor), and CP factor (cover, management, and conservation practices). The results indicate that the Ribeirão São Lourenço watershed has a drainage area of 294.11 km² and a perimeter of 119.02 km. The study area shows a low propensity for major flooding due to its elongated shape. In addition, the gently undulating relief, with low altimetric amplitude, combined with low hydrographic and drainage densities, indicates lower susceptibility to intense erosive processes. Regarding the USLE factors, the R factor presents an average value of 7720.49 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·year⁻¹, with an average annual precipitation of 1363.6 mm. The K factor ranges from 0.0479 to 0.0792 t·ha·h·ha⁻¹·MJ⁻¹·mm⁻¹, associated with Oxisols, Gleysols, Entisols, and Inceptisols developed over the Marília, Vale do Rio do Peixe, and Serra Geral formations. The predominant LS factor ranges from 0 to 2, covering approximately 82.3% of the area, reflecting low slopes. The CP factor ranges from 0, in areas with adequate soil cover and management, to 1, in areas of exposed soil. Regarding annual soil loss, 72.9% of the watershed presents losses of up to 10 t·ha⁻¹·year⁻¹, indicating a predominance of low-intensity sheet erosion. However, 268 occurrences of linear erosive features were identified, mainly concentrated in the upper and lower courses of the watershed, as well as in headwater areas. The integrated analysis of the sampling points showed that land appropriation and occupation have intensified erosive dynamics and, consequently, soil loss, reflecting the current morphodynamics of the watershed. In this context, the research contributes not only to the advancement of academic knowledge but also provides relevant support for territorial management and urban and environmental planning, aiming at soil and water conservation through an integrated socio-environmental approach.

Keywords: soil erosion; USLE; morphodynamics; environmental impacts; land management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Exemplo de bacia hidrográfica.....	34
Figura 2	Esquema simplificado das etapas do processo erosivo.....	39
Figura 3	Fluxos d'água em diferentes formas de vertente.....	40
Figura 4	Pontos de coleta de amostras.....	66
Figura 5	Coleta de amostras de solo: (A) Coleta de amostras em perfil de solo; (B) Coleta de amostras por trado.....	68
Figura 6	Etapas análise granulométrica: (A) Destorroamento; (B) Separação das vidrarias; (C) Pesagem das amostras; (D) Agitação das amostras; (E) Separação da areia; (F) Provetas com amostras de silte e argila; (G) Amostras de areia e argila secas.....	69
Figura 7	Triângulo de classes texturais.....	72
Figura 8	Localização das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo de erosividade das chuvas da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço....	78
Figura 9	Fluxograma metodológico da pesquisa.....	86
Figura 10	Afloramento de basalto no Ribeirão São Lourenço.....	101
Figura 11	Afloramento de arenito da Formação Marília na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	102
Figura 12	Colina convexada com topo amplo suavemente ondulado na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	104
Figura 13	Diferentes morfologias de vertente na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Vertente retilínea; (B) Vertente convexa e (C) Vertente côncava.....	105
Figura 14	Relevo residual do tipo tabuliforme na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	107
Figura 15	Preparo do solo para cultivo agrícola em relevo residual na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	107
Figura 16	Cabeceiras de drenagem em anfiteatro na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	108
Figura 17	Planície aluvial em área de fundo de vale em berço na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	109
Figura 18	Localização do Ponto 1.....	114
Figura 19	Voçoroca localizada na área de coleta do Ponto 1.....	114
Figura 20	Localização do Ponto 2.....	116
Figura 21	Localização do Ponto 3.....	118
Figura 22	Curso d'água de primeira ordem aflorando próximo a área de coleta do Ponto 3.....	118
Figura 23	Linhas de pedra identificadas nos horizontes subsuperficiais.....	120
Figura 24	Localização do Ponto 4.....	121
Figura 25	Propriedades rurais em área de topo de relevo residual próximas do Ponto 4.....	122
Figura 26	Corte na encosta próximo ao Ponto 4.....	123
Figura 27	Localização do Ponto 5.....	124
Figura 28	Localização do Ponto 6.....	126
Figura 29	Localização do Ponto 7.....	127
Figura 30	Localização do Ponto 8.....	129
Figura 31	Curso d'água próximo ao Ponto 8.....	129
Figura 32	Localização do Ponto 9.....	131
Figura 33	Argila em superfície próximo ao Ponto 9.....	133
Figura 34	Localização do Ponto 10.....	134
Figura 35	Amostra com indicativo de cerosidade no Ponto 10.....	135

Figura 36	Localização do Ponto 11.....	136
Figura 37	Área de pastagem observada na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	143
Figura 38	Mata ciliar predominante no curso d'água principal da bacia do Ribeirão São Lourenço.....	144
Figura 39	Atividades agrícolas observadas na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Plantio de cana-de-açúcar; (B) Cultivo de milho em fase inicial; (C) Plantio de soja.....	145
Figura 40	Campo alagado no médio curso do Ribeirão São Lourenço.....	146
Figura 41	Plantio de silviculturas na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Cultivo de eucalipto; (B) Cultivo de seringueira.....	146
Figura 42	Área urbana na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	147
Figura 43	Área de solo exposto na bacia do Ribeirão São Lourenço.....	148
Figura 44	(A) Período chuvoso e (B) Período de estiagem em trecho encachoeirado; (C) Sedimentos dispostos em trecho do Ribeirão São Lourenço.....	172
Figura 45	Aspectos morfodinâmicos do Ponto 1.....	181
Figura 46	Erosão laminar presente no Ponto 1.....	183
Figura 47	Aspectos morfodinâmicos do Ponto 2.....	184
Figura 48	Sulco erosivo presente no Ponto 2.....	185
Figura 49	Aspectos morfodinâmicos do Ponto 3.....	187
Figura 50	Ravina presente no Ponto 3.....	189
Figura 51	(A) Presença de cascalhos e seixos; (B) Fragmentos lateríticos observados no Ponto 3.....	190
Figura 52	(A) Afloramento de quartzo; (B) Fragmento de quartzo derivado do afloramento no Ponto 3.....	190
Figura 53	Aspectos morfodinâmicos do Ponto 4.....	192
Figura 54	Voçoroca presente no Ponto 4.....	194
Figura 55	(A) Presença de alcova de regressão; (B) Filetes subverticais no Ponto 4.....	195
Figura 56	(A) Registro de <i>demoiselles</i> (pedestais); (B) Presença de pipes na parede da voçoroca no Ponto 4.....	196
Figura 57	Aspectos morfodinâmicos do Ponto 5.....	197
Figura 58	Sulco erosivo presente no Ponto 5.....	199
Figura 59	Destruição de parte do pavimento devido ao escoamento superficial concentrado.....	200

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	Localização da área de estudo.....	24
Mapa 2	Mapa de hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.	91
Mapa 3	Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	95
Mapa 4	Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	97
Mapa 5	Litologia da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	99
Mapa 6	Mapeamento geomorfológico da bacia do Ribeirão São Lourenço.....	103
Mapa 7	Mapa simplificado das classes de solo da bacia do Ribeirão São Lourenço...	111
Mapa 8	Espacialização do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	142
Mapa 9	Fator R da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	154
Mapa 10	Fator K da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	157
Mapa 11	Fator LS da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	161
Mapa 12	Fator CP da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	164
Mapa 13	Espacialização da perda de solos para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	168
Mapa 14	Espacialização das feições erosivas lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Parâmetros morfométricos.....	64
Quadro 2	Equações para definição das porcentagens das frações de areia, silte e argila.....	71
Quadro 3	Adaptação das classes de solos propostas por Trentin (2011) e suas associações de acordo com a compartimentação do relevo para a área de estudo.....	75
Quadro 4	Chave de interpretação para identificação de feições erosivas lineares.....	76
Quadro 5	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 1.....	115
Quadro 6	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 2.....	117
Quadro 7	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 3.....	119
Quadro 8	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 4.....	122
Quadro 9	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 5.....	125
Quadro 10	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 6.....	126
Quadro 11	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 7.....	128
Quadro 12	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 8.....	130
Quadro 13	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 9.....	132
Quadro 14	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 10...	134
Quadro 15	Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 11...	136
Quadro 16	Valores de erodibilidade do solo para diferentes localidades do Brasil.....	159

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Precipitação pluviométrica média mensal.....	138
Gráfico 2	Distribuição da erosividade média mensal.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tempo de sedimentação para fração silte.....	70
Tabela 2	Dados de localização e período de coleta das estações pluviométricas.....	77
Tabela 3	Classificação da erosividade da chuva.....	79
Tabela 4	Classificação da erodibilidade dos solos.....	81
Tabela 5	Classificação do fator topográfico.....	82
Tabela 6	Valores do Fator C e P (separados) para os diferentes tipos de uso e cobertura do solo.....	83
Tabela 7	Valores do Fator CP atribuídos para bacia do Ribeirão São Lourenço.....	83
Tabela 8	Classificação da perda de solo.....	84
Tabela 9	Características geométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	88
Tabela 10	Características da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	89
Tabela 11	Características do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço..	94
Tabela 12	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 1.....	115
Tabela 13	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 2.....	117
Tabela 14	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 3.....	121
Tabela 15	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 4.....	123
Tabela 16	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 5.....	125
Tabela 17	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 6.....	127
Tabela 18	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 7.....	128
Tabela 19	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 8.....	131
Tabela 20	Resultado do fracionamento das areias do Ponto 9.....	133
Tabela 21	Totais pluviométricos (mm) anuais entre 1993 a 2023.....	139
Tabela 22	Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço	143
Tabela 23	Erosividade média mensal e anual ($\text{MJ.mm/ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$) das estações pluviométricas.....	152
Tabela 24	Distribuição do Fator K presente na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	158
Tabela 25	Distribuição do Fator LS para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	162
Tabela 26	Distribuição do Fator CP para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	165
Tabela 27	Distribuição das classes de perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	169
Tabela 28	Quantidade de feições erosivas em relação ao uso e cobertura da terra e ao Fator CP na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	176
Tabela 29	Quantidade de feições erosivas em relação aos elementos das formas de relevo, classes de solos e Fator K na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	177
Tabela 30	Quantidade de feições erosivas em relação a declividade e ao Fator LS na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	178
Tabela 31	Quantidade de feições erosivas relacionado com a perda de solos na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.....	179

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Proteção Permanente
ANA - Agência Nacional de Águas
CBH PN3 - Comitê da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros do baixo Paranaíba
CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
EUPS – Equação Universal de Perda de Solos
EUROSEM - European Soil Erosion Model
EI^{3o} - Índice de Erosão da Chuva
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
GPS - Global Position System
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KML - Keyhole Markup Language
LISEM - Limburg Soil Erosion Model
MDE – Modelo Digital de Elevação
NASA - National Aeronautics and Space Administration
PIB – Produto Interno Bruto
PEDOGEO – Laboratório de Estudo e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Ensino de Geografia Física
RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation
SI – Sistema Internacional de Unidades
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISEMA – Sistema Estadual do Meio Ambiente
SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SPM – Stereo Photo Maker
TauDEM - Terrain Analysis Using Digital Elevation Models
UAF – Alaska Satellite Facility
UFLA – Universidade Federal de Lavras
UFV – Universidade Federal de Viçosa
USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USLE – Universal Soil Loss Equation
UTM – Universal Transversa de Mercator
WEPP - Water Erosion Prediction Project

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	20
Problemática.....	21
Área de estudo.....	23
Justificativa.....	28
Objetivos.....	29
 CAPÍTULO 1. PERDA DE SOLOS POR EROSÃO HÍDRICA EM ÁREAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA RELAÇÃO COM A APROPRIAÇÃO E OCUPAÇÃO DO RELEVO: PERCEPÇÕES TEÓRICAS.....	 30
1.1 A bacia hidrográfica como uma unidade de análise.....	31
1.2 Erosão dos solos.....	36
1.3 Modelos de predição de erosão hídrica.....	41
1.4 A Equação Universal de Perda de Solos e seus componentes.....	47
1.4.1 Erosividade da chuva (Fator R).....	48
1.4.2 Erodibilidade do solo (Fator K).....	49
1.4.3 Comprimento de rampa e grau de declividade (Fator LS).....	50
1.4.4 Uso e Manejo de Práticas conservacionistas do solo (Fator CP).....	51
1.5 A morfodinâmica e o processo de apropriação e ocupação do relevo.....	52
 CAPÍTULO 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	 58
2.1 Pesquisa e revisão bibliográfica.....	59
2.2 Levantamento de bases cartográficas e banco de dados secundários.....	62
2.3 Extração dos parâmetros morfométricos.....	63
2.4 Trabalhos de campo.....	65
2.5 Análise morfológica e granulométrica.....	68
2.6 Elaboração dos mapas temáticos.....	72
2.7 Determinação dos fatores da EUPS.....	77
2.7.1 Determinação da erosividade da chuva (Fator R).....	77
2.7.2 Determinação da erodibilidade dos solos (Fator K).....	79
2.7.3 Determinação do comprimento de rampa e grau de declividade (Fator LS).....	81
2.7.4 Determinação do uso e manejo de práticas conservacionistas do solo (Fator CP).....	82
2.7.5 Determinação da perda de solos.....	84
 CAPÍTULO 3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS E O USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO LOURENÇO.....	 87
3.1 Parâmetros morfométricos.....	88
3.2 Litologia.....	98
3.3 Relevo.....	102
3.4 Solos.....	110
3.5 Precipitação pluviométrica.....	137
3.6 Uso e cobertura da terra.....	141
 CAPÍTULO 4. DINÂMICA DA PERDA DE SOLOS E SUA RELAÇÃO COM A APROPRIAÇÃO E OCUPAÇÃO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO LOURENÇO.....	 149
4.1 Erosividade das chuvas (Fator R).....	150

4.2 Erodibilidade dos solos (Fator K).....	156
4.3 Comprimento de rampa e declividade (Fator LS).....	160
4.4 Uso e manejo de práticas conservacionistas do solo (Fator CP).....	163
4.5 Perdas de solo anual por erosão laminar.....	167
4.6 Interação entre a perda de solos por erosão laminar e o desenvolvimento de erosões lineares.....	174
4.7 Morfodinâmica atual e a apropriação e ocupação do relevo associadas à perda de solos.....	180
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 201
 REFERÊNCIAS.....	 208
 APÊNDICES.....	 220
 ANEXOS.....	 222

INTRODUÇÃO

No decorrer dos tempos, a atividade humana tem exercido influência significativa na modificação da paisagem e na exploração dos recursos naturais, visando a melhoria de vida da sociedade, muitas vezes de forma predatória. Diante disso, estudos centrados nos conhecimentos geográficos, apoiados em uma abordagem sistêmica, buscam compreender a interação entre a Sociedade e a Natureza, bem como os impactos resultantes dessa interação no espaço geográfico.

O solo é um dos componentes vitais do meio físico, servindo como base para a realização das atividades humanas, além do seu papel na manutenção dos demais seres vivos e na promoção do equilíbrio dinâmico de processos naturais. A erosão dos solos, um fenômeno natural de esculturação do relevo que ocorre de forma lenta e gradual, possui grande importância na evolução das formas superficiais. No entanto, quando ocorre a intervenção da sociedade ou de parte dela no ambiente, pode-se acelerar a erosão do solo.

A erosão hídrica se manifesta com mais intensidade em regiões com clima tropical e subtropical úmido, como no caso do Brasil. A perda de solo decorrente da erosão hídrica impacta diversas atividades humanas, além de contribuir para o assoreamento dos corpos d'água, para a redução da fertilidade e produtividade dos solos e, consequentemente, na diminuição das áreas destinadas à exploração agrícola.

Quando a sociedade se apropria e ocupa o relevo em bacias hidrográficas sem considerar seus processos naturais, passa a interferir diretamente na dinâmica erosiva. Nesse contexto, os processos morfodinâmicos resultam do equilíbrio (ou do rompimento dele) entre os fatores de formação do solo e de esculturação do relevo. O desequilíbrio dos processos naturais favorece o desenvolvimento e intensificação de formas erosivas, contribuindo para a degradação em áreas de bacias rurais e urbanas.

Nesse sentido, uma abordagem integrada permite evidenciar como a apropriação e ocupação do relevo contribuem para o rompimento do equilíbrio dinâmico dos processos naturais, cujas respostas se manifestam na forma de impactos socioambientais, especialmente aqueles associados à erosão que elevam as taxas de perda de solos. Além disso, abordagens integradas fornecem subsídios para a tomada de decisões voltadas ao planejamento e à gestão ambiental.

Problemática

A preocupação com as questões ambientais e a preservação dos recursos naturais no Brasil e no mundo não é recente. Há décadas, a sociedade discute as causas, consequências e

possíveis ações de diagnóstico, prevenção e mitigação dos impactos socioambientais. A intensificação dos padrões de desenvolvimento dos municípios, estados e países, frequentemente desconsiderando os limites ambientais, tem ampliado os processos de perda de solos em escala global, evidenciando a pressão exercida pelas atividades antrópicas sobre os sistemas naturais.

Segundo Martin Neto, Vaz e Crestana (2007), a erosão dos solos foi, por muito tempo, estudada prioritariamente no contexto da produção agrícola, tendo em vista os sérios prejuízos que causa à produtividade. Entretanto, nas últimas décadas, as discussões passaram a incorporar também os impactos socioambientais associados aos processos erosivos nas áreas urbanas.

De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2015), cerca de 33% das terras do planeta já apresentam algum nível de degradação. Nesse contexto, a apropriação e a ocupação do relevo (seja de forma planejada ou desordenada) promove alterações na infiltração da água no solo, na geração de escoamento superficial e na distribuição de sedimentos.

Na análise dos processos erosivos, a bacia hidrográfica configura-se como espaço estratégico para a implantação de práticas conservacionistas que visem à redução das perdas de solo, água e nutrientes (Minella *et al.*, 2007). Além disso, a qualidade do solo constitui um atributo fundamental para o desenvolvimento da biodiversidade, da produtividade agrícola e da segurança alimentar da população mundial (Silva *et al.*, 2021).

Nessa perspectiva, o conhecimento técnico e científico torna-se fundamental para a compreensão dessas questões e para a orientação da tomada de decisão voltadas ao planejamento e a gestão ambiental. Porém, apesar dos constantes alertas da comunidade científica, as ações de mitigação ainda se mostram insuficientes, em parte porque muitos estudos priorizam análises essencialmente quantitativas da erosão, sem aprofundar na análise qualitativa dos processos erosivos (Stein *et al.*, 1987; Valle Junior, 2008).

Visando compreender os processos de perda de solo e a dinâmica de apropriação e ocupação do relevo em áreas de bacias hidrográficas, esta pesquisa adotou como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, por apresentar transformações significativas decorrentes das atividades antrópicas que vem interferem diretamente na dinâmica erosiva, afetando a qualidade ambiental da bacia.

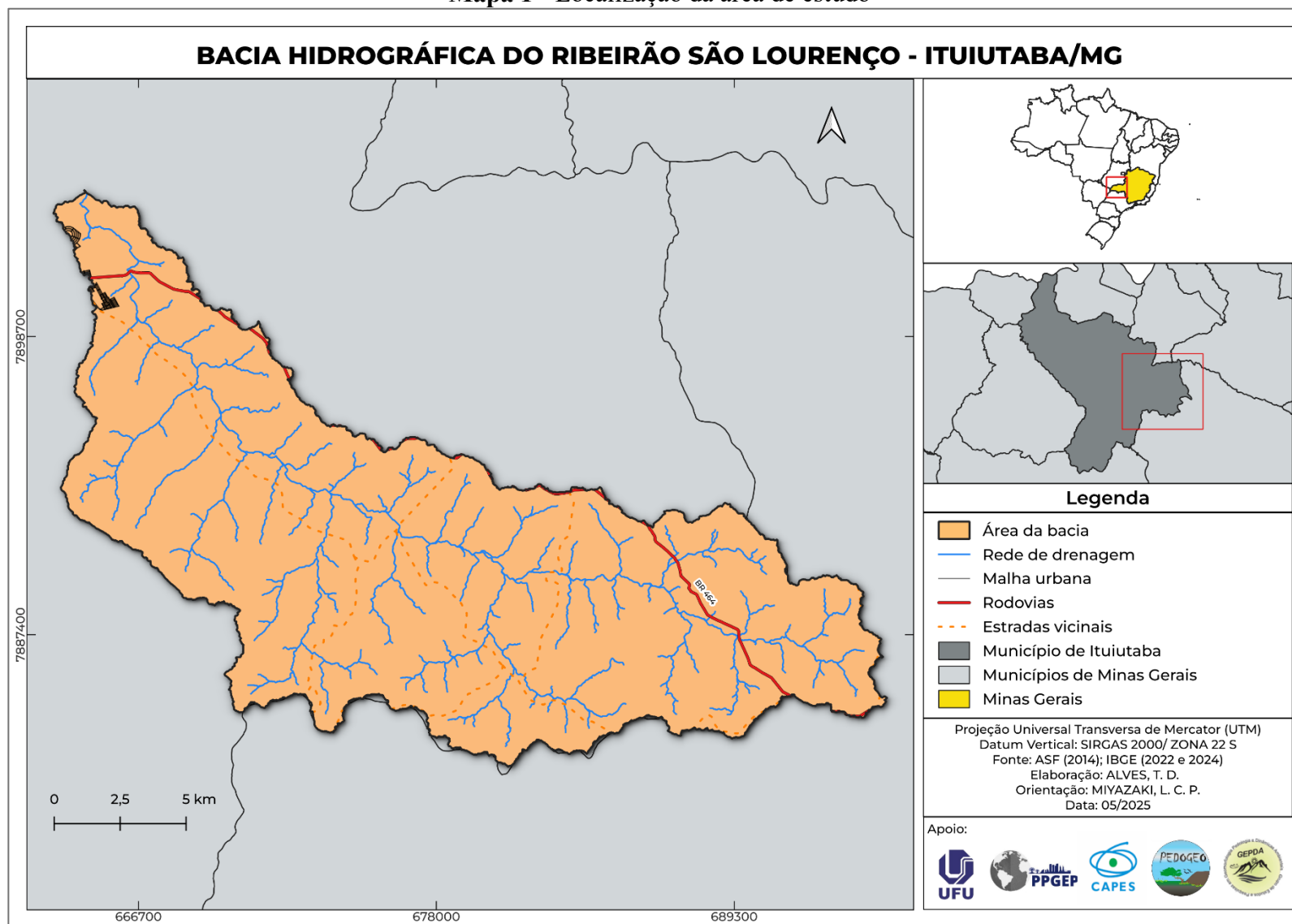
Diante do que foi apresentado, surge o seguinte questionamento: Como a produção do espaço pelo processo de apropriação e ocupação do relevo na bacia do Ribeirão São Lourenço, modifica a dinâmica ambiental e influencia na perda de solos pela erosão hídrica?

Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Ituiutaba/MG¹ (Mapa 1), entre as coordenadas 18° 58' 08" S e 49° 27' 54" W, na porção oeste da Mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba. A bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço insere-se na área de atuação do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (CBH PN3), instituído em 2004, o qual abrange uma área de aproximadamente 26.894 km², correspondendo a cerca de 38,07% do território da bacia do Rio Paranaíba.

¹ Destaca-se que, embora uma pequena parcela da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço se estenda ao município de Prata/MG (15%), optou-se por delimitar a análise apenas ao município de Ituiutaba, onde aproximadamente 85% de sua área está inserida.

Mapa 1 - Localização da área de estudo



Fonte: ASF (2014); IBGE (2022; 2024). Elaborado pela autora (2025)

No que se refere aos aspectos gerais da área de estudo, optou-se por apresentar, nesta introdução, alguns aspectos geográficos do município de Ituiutaba/MG, no qual a área de estudo está inserida.

O município integra a região geográfica intermediária de Uberlândia-MG e abrange a região geográfica imediata de Ituiutaba, composta também pelos municípios de Capinópolis, Cachoeira Dourada, Ipiaçu, Gurinhata e Santa Vitória. De acordo com o último Censo Demográfico, o município possui extensão territorial de 2.598,05 km², densidade demográfica de 39,34 hab./km² e população total de 102.217 habitantes (IBGE, 2025).

Segundo dados do IBGE Cidades (2025), o Produto Interno Bruto (PIB) do município foi estimado em R\$ 48.673,56 per capita. Desse total, 48% correspondem ao setor de serviços, seguido pela indústria (29%), administração pública (14%) e agropecuária (9%), setores que contribuem diretamente para a composição da economia do estado de Minas Gerais.

De acordo com Oliveira (2003), o município de Ituiutaba destaca-se na oferta de serviços, especialmente nas áreas de saúde, educação, transporte, comunicação e serviços financeiros. Essa diversidade de atividades consolida o município como um importante polo regional, sobretudo no setor terciário, atendendo não apenas à população local, mas também aos municípios de pequeno porte situados em sua área de influência.

No que se refere à expansão urbana, observa-se que a construção de bairros e conjuntos habitacionais em Ituiutaba ocorre em diferentes compartimentos do relevo, abrangendo áreas de topo, vertentes e fundos de vale ao longo dos córregos São José, Pirapitinga e do Carmo, além de se estender para porções de alta e média vertente do Ribeirão São Lourenço.

Em relação à infraestrutura urbana desses bairros, dados do IBGE (2022) indicam que 91,7% dos domicílios estão localizados em vias públicas arborizadas, 94,3% das residências possuem esgoto sanitário adequado, enquanto 28,7% das vias públicas urbanas apresentam urbanização considerada adequada, caracterizada pela presença de bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio.

O município de Ituiutaba-MG está inserido na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizado pelo predomínio das unidades litoestratigráficas² dos grupos Bauru (Formações Marília e Vale do Rio do Peixe) e São Bento (Formação Serra Geral). A bacia do Paraná constitui uma ampla região sedimentar, com uma área de aproximadamente

² Conforme Petri *et al.* (1986, p. 376), as unidades litoestratigráficas são definidas como “conjuntos rochosos caracterizado por um tipo ou combinação de vários litológicos ou por outras marcantes feições litológicas”, podendo englobar rochas sedimentares, magmáticas ou metamórficas.

1,5 milhão de quilômetros quadrados, formada por sedimentos relacionados, em grande parte, à história geotectônica meso-cenozóica do continente sul-americano (Milani *et al.*, 2007).

A Formação Marília é constituída predominantemente por arenitos de granulação variando de fina a grossa, frequentemente apresentando estratificações cruzadas de médio porte, além da ocorrência de lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos (Bistrichi *et al.*, 1981). Esses materiais ocorrem, em geral, associados aos relevos residuais, devido a sua característica mais resistente.

A Formação Vale do Rio do Peixe, também denominada Formação Adamantina³, é caracterizada pela presença de arenitos de origem predominantemente eólica, com granulação variando de fina a muito fina (Batezelli, 2003). Por sua vez, a Formação Serra Geral é composta essencialmente por derrames basálticos, podendo apresentar intercalações de arenito e a ocorrência de diques de diabásio, litologias típicas do Grupo São Bento (Bistrichi *et al.*, 1981; Corsi, 2003). Essa formação aflora principalmente nas áreas próximas à foz dos cursos d'água.

A região do Triângulo Mineiro integra o conjunto geomorfológico denominado como Domínio dos Chapadões Tropicais do Brasil Central, conforme classificação proposta por Ab'Saber (1971), compondo uma subunidade do Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. O relevo predominante na região são os planaltos e as chapadas, resultado direto do processo evolutivo dessa bacia sedimentar (RADAMBRASIL, 1983).

Os planaltos correspondem a conjuntos de relevos planos ou dissecados, localizados em altitudes elevadas e delimitados, ao menos em um de seus lados, por superfícies mais rebaixadas, onde predominam os processos erosivos sobre os de sedimentação (IBGE, 2009). As chapadas, por sua vez, configuram os compartimentos tabulares dos planaltos, com forte controle estrutural, geralmente sustentadas por camadas litológicas mais resistentes à erosão (Martins; Salgado, 2016).

O relevo do município de Ituiutaba apresenta altitudes que variam de, aproximadamente, 300 a 800 metros, com predominância de ondulações suaves (Paranaíba, 2023). Segundo Pedro Miyazaki (2018), o relevo caracteriza-se, em sua maior parte, por colinas com topos amplos e suavemente ondulados, intercaladas por relevos residuais do tipo tabuliforme.

³ A escolha da nomenclatura adotada varia de acordo com o referencial bibliográfico utilizado e com o nível de detalhamento necessário para alcançar os objetivos propostos. Soares *et al.* (1980) empregam a denominação Formação Adamantina, adotando uma caracterização mais geral, especialmente no que se refere aos aspectos espaciais. Por outro lado, Fernandes (1992) utiliza o termo Formação Vale do Rio do Peixe, com base em uma investigação mais detalhada, apoiada em diversos trabalhos de campo, o que permitiu uma descrição mais precisa e específica quanto à sua distribuição espacial.

No município de Ituiutaba, a classe de solos predominante é a dos Latossolos, que ocupa mais da metade de sua extensão territorial. De acordo com a Embrapa (2019), esses solos apresentam ampla ocorrência no bioma Cerrado, distribuindo-se em diferentes formas de relevo, como superfícies planas, relevos suave-ondulados, chapadas e vales. Em geral, estão associados a áreas desenvolvidas sobre derrames basálticos e rochas sedimentares.

Além dos Latossolos, outras classes de solos também são identificadas no município, embora em menor proporção. Entre elas destacam-se os Gleissolos Melânicos, os Neossolos Litólicos, os Argissolos Vermelho-Amarelos e os Nitossolos Vermelhos (Martins; Costa, 2014), que refletem a diversidade de solos presentes no município.

Do ponto de vista climático, a dinâmica atmosférica do município de Ituiutaba está sob influência dos sistemas de circulação intertropicais, os quais conferem à região um clima tropical do tipo Aw. A atuação de diferentes massas de ar sobre a região provoca variações nos padrões de temperatura e umidade, o que resulta em dois períodos climáticos bem definidos: o período seco, que concentra apenas cerca de 10% da precipitação total anual, e o período úmido, responsável por aproximadamente 90% do volume pluviométrico (Costa; Martins, 2011), com uma média anual de 1.401,4 mm (Braghioli, 2017).

Segundo Mendes e Queiroz (2011), as menores médias de temperatura foram registradas em julho, variando entre 20,1 °C e 20,7 °C, enquanto as maiores médias ocorreram em outubro, com 26,7 °C. Quanto à umidade relativa do ar, o município apresenta uma média de 71,2% (Costa; Martins, 2011), variando entre valores superiores a 77% nos meses mais úmidos, de novembro a abril, e médias inferiores a 55% nos períodos de menor umidade (Mendes; Queiroz, 2011).

A cobertura vegetal predominante no município é representada pelo Cerrado stricto sensu (Costa, 2011), fisionomia caracterizada pela presença de árvores de pequeno porte, geralmente tortuosas, com troncos inclinados, casca espessa e ramificações irregulares. Em áreas onde predominam solos mal drenados, especialmente aqueles de caráter hidromórfico, é comum a ocorrência de veredas, ambientes marcados pela presença constante ou sazonal de água (Alves, 2023).

Além dessas formações, em alguns locais do município observa-se também a presença de cerradão, uma fisionomia florestal mais densa do Cerrado, caracterizada por um dossel arbóreo relativamente contínuo, composto predominantemente por árvores de porte médio, associado à ocorrência de solos mais desenvolvidos (Costa, 2011).

Em relação ao uso e à cobertura da terra, Lopes *et al.* (2024) identificaram uma expansão das atividades agrícolas no município, especialmente das lavouras temporárias de cana-de-

açúcar e soja, a partir dos anos 2000, em substituição de áreas de pastagem e vegetação nativa. Segundo os autores, essa intensificação do uso da terra está associada ao aumento da demanda de mercado por etanol e soja, à ampliação da infraestrutura de transporte e à instalação de agroindústrias de processamento na região. Além disso, a incorporação de tecnologias modernas, como sementes geneticamente modificadas e maquinário agrícola avançado, tem contribuído significativamente para a expansão das áreas cultivadas.

Justificativa

Considerando o atual processo de apropriação e ocupação do relevo em áreas de bacias hidrográficas, bem como os impactos dessa dinâmica na intensificação dos processos erosivos e consequente perda de solos, esta pesquisa justifica-se por contribuir com o aprofundamento dessa discussão no contexto do município de Ituiutaba/MG.

A erosão dos solos e a consequente perda de áreas agricultáveis configuram-se como um problema crescente no Brasil, com implicações ambientais e econômicas significativas. Nesse sentido, analisar a relação entre Sociedade e Natureza sob a perspectiva da morfodinâmica atual possibilita uma compreensão mais consistente dos processos atuantes, subsidiando ações no âmbito do planejamento ambiental e urbano, do uso do solo, do desenvolvimento econômico e da conservação dos recursos naturais para as gerações futuras.

Outro fator que reforça a relevância deste estudo são os poucos dados sobre essa temática na área de estudo escolhida. Vinculado a este fato, destaca-se a importância da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço para o município de Ituiutaba, por se tratar do principal ponto de captação de água para o abastecimento urbano⁴. Nesse contexto, a intensificação da erosão dos solos, aliada à supressão da vegetação ciliar e às formas de uso e cobertura da terra, podem favorecer o transporte e o acúmulo de sedimentos nas áreas de fundo de vale, contribuindo para o assoreamento dos cursos d'água da bacia.

Portanto, a temática abordada mostra-se diretamente relacionada às demandas contemporâneas da sociedade, ao articular os interesses humanos e os limites ambientais. Nesse contexto, a Geografia contribui de maneira significativa para a compreensão integrada dessas dinâmicas, evidenciando como as formas de uso e ocupação do relevo interferem no equilíbrio dinâmico dos sistemas naturais, intensificando os processos erosivos e ampliando a perda de solos.

⁴ Apesar da existência de um ponto de captação de água secundário no Rio Tijuco, ele é acionado apenas em situações emergenciais, quando o Ribeirão São Lourenço não apresenta condições adequadas de captação.

Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa consiste em compreender a perda de solos em decorrência da erosão hídrica na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, no município de Ituiutaba/MG, considerando a influência da apropriação e ocupação do relevo na dinâmica erosiva.

Objetivos específicos

- 1- Caracterizar os aspectos fisiográficos da área de estudo, considerando parâmetros morfométricos, litologia, relevo, solos e precipitação pluviométrica;
- 2- Estimar e espacializar as áreas suscetíveis à perda de solo por erosão hídrica;
- 3- Analisar o uso e cobertura da terra e sua relação com os processos de apropriação e ocupação do relevo;
- 4- Integrar os fatores naturais e antrópicos, visando analisar a morfodinâmica atual associada à perda de solos na bacia.

CAPÍTULO 1

PERDA DE SOLOS POR EROSÃO HÍDRICA EM ÁREAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA RELAÇÃO COM A APROPRIAÇÃO E OCUPAÇÃO DO RELEVO: PERCEPÇÕES TEÓRICAS

O referencial teórico apresentado neste capítulo está organizado em tópicos que visam discutir os principais fundamentos teóricos relacionados ao estudo da perda de solos e dos processos de apropriação e ocupação do relevo. Inicialmente, discute-se a bacia hidrográfica como unidade de análise, destacando sua relevância para a compreensão sistêmica das interações entre os elementos naturais e antrópicos que modificam o ciclo hidrológico, além de sua importância para o planejamento urbano e ambiental e na gestão dos recursos hídricos.

Em seguida, são apresentados os processos de erosão dos solos, enfatizando suas fases de desenvolvimento, os fatores condicionantes e a influência das atividades humanas na intensificação da dinâmica erosiva. Posteriormente, aborda-se os principais modelos de predição da erosão hídrica, destacando suas potencialidades e limitações na estimativa da perda de solo. Na sequência, é discutida a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e seus componentes, demonstrando os procedimentos utilizados para sua determinação e para a espacialização das áreas suscetíveis à erosão hídrica.

Por fim, discorre-se sobre a relação entre a morfodinâmica e os processos de apropriação e ocupação do relevo, buscando compreender como as intervenções antrópicas interferem no equilíbrio dinâmico dos processos naturais, alterando as relações entre pedogênese e morfogênese e, contribuindo para a intensificação dos processos erosivos em bacias hidrográficas.

1.1 A bacia hidrográfica como uma unidade de análise

O estudo das bacias hidrográficas é fundamental para o manejo do solo, o planejamento urbano-ambiental e a organização territorial. A obtenção de informações sobre suas características físicas, padrões de parcelamento, usos e ocupação do solo, bem como aspectos socioeconômicos, contribui para o planejamento e a gestão territorial e ambiental, tornando mais eficientes as ações de manejo e conservação (Machado; Torres, 2012).

Historicamente, a bacia hidrográfica tem sido objeto de diversas discussões, resultando em inúmeros conceitos para sua definição. Essa variedade de interpretações decorre das diferentes perspectivas de análise, desde estudos hidrológicos e geomorfológicos, ligados às ciências naturais, até abordagens que incorporem contribuições das ciências humanas, ganhando maior relevância em meados do século XIX e XX (Molle, 2009; Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica se torna uma unidade de análise espacial bastante importante, permitindo uma visão sistêmica e integrada dos componentes da paisagem

(Almeida *et al.*, 2010), que vão desde elementos físicos e naturais até a fatores socioeconômicos. Dessa forma, a bacia hidrográfica passa a adotar diversas conotações que ampliam sua utilização para além de seus aspectos hidrológicos e geomorfológicos, passando a adotar um papel central no planejamento⁵ e na gestão⁶ territorial.

Na abordagem hidrológica, a bacia hidrográfica é definida como uma área delimitada por interflúvios⁷, possuindo uma drenagem que converge para um único ponto de saída em comum, o exutório ou foz. Segundo Gomes, Bianchi e Oliveira (2021) essa foi a primeira conceituação atribuída a bacia hidrográfica, amplamente utilizada em trabalhos acadêmicos e técnicos, mesmo sendo questionada por restringir a bacia hidrográfica ao âmbito hidrológico, sem considerar outros elementos e processos atuantes.

Silveira (2001 p. 40) define a bacia hidrográfica como sendo uma “[...] área de captação natural de água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório”, tendo como componentes as encostas, topos, fundos de vale, canais, corpos de água subterrânea, planície de inundação, entre outros elementos. Dessa forma, o conceito de bacia hidrográfica surge como uma ferramenta operacional, com foco voltado para o gerenciamento dos recursos hídricos (Molle, 2009).

No que se refere a abordagem geomorfológica, a bacia hidrográfica passa a ser compreendida como um sistema aberto e dinâmico, fundamentado na teoria geossistêmica⁸. Assim, além da perspectiva hidrológica, os estudos em bacias hidrográficas começaram a analisar as interações entre os elementos desse sistema (rochas, sedimentos, clima, relevo, hidrografia, vegetação, solo e outros), contudo as variáveis sociais ainda não eram devidamente consideradas nessa abordagem (Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021).

Chorley (1962), em seus estudos sobre sistemas em geomorfologia, descreve a bacia hidrográfica como uma unidade geomórfica, caracterizando-a como um sistema aberto de captação de água que “recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre a área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos

⁵ De acordo com Souza (2010, p. 46), planejar significa “tentar prever a evolução de um fenômeno”, simulando os desdobramentos de um projeto com o intuito de se preparar melhor para possíveis problemas.

⁶ A gestão tem como base atender às necessidades imediatas, utilizando recursos disponíveis atualmente (Souza, 2010). Dessa forma, a gestão é precedida pelo planejamento, dependendo deste para sua existência e efetividade.

⁷ Segundo Guerra (1993) os interflúvios são ondulações que separam os vales formadores das colinas, cujas vertentes geralmente apresentam um perfil convexo. Essas linhas divisórias estão localizadas nas áreas mais altas do relevo, delimitando bacias hidrográficas distintas. Por essa razão, também podem ser denominados como divisores topográficos ou divisores de águas.

⁸ A teoria geossistêmica surge com o objetivo de estudar a paisagem de forma integrada, resultando da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy na Geografia Física. Os geossistemas são compreendidos como sistemas naturais que podem existir em escalas local, regional ou global. Neles, componentes como o substrato mineral, o solo, os seres vivos, a água, as massas de ar e outros elementos estão interligados por fluxos de matéria e energia, formando um conjunto interconectado e dinâmico (Passos, 2006).

exportados pela bacia no seu ponto de saída” (Coelho Netto, 2018, p. 93). Christofolletti (1979) também aborda as bacias hidrográficas como sendo sistemas abertos, nos quais os elementos interagem por meio de entrada de energia e matéria. Dessa forma, qualquer alteração na recepção ou liberação de energia, ou na estrutura do sistema, resulta em mudanças compensatórias que promovem um autoajuste, visando restaurar o estado de equilíbrio.

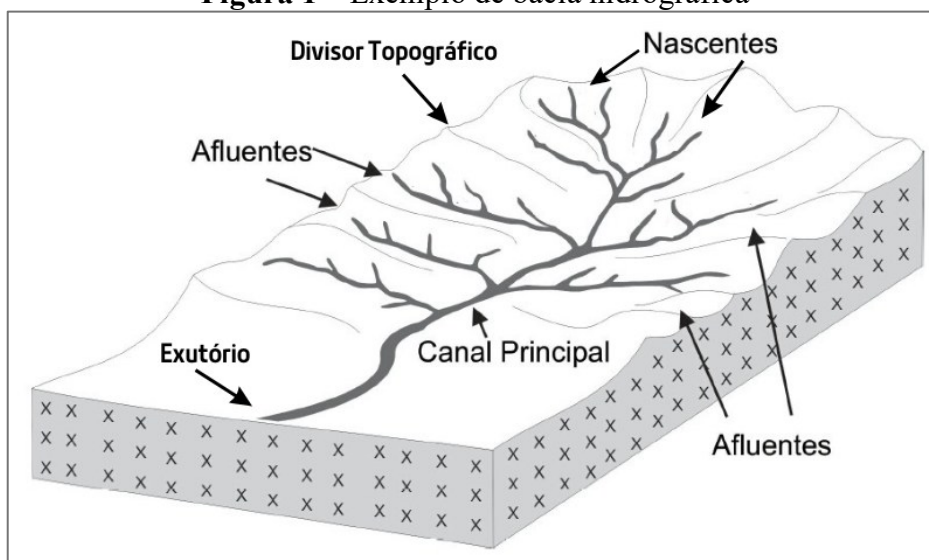
Com o tempo, a bacia hidrográfica tornou-se uma unidade de análise mais complexa, deixando de ser definida apenas por suas características físicas e naturais, ampliando suas aplicações para o âmbito da gestão e do planejamento. Para Tundisi (2008, p. 9) a bacia hidrográfica é uma unidade natural que “[...] permite integração institucional, integração e articulação da pesquisa com o gerenciamento, e possibilita ainda implantar um banco de dados que funcionará como uma plataforma para o desenvolvimento de projetos [...]”. Sendo uma unidade essencial de análise, planejamento e ordenamento territorial, permitindo avaliar seus diferentes componentes, processos e interações que ocorre em seu interior.

Botelho e Silva (2004, p. 155) ainda salientam que:

[...] cresce enormemente o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambientais. Nela é possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico, presente no sistema representado pela bacia de drenagem.

Como evidenciado, há diferentes maneiras de se conceituar uma bacia hidrográfica, que não se anulam nem se contradizem, mas se complementam. Essas definições variam desde abordagens mais simplificadas, que a caracterizam como uma área drenada por um rio principal e seus afluentes, até concepções mais complexas e detalhadas, que incorporam a interação entre processos naturais e aspectos socioeconômicos, culturais e políticos. Campos (2006), ao destacar a bacia hidrográfica como um sistema físico e dinâmico, argumenta que essa unidade espacial representa uma base essencial para o planejamento e a gestão ambiental, uma vez que é nela que ocorre a interação o meio físico, o meio biótico e o meio social.

Neste sentido, a bacia hidrográfica (Figura 1) pode ser compreendida como uma unidade natural de análise, composta por um curso d’água principal e seus afluentes, que convergem para uma saída em comum. Sua delimitação dá-se pelos divisores topográficos e, no seu interior, ocorrem dinâmicas que envolvem tanto elementos naturais quanto atividades humanas, sendo uma unidade importante para o planejamento e ordenamento territorial.

Figura 1 – Exemplo de bacia hidrográfica

Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2015)

Nas bacias hidrográficas, as dinâmicas naturais estão condicionadas à precipitação pluvial, que atua como o principal agente modelador da paisagem. Ao longo de seu ciclo, a água assume diferentes estados e trajetórias. Quando ocorre a entrada da água no sistema terrestre, por meio da precipitação, são desencadeados diferentes processos e percursos possíveis, que dependem não somente das características da precipitação, mas também dos atributos e condições dos componentes por onde a água irá circular (Botelho, 2011).

Segundo Botelho e Silva (2004) o ciclo hidrológico pode ser entendido como um fenômeno de circulação de água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Em nível local, é considerado um sistema aberto, enquanto, em escala global, é um sistema fechado. Silveira (2001) destaca que o papel hidrológico de bacia é transformar uma quantidade de água concentrada que entra no sistema (precipitação), em uma saída de água (escoamento), que resulta em um fluxo de água mais disperso ao longo do tempo, com perdas intercaladas com volumes evaporados, transpirados ou infiltrados profundamente.

Diante disso, Botelho (2011, p. 71 e 72) salienta que

Ao atingir a superfície a água pode, no caso de uma área com cobertura vegetal, como floresta tropical, assumir diferentes caminhos. Ela pode ser interceptada pela copa das árvores e daí evaporada para a atmosfera, pode ser armazenada nessas copas e depois precipitada, pode escorrer pelo tronco ou atravessar a vegetação e atingir diretamente a superfície do terreno. Em caso de uma cobertura de detritos orgânicos, restos de galhos, folhas, sementes e animais, semidecompostos sobre o terreno (serrapilheira), a água pode ser armazenada ou escoar sobre ou entre a referida camada orgânica, antes mesmo de atingir o solo. Quando finalmente atinge o topo do solo, ela pode infiltrar ou escoar, dependendo das características intrínsecas desse solo e das condições do relevo (em especial, a declividade da encosta e a rugosidade do terreno). Ao infiltrar o solo, a água poderá percolar até grandes profundidades, atingindo e alimentando lençóis subterrâneos e aquíferos, escoar lateralmente em subsuperfície, em função de variações nas condições de drenabilidade interna ou condutividade hidráulica dos

materiais e inclinação do terreno, principalmente, ou ser absorvida pelas raízes dos vegetais, ascendendo pelo tronco até as folhas, de onde poderá ser transpirada, participando da ciclagem de nutrientes.

Ao se infiltrar, a água pode percolar e alimentar as nascentes dos cursos d'água ou atingir camadas mais profundas, recarregando os lençóis freáticos e aquíferos. Por outro lado, quando predomina o escoamento superficial, ocorre a mobilização e o transporte de sedimentos, favorecendo o desenvolvimento de processos erosivos. Além disso, esse escoamento contribui para o aporte hídrico dos canais da bacia, podendo resultar na elevação das vazões e, conseqüentemente, na ocorrência de cheias ou inundações.

Neste sentido, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionado as suas características geomorfológicas, como forma, topografia e área, como também a geologia, rede de drenagem, tipo de solo, além do uso e ocupação do solo. Deste modo, as características físicas e antrópicas das bacias hidrográficas são importantes para o ciclo hidrológico, influenciando na infiltração e na quantidade de água produzida como deflúvio, ou seja, o escoamento superficial e subsuperficial, a evaporação e a transpiração (Tonello, 2005).

A ocupação de uma bacia hidrográfica provoca alterações em seus processos naturais. De acordo com Casseti (1995), esses processos, que antes se encontravam em um estado de biostasia (equilíbrio dinâmico), passam para um estado de resistasia (ruptura do equilíbrio dinâmico), o que compromete a qualidade ambiental. Conseqüentemente, qualquer atividade ou mudança na bacia hidrográfica tem impactos diretos ou indiretos sobre os rios, afetando a quantidade e a qualidade das águas (Leal, 1995). Essas alterações podem, por sua vez, prejudicar as populações que dependem desses recursos hídricos para sua subsistência.

Segundo Tricart (1977), estudar a organização do espaço geográfico⁹ implica compreender de que forma as ações humanas se articulam à dinâmica natural, possibilitando a correção de aspectos desfavoráveis e a exploração controlada dos recursos ecológicos ofertados pelo meio natural. Dessa forma, a avaliação do meio físico permite identificar áreas vulneráveis, contribuindo para um planejamento mais eficiente e uma ocupação equilibrada do espaço.

Porto e Porto (2008) destacam que a bacia hidrográfica é o espaço onde se desenvolvem as atividades humanas, e seu exutório reflete todos os processos integrantes do seu sistema, uma vez que o que ocorre ali é resultado direto da ocupação do território e do uso das águas

⁹ O espaço surge a partir da intencionalidade social, por meio da qual o homem se apropria do espaço natural e o transforma, através do trabalho, em espaço geográfico. Dessa forma, ele é simultaneamente resultado e condição da dinâmica das relações que os seres humanos estabelecem cotidianamente entre si, com a natureza e consigo mesmos (Santos, 2006).

que convergem para essa área. No entanto, evidencia-se que essas alterações transcendem os limites territoriais das bacias hidrográficas, frequentemente manifestando-se como impactos diretos (negativos e/ou positivos) decorrentes de ações antrópicas dentro da própria bacia, bem como de influências indiretas provenientes do território de produção social adjacente.

Portanto, estudos de impactos ambientais no contexto das bacias hidrográficas, tanto em áreas urbanas quanto rurais, são fundamentais para o planejamento urbano e ambiental. Carvalho, Silva e Cabral (2017) destacam que a ausência de planejamento e controle do uso do solo, aliada ao modo de produção capitalista, altera significativamente a dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, principalmente quando os cursos d'água são pouco valorizados ou até mesmo ignorados no ordenamento territorial. Essa situação também afeta a capacidade de suporte do solo, intensificando processos erosivos e contribuindo para a degradação e deterioração da qualidade ambiental.

Com o aumento das taxas de erosão em bacias hidrográficas, os cursos d'água são assoreados, o que impacta diretamente os reservatórios utilizados para a geração de energia elétrica e abastecimento urbano. À medida que o assoreamento avança, a capacidade de armazenamento dos reservatórios diminui progressivamente (Carvalho *et al.*, 2000). Além do assoreamento, outros impactos podem ser observados, como a redução da capacidade de escoamento em condutos, rios e lagos urbanos, bem como o transporte de poluentes associados aos sedimentos, que contaminam as águas pluviais (Tucci; Colli-schonn, 2000).

Diante disso, a bacia hidrográfica possui um caráter dinâmico, apresentando interações entre os espaços físicos, bióticos e antrópicos, inseridos nas dimensões de espaço e tempo. Bacias hidrográficas submetidas à ação antrópica, sem o devido planejamento, podem apresentar elevadas taxas de erosão, perda de solo e vegetação, resultando no assoreamento dos canais fluviais. Compreender essa relação entre o homem e a natureza é fundamental, uma vez que ela é a base para a existência humana e um guia essencial para o caminho que a sociedade deve seguir.

1.2 Erosão dos solos

O solo trata-se de um sistema complexo, constituído por fases sólida, líquida e gasosa, resultante da decomposição de materiais minerais e orgânicos organizados em agregados¹⁰.

¹⁰ Os agregados do solo são características essenciais da estrutura do solo, responsáveis pelas características físicas e biogeoquímicas do solo relevantes para as funções agrícolas e ecossistêmicas.

Esses agregados se agrupam em horizontes¹¹ ou camadas¹² com características morfológicas distintas, geralmente paralelas à superfície (Santos *et al.*, 2015).

A erosão, por sua vez, é compreendida como o processo natural de desagregação e transporte de partículas do solo, impulsionado principalmente pela ação da água e do vento, embora outros agentes também possam atuar nesse processo (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Fernandes (2011, p. 17) aponta que

De uma forma geral, erosão é um termo que representa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por agentes erosivos, tais como o gelo, o vento, a gravidade e a água.

Conforme destaca Guerra (1993), a erosão atua na remoção da camada superficial do solo, promovendo a destruição de saliências ou reentrâncias, promovendo o nivelamento da superfície. De maneira semelhante, Braghiroli (2015, p. 31) afirma que os processos erosivos “são responsáveis pela esculturação do relevo, sendo um processo natural e de extrema importância para a evolução das formas superficiais, pois ele é responsável pela remoção, transporte e deposição do sedimento”.

A erosão está diretamente relacionada à interação entre fatores ativos, como a precipitação, a infiltração e a topografia, e fatores passivos, como a cobertura vegetal e as propriedades físicas do solo, especialmente a resistência à brasão provocada pela ação da água (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Dessa forma, a erosão atua como agente transformador da paisagem, por meio da remoção, transporte e deposição de sedimentos originados do intemperismo das rochas, podendo ser intensificada pelas ações humanas. Enquanto a erosão natural se desenvolve ao longo do tempo geológico, a erosão acelerada, causada pelas intervenções antrópicas, intensifica drasticamente a dinâmica erosiva. Como destaca Bigarella (2007, p. 895), esse tipo de erosão “inicia-se muitas vezes de forma muito lenta, passando a sofrer interferências posteriores que aceleram o processo”.

As condições climáticas predominantes no Brasil, marcadas pelos climas tropicais e subtropicais úmidos, favorecem a erosão hídrica. Segundo Lima (2010), a desagregação das partículas do solo causada pelo impacto das chuvas e o subsequente escoamento superficial resultam no transporte desses sedimentos para áreas a jusante, onde são depositados. O impacto das gotas de chuva quebra os agregados do solo em pequenas partículas, esse processo pode ser

¹¹ Horizontes são parte de um perfil de solo geralmente paralela à superfície, resultante da ação de processos pedogenéticos (Santos *et al.*, 2015).

¹² Camadas são parte do perfil de solo, mas pouco afetada pelos processos pedogenéticos (Curi *et al.*, 1993).

agravado pela ausência de cobertura vegetal, que deixa o solo vulnerável ao impacto direto da precipitação (Zia-Ur-Rehman *et al.*, 2016).

Magalhães (2001) descreve a erosão hídrica como um processo que evolui em quatro etapas: formação de canais por conta da concentração do escoamento, rápida ampliação por recuo da cabeceira para montante, início da regeneração vegetal, e estabilização das margens com a formação de um canal ajustado ao perfil de equilíbrio e vegetação desenvolvida.

A erosão hídrica se inicia pelo *splash* (salpicamento), caracterizado pela ruptura dos agregados do solo em decorrência do impacto das gotas de chuva, comprometendo a estrutura superficial e dificultando a infiltração da água. As partículas desagregadas passam a obstruir os poros na superfície, favorecendo o acúmulo de água e a formação de pequenas poças, o que dá origem às fases iniciais do escoamento superficial (Guerra, 2015).

Dependendo do tipo e intensidade do escoamento, manifestam-se dois tipos principais de erosão: a laminar ou em lençol, caracterizada pela remoção uniforme da camada superficial, e a linear, quando o fluxo se concentra em linhas, resultando em incisões que forma sulcos e pode evoluir para ravinas (Salomão; Iwasa, 1995). A erosão em sulcos ocorre quando a enxurrada, ao atingir velocidade crítica, escava sulcos ao longo da vertente¹³ (Bertoni; Lombardi Neto, 2017), com agravamento em terrenos inclinados e pela convergência de lâminas finas d'água (Pes; Giacomini, 2017).

O aprofundamento dos sulcos pode originar ravinas, em decorrência do aumento das enxurradas. Oliveira (2015) descreve que as ravinas são canais provenientes do escoamento superficial, tendo uma profundidade inferior a 50 centímetros. Com o aprofundamento das ravinas, chegando ao lençol freático, são originadas as voçorocas.

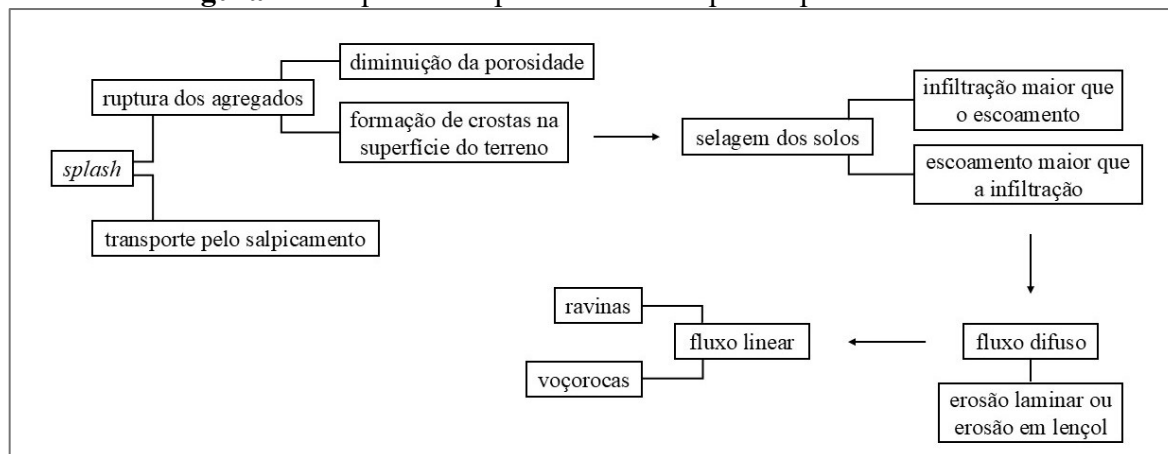
As voçorocas podem ser originadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas, ou por erosão causada pelo escoamento subsuperficial, o qual dá origem a dutos (pipes). São relativamente permanentes nas encostas. Têm paredes laterais íngremes, em geral fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos. Ao aprofundarem seus canais, as voçorocas atingem o lençol freático. Constituem um processo de erosão acelerada e de instabilidade nas paisagens. (Suertegaray, 2008, p. 245).

Conforme Salomão (2015), as voçorocas possuem um alto potencial de destruição, sendo responsáveis por fenômenos como solapamentos, erosões tanto internas quanto superficiais, desabamentos e escorregamentos. Por sua vez, Oliveira (1994) acrescenta que as forças de percolação atuantes nessas feições podem transportar partículas do solo e abrir vazios subterrâneos, favorecendo o surgimento de colapsos e subsidências.

¹³ A vertente é considerada uma forma tridimensional que foi modelada por processos de esculturação do relevo, e entende-se do interflúvio ao fundo de vale (Jan Dylik, 1968, *apud* Christofoletti, 1980).

A Figura 2 apresenta um esquema simplificado das principais etapas do processo erosivo, iniciado pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo (*splash*) e que pode evoluir para a formação de ravinas e voçorocas.

Figura 2 – Esquema simplificado das etapas do processo erosivo



Fonte: Fushimi (2012)

Vale ressaltar que o comportamento do solo frente à ação das chuvas varia conforme suas propriedades físico-químicas, como permeabilidade, textura, densidade e estrutura, que determinam seu grau de erodibilidade. Solos mais coesos, que possuem maior resistência a desagregação ou com maior capacidade de infiltração, dificulta o início do escoamento pluvial (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

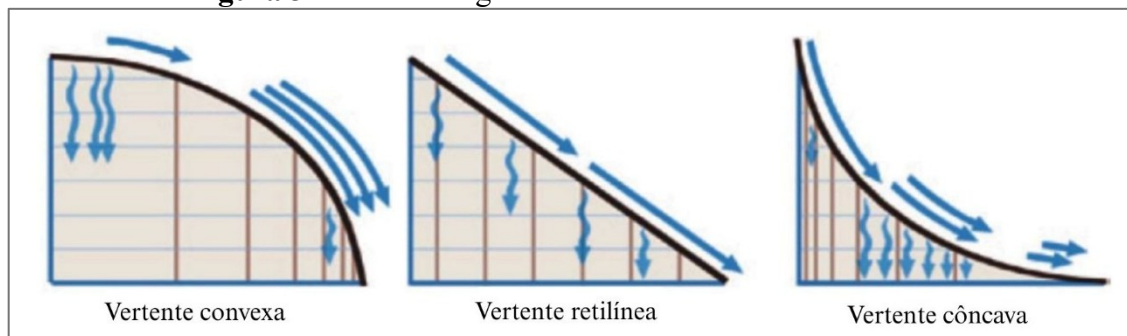
Além dos fatores climáticos e das características do solo, o relevo também influencia significativamente nos processos erosivos. O comprimento das vertentes e a declividade afetam tanto o volume quanto a velocidade do escoamento superficial, aumentando seu poder de arraste e o tamanho do material transportado.

O comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão-se avolumando proporcionalmente como, também, a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente. Em princípio, quanto maior o comprimento de rampa, mais enxurrada se acumula, e a maior energia resultante se traduz por uma erosão maior. (Bertoni; Lombardi Neto, 2017, p. 56-57).

As formas das vertentes (Figura 3) exercem influência adicional para o escoamento superficial. Vertentes convexas dispersam as águas das chuvas, podendo formar o escoamento superficial difuso, que se concentra em determinados locais e tendem a gerar erosões em forma de sulcos ou ravinas. Vertentes côncavas concentram o fluxo d'água, promovendo a acumulação e a deposição de materiais nas porções inferiores e, sob determinadas condições, pode intensificar os processos erosivos nessa área. Esse tipo de vertente também pode ser associado a cabeceiras de drenagem em anfiteatro, observadas em áreas de nascentes. As vertentes

retilíneas, por sua vez, facilitam o escoamento superficial, contribuindo para alagamentos, inundações e solapamentos em áreas de fundo de vale (Alves; Miyazaki, 2023).

Figura 3 – Fluxos d’água em diferentes formas de vertente



Fonte: Afonso e Silva (2013)

A cobertura vegetal é outro fator que influencia na erosão do solo, interceptando e favorecendo a evaporação da água antes de chegar ao solo. Guerra (2018, p. 171) salienta que “a ausência de cobertura vegetal facilita o impacto das gotas de chuva, fazendo os agregados se quebrarem, crostas sejam formadas na superfície do solo, o que aumenta os efeitos do escoamento superficial, causando maiores taxas de erosão”. Sendo assim, quando a vegetação é removida, o solo fica exposto às ações dos processos hídricos, que promovem sua desagregação, remoção e transporte.

A atividade humana, ao modificar a cobertura vegetal e as propriedades do solo, reduz a capacidade de infiltração e intensifica o escoamento superficial, acelerando o processo erosivo (Bertoni; Lombardi Neto, 2017). A desagregação do solo, em conjunto com a perda de matéria orgânica e nutrientes, compromete a fertilidade e a disponibilidade de umidade, reduzindo a profundidade do solo cultivável, dificultando o preparo agrícola e diminuindo a produtividade (Morgan, 2005).

Em decorrência desse processo,

[...] Quando a camada superficial é erodida, torna-se necessário, ao arar, penetrar mais na camada de subsolo que tem uma estrutura fraca, ficando mais difícil preparar a sementeira, dando, em consequência, uma germinação baixa e uma produção reduzida (Bertoni; Lombardi Neto, 2017, p. 69).

Sob a perspectiva ambiental e socioeconômica, a erosão contribui para o empobrecimento do solo, inviabilizando a produção agrícola, uma vez que torna áreas produtivas em terras degradadas de difícil recuperação. Essa dinâmica compromete os recursos naturais, principalmente os hídricos, interferindo na disponibilidade e na qualidade da água, com impactos diretos no abastecimento e em outros usos essenciais (Costa *et al.*, 2005).

Conforme destaca Guerra (1994), a erosão é um problema complexo, que transcende os aspectos ambientais e envolve também questões sociais e políticas. A expansão agropecuária e urbana, impulsionada pelo modo de produção capitalista voltado a geração de lucro, agrava a vulnerabilidade dos ambientes naturais ao promover o uso irracional do solo, aumentando as taxas de perda (Cassetti, 1995).

Desse modo, a modificação dos processos naturais tem sido impulsionada pela ausência de práticas adequadas de manejo do solo, resultando em áreas cada vez mais degradadas devido a um ciclo de exploração predatória, que se inicia com a supressão da vegetação nativa e se estende às práticas agrícolas baseadas em monoculturas degradantes.

No meio rural, as vertentes são frequentemente tratadas como ativos econômicos ou reservas de valor, desconsiderando-se os limites impostos pelas condições naturais para seu uso racional (Cassetti, 1995), o que tem contribuído significativamente para a degradação ambiental. Nesse contexto, a erosão hídrica, agravada pelas intervenções humanas, compromete a fertilidade natural dos solos e aumenta os custos de produção agrícola.

A erosão laminar, forma mais sutil e menos percebida da erosão hídrica, é bastante comum em áreas agrícolas, sobretudo durante o preparo do solo e o plantio, períodos em que a cobertura vegetal está ausente. Em dias chuvosos, essa forma de erosão pode ser percebida pela coloração turva da água do escoamento superficial, indicando o transporte de partículas do solo, além do clareamento do solo, a exposição das raízes e a consequente redução na produtividade das culturas (Valle Junior, 2008; Pereira, 2014). Carpi Junior (2001, p. 43) salienta que

a água ao escoar superficialmente, tanto na forma de cursos d'água como enxurradas, transporta junto diversos tipos de resíduos e efluentes industriais, domésticos, hospitalares, produtos químicos provenientes de atividades agrícolas e de acidentes de transporte, sedimentos produzidos pela erosão, microrganismos vetores de doenças. Tais elementos podem configurar-se como impactos negativos, podendo afetar o homem das mais diversas formas.

Diante disso, a degradação do solo é considerada um problema de escala global, com impactos crescentes não apenas ambientais, mas também socioeconômicos. O uso inadequado do solo em áreas urbanas e rurais têm despertado crescente interesse por parte de estudiosos e pesquisadores (Silva, 2015), evidenciando a importância de avaliar o potencial erosivo como base para um planejamento sustentável do uso do solo em bacias hidrográficas.

1.3 Modelos de predição de erosão hídrica

A erosão do solo é um problema reconhecido mundialmente, mas sua avaliação e estimativa (de maneira confiável e precisa) ainda enfrenta limitações quanto à determinação da

magnitude, extensão, taxas de ocorrência, bem como suas consequências econômicas, ambientais e sociais. Esses fatores fazem com que os estudos sobre a erosão do solo sejam dificultosos, demandando tempo e, em alguns casos, investimentos elevados (Lal, 1994; Weill, 1999).

Conforme Amorim (2003), os primeiros estudos sobre o tema restringiam-se à descrição quantitativa dos fatores relacionados ao processo erosivo. Com o avanço das pesquisas, a complexidade do fenômeno tornou-se evidente, impulsionando o desenvolvimento de diferentes metodologias. Nesse cenário, destaca-se Cook (1936), pioneiro em estudos que definiram os principais fatores que afetam o processo erosivo, como a erodibilidade do solo, a erosividade das chuvas e do escoamento superficial, além da influência da cobertura vegetal na proteção do solo (Amorim, 2003).

Com o avanço das tecnologias e da informatização de dados, possibilitou novas abordagens no estudo dos processos ambientais, permitindo simulações rápidas e eficazes que auxiliam no planejamento. Nesse contexto, destaca-se a utilização da modelagem, que adota uma perspectiva sistêmica ao considerar tanto o todo quanto as especificidades das partes (Checchia, 2005).

Os modelos¹⁴, sejam matemáticos ou conceituais, representam aproximações da realidade e devem reunir simplicidade, representatividade e precisão, de modo a garantir compreensão, descrição adequada dos processos e correlação estatística satisfatória. Ainda que não sejam exatos, compreendem generalizações fundamentadas em um número de observações e medições de um processo ou fenômeno, podendo assumir a forma de teorias, leis, hipóteses, equações ou regras (Checchia, 2005).

Desde a década de 1940, estudos experimentais vêm sendo conduzidos com o objetivo de mensurar a erosão do solo. Nesse contexto, a erosão laminar passou a ser analisada por meio de modelos de predição, que possibilitam estimar e quantificar as perdas de solo, além de subsidiar a escolha de práticas de manejo e controle voltadas ao uso racional do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

A modelagem da erosão do solo corresponde à representação matemática das três fases fundamentais do processo erosivo, a desagregação, o transporte e a deposição das partículas (Nearing; Lane; Lopes, 1994). Esses modelos de predição foram elaborados com a finalidade

¹⁴ Os modelos podem ser classificados em três categorias: empíricos ou estatísticos, conceituais e baseados em processos físicos. A classificação em uma dessas categorias depende do conjunto de processos simulados pelo modelo, da forma como são descritos os processos e do grau de dependência em relação aos dados utilizados pelo modelo (Amorim, 2003).

de ampliar a capacidade de análise do pesquisador e do planejador, permitindo estimar perdas de solo mesmo em locais e condições que não tenham sido diretamente investigadas em campo (Weill, 1999).

A estimativa das perdas de solo é fundamental para quantificar os sedimentos removidos de uma vertente, permitindo identificar o potencial de assoreamento de mananciais e reservatórios, bem como prever impactos antes mesmo da implantação de uma cultura ou prática agrícola. Nesse sentido, os modelos de predição de erosão constituem ferramentas eficazes, pois possibilitam estimar as perdas de solo tanto em condições reais quanto em cenários simulados (Amorim, 2003).

As técnicas mais recentes de predição de perdas de solo apresentam maior precisão e podem ser aplicadas em escala universal, desde que haja disponibilidade de dados específicos para o local de interesse (Bertoni; Lombardi Neto, 2017). Contudo, a utilização de modelos de predição requer cautela, uma vez que a qualidade e a quantidade de dados disponíveis variam significativamente em diferentes áreas. A extrapolação baseada em informações limitadas ou obtidas por métodos não padronizados pode comprometer a confiabilidade dos resultados e gerar erros de interpretação (Lal, 1994).

Na década de 1990, foram desenvolvidos diversos modelos preditivos voltados à estimativa da erosão laminar.

Zing (1940) publicou a primeira equação para calcular a perda de solo em campo, seguido de estudos, foi recebendo contribuições e aperfeiçoamentos da equação proposta. Laws (1940) e Ellison (1944) identificaram a chuva com um fator determinante para a ocorrência da erosão, Smith (1941) acrescentou os fatores de cobertura de solo e práticas conservacionistas e Browning (1947), incorporou o fator de erosividade da chuva e Musgrave (1947) apresentou a equação com as variáveis de intensidade da chuva, relevo, o tipo de solo e a cobertura vegetal local. Em 1958, Wischmeier propôs uma metodologia para estimativa da erosividade da chuva e em conjunto com Smith, eles desenvolveram a primeira versão da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que tiveram melhorias em 1965 e 1978 (Teixeira, 2018, p. 24-25).

A Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS (denominada em inglês como *Universal Soil Loss Equation* – USLE) é um modelo empírico e integra diferentes fatores relacionados ao processo erosivo, como precipitação, erodibilidade do solo, comprimento e declividade da encosta, uso do solo e práticas conservacionistas adotadas. De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o modelo foi desenvolvido a partir da observação de perdas em mais de 10.000 parcelas-padrão distribuídas em distintas regiões dos Estados Unidos, contemplando uma ampla variedade de solos e regimes de chuva.

A EUPS consolidou-se como um dos modelos mais difundidos mundialmente para a estimativa de perdas de solo. Sua ampla utilização se deve, não apenas pela vasta literatura existente e do conhecimento acumulado ao longo de décadas de pesquisas, mas também da relativa simplicidade na aplicação, uma vez que exige um número reduzido de informações quando comparada a modelos mais complexos (Carvalho, 2012). Além disso, sua base conceitual e metodológica serviu como referência para o desenvolvimento de modelos posteriores, que buscaram incorporar maior detalhamento dos processos de perda de solos sem perder de vista a aplicabilidade já consolidada pela EUPS.

Embora exista um consenso entre os pesquisadores de que a EUPS forneça estimativas satisfatórias de erosão para períodos pré-determinados, o modelo apresenta limitações diante dos desafios mais complexos relacionados à dinâmica erosiva. Este modelo não permite estimar as perdas de solo em estágios avançados da erosão linear, além de não ser capaz de fornecer informações detalhadas sobre a variabilidade temporal e espacial da erosão durante eventos de chuva (Williams, 1975; Foster, 1982).

Apesar dessas limitações, a EUPS mantém grande relevância, tanto histórica quanto prática. Modelos empíricos como este continuam sendo amplamente utilizados em projetos práticos, servindo como referência até que os processos físicos da erosão sejam plenamente compreendidos e incorporados em modelos mais complexos (Amorim, 2003). Além disso, a adaptação da EUPS para ambientes computacionais, por meio do uso de ferramentas de geoprocessamento¹⁵, possibilita maior eficiência na análise e a obtenção de resultados espaciais mais detalhados e precisos (Teixeira, 2018).

Após a criação da EUPS, novas pesquisas foram conduzidas com o objetivo de aprimorar as estimativas de perdas de solo. Como resultado, foi elaborada a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), a partir da década de 1980 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em colaboração com diversas instituições de pesquisa (McCool *et al.*, 1995). Essa estimativa também classificada como um modelo empírico, é derivada de uma ampla revisão da EUPS e de sua base de dados.

A RUSLE manteve a mesma estrutura fundamental da equação original de perda de solos, porém, introduziu mudanças significativas na forma de determinação dos fatores, incorporando conceitos de modelagem baseados na descrição de processos físicos para aumentar a precisão das predições. Além disso, em função da complexidade das equações

¹⁵ Conjunto de tecnologias voltadas para a coleta, tratamento de informações, correlações entre variáveis e apresentação de informações espaciais, possibilitando a análise de um objeto/área (Carvalho, 2012).

utilizadas no cálculo dos fatores, foi desenvolvido um programa computacional específico para facilitar a aplicação do modelo e a estimativa das perdas de solo (Amorim, 2003).

Embora o modelo RUSLE represente um avanço em relação à EUPS, ao incorporar melhorias metodológicas e ampliar a precisão das estimativas, ainda apresenta limitações importantes. Essas restrições decorrem principalmente de sua natureza empírica, uma vez que foi desenvolvido a partir de determinadas condições ambientais. Tal característica dificulta sua aplicação em contextos edafoclimáticos¹⁶ distintos daqueles para os quais foi originalmente concebido, além de não contemplar o processo de deposição, o que compromete sua utilização em áreas extensas, onde tal processo é mais significativo (Amorim, 2003).

Outra variação da EUPS é o *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), desenvolvido para estimar o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas (Valle Junior, 2008). O modelo mantém os mesmos fatores da equação original, com exceção do fator R, referente à erosividade da chuva, que foi substituído por variáveis associadas aos processos hidrológicos da bacia, em especial o de energia do escoamento superficial (Silva *et al.*, 2003).

Entretanto, a aplicação da EUPS modificada apresenta desafios, uma vez que os fatores hidrológicos exigidos para estimar o aporte de sedimentos nem sempre são de fácil obtenção (Silva *et al.*, 2003). Além disso, o modelo demanda a determinação precisa de suas variáveis, bem como a calibração dos coeficientes de acordo com as condições locais. Nesse sentido, torna-se indispensável a coleta de séries de dados de vazão e de concentração de sedimentos por meio de medições em campo, de modo que os valores possam ser ajustados, garantindo maior representatividade e adequação para utilização posterior (Sirqueira *et al.*, 2022).

Diante das limitações dos modelos empíricos, buscou-se abordagens alternativas para estimar perdas de solo, fundamentadas nos processos físicos que controlam o desprendimento, transporte e deposição das partículas de solo. Essa linha de modelagem teve início na metade da década de 1980, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) lançou o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), com o objetivo de desenvolver uma nova geração de modelos para a predição da erosão hídrica (Amorim, 2003).

O WEPP foi desenvolvido com o objetivo de substituir a EUPS, sendo classificado como um modelo semi-determinístico para simulação da erosão e produção de sedimentos (Lane; Nearing, 1989). Baseia-se em princípios físicos relacionados à erosão, incluindo a mecânica do solo, o crescimento da vegetação, a infiltração e a hidráulica do escoamento (Carvalho, 2012).

¹⁶ Características de solo e clima de um determinado local que influenciam no desenvolvimento das plantas.

O modelo permite estimar o desprendimento, transporte e deposição das partículas de solo ao longo da encosta, contudo, não contempla processos de erosão como voçorocas nem cursos d'água perenes. Além disso, a elevada quantidade de parâmetros de entrada exigida pelo modelo WEPP implica a necessidade de treinamento especializado para sua correta implementação (Amorim, 2003).

Outro modelo de destaque é o *European Soil Erosion Model* – EUROSEM, desenvolvido com o propósito de estimar a erosão em eventos individuais de chuva e, ao mesmo tempo, avaliar a eficácia de medidas de proteção e manejo do solo. Diferentemente de modelos de caráter empírico, o EUROSEM foi concebido com uma base mais próxima de processos físicos, utilizando a equação de balanço de massa como instrumento central para calcular o transporte, a erosão e a deposição de sedimentos sobre a superfície do terreno (Valle Junior, 2008).

Esse modelo possui a particularidade de considerar de forma detalhada o volume de chuva que efetivamente alcança o solo. Para isso, leva em conta não apenas a precipitação direta, mas também a interceptação pela vegetação, a drenagem das gotas pelas folhas e o escoamento que se concentra ao longo do caule, o que confere maior realismo à simulação hidrológica. Dessa maneira, o EUROSEM se diferencia de modelos como a EUPS/RUSLE, voltados a estimativas médias de longo prazo, ao possibilitar análises em escala de eventos específicos (Valle Junior, 2008).

O *Limburg Soil Erosion Model* – LISEM é um modelo de base física desenvolvido para simular a hidrologia e os processos erosivos do solo, com foco em aplicações voltadas ao planejamento e à conservação ambiental. Sua estrutura foi concebida para operar em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)¹⁷, utilizando dados em formato raster¹⁸. Essa característica torna sua aplicação em bacias hidrográficas mais eficiente, ao facilitar a interface com o usuário e permitir a integração de informações provenientes de técnicas de sensoriamento remoto (Valle Junior, 2008).

Atualmente, há uma grande variedade de modelos de predição da erosão, que variam em complexidade, escala e processos. Enquanto os modelos empíricos são mais simples e úteis em situações com poucos dados, os de base física oferecem maior detalhamento, mas exigem maior quantidade de informações e conhecimento técnico. Assim, não há nenhum que possa

¹⁷Os SIGs englobam desde a coleta de dados, até o armazenamento, a análise e a visualização de informações espaciais, além de análises complexas por meio da integração de dados georreferenciados (Câmara; Davis, 2001).

¹⁸O formato raster é um modelo matricial onde o espaço é dividido em células ou pixels, com cada célula associada a um valor digital correspondente a um atributo, o que permite representar o território como uma superfície contínua (Passos, 2021).

categoricamente ser indicado como o mais apropriado, já que cada um apresenta potencialidades e limitações específicas, sendo a escolha dependente dos objetivos do estudo, da escala de análise e da disponibilidade e qualidade dos dados da área de estudo escolhida (Carvalho, 2012).

1.4 A Equação Universal de Perda de Solos e seus componentes

A EUPS é uma equação de caráter empírico desenvolvida para integrar de forma conjunta os principais fatores condicionantes da erosão, possibilitando a estimativa da perda média anual de solo em uma determinada área em função do escoamento superficial das águas pluviais, com ênfase nos processos de erosão laminar (Amorin, 2003).

Para tanto, considera variáveis como a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento e a declividade da encosta, o uso e cobertura da terra e as práticas de manejo agrícola adotadas. Dessa forma, a equação permite avaliar a influência relativa de cada fator sobre a dinâmica erosiva, servindo como importante ferramenta no planejamento territorial e ambiental de bacias hidrográficas e na definição de medidas de manejo do solo (Teixeira, 2018).

A EUPS, proposta inicialmente por Wischmeir e Smith (1978), pode ser representada da seguinte forma (Equação 1):

$$A = R.K.L.S.C.P \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

A = perda de solo ($t/ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm/ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$)¹⁹;

K = fator de erodibilidade do solo ($t \cdot ha \cdot h/ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$);

L = fator de comprimento de rampa (adimensional);

S = fator de declividade da encosta (adimensional);

C = fator de uso e manejo (adimensional);

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

O Fator A refere-se à perda de solo estimada por unidade de área e é considerado o resultado da aplicação da EUPS, representando de forma integrada a influência dos diferentes fatores condicionantes da erosão. Como os fatores L, S, C e P são adimensionais, a unidade de

¹⁹ A medida em Megajoule (MJ) expressa a grandeza escalar da energia cinética.

medida de A é determinada a partir da combinação das unidades atribuídas aos fatores R e K. No âmbito do Sistema Internacional de Unidades (SI), aceita expressar o Fator A em toneladas por hectare (t/ha), medida amplamente utilizada. Além disso, em termos temporais, a unidade de referência associada ao Fator A é, em geral, a média anual de um ano civil, o que permite uma análise padronizada do potencial de perdas de solo ao longo do tempo, mesmo diante da variabilidade espacial e sazonal das chuvas e do uso da terra (Foster *et al.*, 1981).

A aplicação da EUPS representa uma ferramenta fundamental no planejamento do uso e manejo do solo. Essa abordagem permite identificar áreas mais suscetíveis à erosão, orientar a distribuição espacial de culturas e práticas agrícolas, e subsidiar a implementação de medidas conservacionistas adequadas às condições locais.

A seguir, apresentam-se em detalhes os fatores que compõem a EUPS e a importância de cada um na determinação da perda de solo.

1.4.1 Erosividade da chuva (Fator R)

A erosividade da chuva é considerada um dos componentes mais relevantes da EUPS, uma vez que a chuva representa a força determinante da erosão hídrica. Sua influência manifesta-se tanto na desagregação dos agregados do solo, provocada pelo impacto direto das gotas de chuva, quanto na intensificação do escoamento superficial (Lal, 1994), o que o torna o fator mais ativo no processo erosivo.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017), quando os demais fatores que influenciam a erosão do solo são mantidos constantes, a chuva torna-se o principal agente do processo erosivo. Nesse contexto, a perda de solo causada pelas precipitações é diretamente proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e à intensidade máxima registrada em um período de trinta minutos (Bertoni; Lombardi Neto, 2017; Wischmeir; Smith, 1978). Isso significa que, quanto maior a quantidade de energia liberada pelo impacto das gotas sobre a superfície do solo e quanto mais concentrada for a intensidade da chuva em um curto intervalo de tempo, maior será o seu potencial de desagregar as partículas e promover o transporte de sedimentos.

O método que estabelece a correlação entre a energia cinética total da chuva e intensidade máxima em trinta minutos foi denominado de EI^{30} , proposta por Wischmeir e Smith (1978). Esse índice é considerado uma das formas mais adequadas de avaliar a erosividade das chuvas, pois contempla as fases iniciais do processo erosivo, como o impacto das gotas de

chuva no solo, a turbulência gerada e o escoamento superficial, o que explica sua forte correlação com as perdas de solo (Wischmeier; Smith, 1978).

Embora o EI^{30} seja amplamente reconhecido como o índice mais adequado para expressar o potencial erosivo das chuvas, sua aplicação enfrenta limitações práticas. Isso ocorre porque o método depende de dados obtidos por meio de pluviógrafos, equipamentos muitas vezes escassos em diversas regiões e que, quando disponíveis, exigem análises detalhadas e trabalhosas de seus registros, demandando elevado esforço técnico e operacional. Em razão dessas dificuldades, têm sido propostas alternativas metodológicas que buscam correlacionar os índices de erosão a variáveis climáticas de maior disponibilidade (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Diante disso, Lombardi Neto e Moldenhauer (1980, *apud* Bertoni; Lombardi Neto, 2017) propuseram um método alternativo baseado em dados provenientes de pluviômetros. Os autores observaram uma forte correlação entre a média mensal do índice de erosividade e a média mensal do coeficiente de chuva, o que possibilitou simplificar o cálculo da erosividade da chuva.

Para garantir a confiabilidade do Fator R, recomenda-se a utilização de séries históricas de dados pluviométricos com, no mínimo, 20 anos de registro (Wischmeier; Smith, 1978; Bertoni; Lombardi Neto, 2017). O que permite uma maior precisão e confiabilidade aos resultados (Wischmeier; Smith, 1978).

Nesse sentido, a determinação do Fator R possibilita avaliar o potencial erosivo das precipitações em uma determinada região, fornecendo subsídios para identificar, ao longo do ano, os períodos mais adequados à implementação de práticas de manejo e conservação do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2017; Wischmeier; Smith, 1978).

1.4.2 Erodibilidade do solo (Fator K)

A erodibilidade do solo reflete a suscetibilidade à erosão, ou seja, sua capacidade de resistir aos processos erosivos característicos de um determinado tipo de solo (Wischmeier; Smith, 1978). Entre as propriedades do solo que influenciam diretamente sua erodibilidade pela força da água destacam-se a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacidade de armazenamento de água, a resistência à dispersão e ao salpicamento, a abrasão e a ação das forças de transporte promovidas pelo escoamento superficial (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017), alguns tipos de solo são naturalmente mais suscetíveis à erosão do que outros, mesmo quando os demais fatores ambientais que

influenciam o processo erosivo (como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo) são mantidos constantes. Essa variação está diretamente relacionada às propriedades físicas, químicas e mineralógicas de cada solo (Silva *et al.*, 2003).

Existem três procedimentos diferentes para determinar o fator de erodibilidade do solo, cada um com suas características e aplicações específicas. O primeiro método envolve a medição direta em condições de campo, sob chuva natural, entretanto, é considerado oneroso e demorado, exigindo monitoramento contínuo e condições climáticas favoráveis durante o período de estudo. O segundo método, embora semelhante ao primeiro, utiliza chuvas simuladas para estimar o Fator K com base nas perdas de solo e no fator de erosividade, oferecendo maior controle sobre a intensidade e a duração da chuva, reduzindo a variabilidade dos resultados. O terceiro procedimento é indireto e se fundamenta em regressões múltiplas que relacionam atributos do solo (morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos) aos valores de K obtidos pelos métodos anteriores, considerados como padrão de referência (Wischmeier; Smith, 1978; Silva *et al.*, 2003).

Entre os fatores da EUPS, o Fator K é o que apresenta maior complexidade para determinação, uma vez que sua mensuração direta, sob condições de chuva natural ou simulada, envolve elevados custos e longos períodos de monitoramento, sobretudo em áreas extensas e com elevada variabilidade de solos. Diante dessas limitações, são empregados métodos indiretos para sua estimativa, baseados em abordagens alternativas que permitem reduzir custos e tempo de análise (Amorim, 2003).

1.4.3 Comprimento de rampa e grau de declividade (Fator LS)

A intensidade da erosão hídrica é influenciada tanto pela distância percorrida pelo escoamento superficial quanto pela declividade do terreno, representadas na EUPS pelos fatores L e S, respectivamente. Na prática, esses dois fatores são combinados em um único termo na equação, denominado Fator topográfico ou Fator LS, que reflete a influência conjunta do comprimento e da declividade da encosta sobre o processo erosivo (Amorim, 2003).

O volume e a quantidade de material transportado pela erosão hídrica estão diretamente relacionados à velocidade do escoamento superficial, a qual depende do comprimento de rampa e do grau de declividade do terreno (Wischmeier; Smith, 1978; Bertoni; Lombardi Neto, 2017). Dessa forma, quanto maior o comprimento da rampa, maior será a perda de solo, pois o fluxo superficial é proporcional ao comprimento do declive, uma vez que ao aumentar a distância

entre os pontos de altitude máxima e mínima, aumenta a força de arraste da água e, consequentemente, o transporte de partículas de solo (Teixeira, 2018).

Segundo Minella *et al.* (2010), a determinação do Fator LS não é tarefa simples, pois a morfologia do declive (que pode ser reta, côncava, convexa ou uma combinação dessas formas) apresenta complexidades que dificultam a análise. Isso exigiu que os pesquisadores desenvolvessem equações matemáticas capazes de representar o comportamento desses diferentes formatos de encosta sob variadas condições de escoamento e erosão (Oliveira *et al.*, 2010).

Com o avanço das tecnologias, o cálculo do Fator LS passou a ser aprimorado, sobretudo com o uso de produtos como o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital do Terreno (MDT). Esses dados oferecem hoje uma maior resolução espacial, cobertura mais abrangente e precisão superior em relação aos dados disponíveis na época em que a EUPS foi desenvolvida. Nesse contexto, a integração dos MDEs às ferramentas de SIGs possibilita análises espaciais mais rápidas e automatizadas, com maior confiabilidade nos resultados para a quantificação do Fator LS (Oliveira *et al.*, 2010).

1.4.4 Uso e Manejo de Práticas conservacionistas do solo (Fator CP)

A influência antrópica no processo de erosão laminar está diretamente associada aos fatores C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas). De modo geral, solos desprovidos de cobertura vegetal apresentam maior suscetibilidade à erosão quando comparados àqueles recobertos por vegetação. O nível de proteção proporcionado depende, sobretudo, do estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal, aliado às práticas de manejo adotadas (Bertoni; Lombardi Neto, 2017), constituindo um dos aspectos mais importantes para a mitigação da erosão hídrica.

A cobertura vegetal é um fator importante para a proteção dos solos contra os processos erosivos, atuando como barreira natural que dissipa a energia cinética das gotas de chuva. Esse efeito atenua o impacto direto da precipitação sobre as partículas do solo, reduzindo sua desagregação e, consequentemente, o desprendimento e transporte de sedimentos. Além disso, a presença de vegetação contribui para diminuir a velocidade do escoamento superficial, promovendo maior infiltração da água no solo (Guerra, 2018).

O Fator C é definido como a relação entre as perdas de solo em áreas cultivadas em dadas condições e as perdas de solo de terrenos totalmente desprotegidos. Para sua determinação, leva-se em conta os diferentes estágios de desenvolvimento das culturas, uma

vez que cada fase do ciclo vegetativo exerce influência distinta sobre a proteção do solo e, consequentemente, sobre a intensidade dos processos erosivos (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

O Fator P corresponde a razão entre a quantidade de solo perdido em uma área submetida a determinada prática conservacionista e aquela registrada em condições de cultivo no sentido do declive (morro abaixo), isto é, sem adoção de qualquer técnica de conservação do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2017). Dessa forma, o Fator P expressa diretamente a influência da adoção ou ausência de práticas de manejo conservacionista para a redução das perdas de solo.

De acordo com Stein *et al.* (1987), o Fator C pode ser analisado separadamente do Fator P quando o propósito central da pesquisa está relacionado à busca de alternativas de produção agrícola mais sustentáveis, com foco na escolha de culturas e manejos que minimizem os impactos sobre o solo gerados pelo uso agrícola.

Entretanto, quando o enfoque do estudo se volta para a quantificação direta da perda de solo decorrente da erosão hídrica, os fatores C e P podem ser associados, uma vez que ambos influenciam de maneira conjunta na suscetibilidade do solo a erosão (Pereira, 2014). Nesses casos, a combinação entre uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas adotadas é representado pelo Fator CP.

1.5 A morfodinâmica e o processo de apropriação e ocupação do relevo

As transformações das atividades humanas refletem a busca constante por melhores condições de vida, o que tem promovido significativas alterações na natureza. Desse modo, os recursos naturais têm sido continuamente utilizados como meios para atingir os propósitos de uma sociedade mais desenvolvida (Alves, 2023), revelando uma relação historicamente marcada por desequilíbrios entre crescimento econômico e conservação ambiental.

O espaço geográfico constitui o âmbito em que se estabelecem as interações entre Sociedade e Natureza, envolvendo elementos que se encontram em constante transformação. Para a Geografia, compreender essas relações é fundamental para interpretar a dinâmica do território e orientar o desenvolvimento econômico e social a partir de princípios sustentáveis (Ross, 2019).

Sob a perspectiva tradicional positivista, homem e natureza eram compreendidos como pólos excludentes e sustentavam a ideia de uma natureza objetificada, fonte ilimitada de recursos à disposição do ser humano (Bernardes; Ferreira, 2010). Contudo, as limitações dessa abordagem frente à complexidade dos fenômenos geográficos evidenciaram a necessidade de

interpretações mais integradas, capazes de compreender a dinâmica das interações entre Sociedade e Natureza (Fushimi, 2016).

Nesse contexto, com a evolução do capitalismo e de seus meios de produção, os recursos naturais passaram a ser ameaçados, com o aumento dos processos de degradação ambiental associados à exploração excessiva da natureza. Essa discussão relaciona-se aos processos de apropriação e transformação promovidos pela sociedade capitalista, nos quais a natureza passa a ser compreendida como elemento continuamente modificado pelo trabalho humano (Bernardes; Ferreira, 2010).

De acordo com Guerra e Marçal (2012), a coexistência de elementos sociais e físicos no ambiente requer que o pesquisador desenvolva estratégias capazes de compreender e analisar a complexa relação entre esses componentes.

Nessa perspectiva, a Geomorfologia caracteriza-se pela interação dos aspectos físicos e sociais que compõem a paisagem, e possibilita, pelo seu estudo, o entendimento da origem e evolução das formas do relevo terrestre, relacionando a paisagem atual com as pretéritas. A abordagem ambiental, nos estudos geomorfológicos, abrange a compreensão das relações do homem com a natureza, dando-lhe suporte técnico importante para se trabalhar a questão ambiental dentro de uma ótica integradora (Guerra; Marçal, 2012, p. 147-148).

A Geomorfologia, enquanto área do conhecimento da Geografia, busca compreender as formas de relevo existente e suas transformações ao longo do tempo (Christofollett, 1980), sobretudo considerando o processo de apropriação e ocupação do relevo (Guerra e Marçal, 2012).

Sendo assim, o objeto de estudo da Geomorfologia é o relevo, cuja formação resulta da ação combinada dos processos endógenos (forças tectogenéticas)²⁰ e exógenos (mecanismos morfoclimáticos)²¹ (Cassetti, 1995). Esses processos são responsáveis pela modelagem das diferentes formas de relevo, as quais, atualmente, interagem de maneira direta com as ações antrópicas.

A compreensão do relevo, sua dinâmica e esculturação, fundamenta-se nos processos morfogenéticos e morfodinâmicos, considerando o tempo geológico (o tempo da morfogênese) como responsável por esculpir a superfície do planeta. Nesse sentido, Cassetti (1995) ressalta a importância de considerar a escala temporal no estudo das formas do relevo, enfatizando que, enquanto a morfogênese requer a compreensão dos processos atuantes ao longo do tempo geológico, os estudos morfodinâmicos dão maior atenção aos processos que ocorrem nos dias atuais.

²⁰ Conjunto de processos de origem tectônica.

²¹ Processos naturais que moldam o relevo da superfície terrestre sob a influência do clima.

Segundo Florenzano (2008), a morfogênese refere-se à origem e ao desenvolvimento das formas do relevo, resultante da interação entre forças endógenas e exógenas ao longo do tempo. As morfoestruturas²² e morfoesculturas²³ exemplificam a ação combinada dessas forças, considerando a escala de tempo geológico.

Por outro lado, a morfodinâmica refere-se aos processos atuais que moldam o relevo, considerando a escala de tempo histórica e levando em conta as interferências antrópicas (Florenzano, 2008). Embora não descarte a atuação das forças endógenas, a morfodinâmica evidencia que sua ação se manifesta de forma mais rápida, tornando as alterações do relevo mais perceptíveis ao ser humano.

Diante disso, é fundamental compreender que, ao definir as escalas temporais de atuação dos processos, não se deve negligenciar a relevância de nenhum deles na formação das diferentes formas de relevo. Desse modo, torna-se essencial analisar os processos e as formas de acordo com o objeto de estudo adotado, seja ele voltado à morfologia, à morfogênese ou à morfodinâmica (Florenzano, 2008).

Neste sentido, o tempo da natureza é definido pela escala geológica, marcada por processos lentos e contínuos que moldam a paisagem por meio de fenômenos como dobramentos e falhamentos, resultantes da ação de agentes endógenos responsáveis pela movimentação das placas tectônicas e pela esculturação do relevo terrestre (Cassetti, 1995; Costa, 2019).

Em contrapartida, o tempo da sociedade se insere em uma escala histórica muito mais acelerada, materializando-se na evolução das técnicas e dos modos de produção que sustentam a dinâmica social e econômica (Bernardes; Ferreira, 2010; Costa, 2019). Esses diferentes tempos coexistem em um mesmo espaço, interagindo de maneira complexa e produzindo influências diretas ou indiretas sobre suas dinâmicas, imprimindo novas características aos processos morfodinâmicos.

Os meios morfodinâmicos propostos por Tricart (1977) e amplamente discutidos no livro “Ecodinâmica”, constituem importantes indicadores das intervenções humanas sobre a natureza. Esses meios resultam do equilíbrio dinâmico entre duas componentes fundamentais, a pedogênese, que expressa a predominância dos processos de formação dos solos, e a

²² As morfoestruturas correspondem a grandes unidades do relevo originadas por processos geológicos internos (endógenos), que moldam base estrutural da crosta terrestre. Sobre essa base, atuam os agentes externos, como o clima atual e pretérito, que esculpem e transformam as feições superficiais do relevo (Ross, 2012).

²³ As morfoesculturas correspondem ao modelado ou ao conjunto de formas resultantes da ação de processos exógenos sobre uma ou mais morfoestruturas, responsáveis pela esculturação das feições do relevo (Ross, 2012).

morfogênese, responsável pelo avanço dos processos erosivos nas vertentes, resultando em um maior entalhamento e dissecação do relevo.

Torna-se evidente que a ação humana intensifica a instabilidade dos meios morfodinâmicos, gerando novas dinâmicas diretamente relacionadas às formas de ocupação e às intervenções realizadas sobre o relevo. Nesse contexto, compreender a morfodinâmica atual e os processos que a constituem requer analisar também o papel do ser humano como agente que interfere no equilíbrio dinâmico (Hack, 1960; Casetti, 1995).

De acordo Hack (1960), o equilíbrio dinâmico representa o balanço entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos que atuam sobre o relevo. Para Fierz (2016, p. 609), esse “equilíbrio dinâmico requer um estado de balanço entre as forças opostas, que operam em taxas iguais e, efetivamente, se cancelam para produzir o estado estável”. No entanto, o avanço da apropriação e ocupação do relevo demonstra que o ser humano é capaz de alterar significativamente essas dinâmicas, acelerando processos que antes se desenrolavam em períodos mais longos.

Diante disso, Tricart (1977) propõe a classificação dos ambientes em três meios morfodinâmicos: estáveis, intergrades e fortemente instáveis. Essa tipologia considera o equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos como elemento determinante do grau de estabilidade do ambiente.

Os meios estáveis são caracterizados por terem uma cobertura vegetal contínua, dissecação moderada do relevo e ausência de manifestações vulcânicas, indicando um sistema relativamente equilibrado. Os meios intergrades configuram uma zona de transição entre estabilidade e instabilidade, mostrando maior vulnerabilidade a perturbações externas e podendo evoluir para condições fortemente instáveis. Por sua vez, os meios fortemente instáveis são dominados pelos processos morfogenéticos, podendo ser originados por fatores naturais extremos ou intensificados pela ação antrópica (Tricart, 1977; Pedro Miyazaki, 2014).

Na teoria do “Balanço Morfogenético” proposta por Tricart (1957), a componente paralela²⁴ corresponde às forças morfogenéticas e é amplamente utilizada na análise dos meios morfodinâmicos de um determinado ambiente. Assim, quando a componente perpendicular²⁵ (associada à pedogênese) se sobrepõe à paralela (relacionada à denudação²⁶), estabelece-se um

²⁴ Paralelo à vertente ou à superfície, é caracterizado pelos efeitos erosionais associados à morfogênese, sendo responsável pelo deslocamento do material previamente elaborado no componente perpendicular (Fushimi, 2012).

²⁵ Presença de cobertura vegetal e predomínio da infiltração, que favorecem os processos de intemperismo e pedogênese, resultando na formação de material suscetível a eventual transporte (Fushimi, 2012).

²⁶ A denudação envolve a erosão, o transporte e a deposição de materiais, promovendo o rebaixamento e a dissecação do relevo.

balanço morfogenético negativo. Em contrapartida, quando a componente paralela supera a perpendicular, indicando a predominância da denudação sobre a pedogênese, o balanço é considerado positivo (Fushimi, 2012).

Dessa forma, a ação antrópica, por meio da impermeabilização do solo em áreas urbanas e da remoção de vegetação de matas ciliares e encostas rurais, intensifica a atuação do componente paralelo. Em superfícies praticamente horizontais, com declividade nula, esse componente tem pouca expressão. Contudo, em cenários com declives acentuados e modificados pela intervenção humana, processos como a erosão podem se manifestar de maneira mais intensa e acelerada, fazendo com que a perda de solos seja maior (Fushimi, 2012).

Diante dessas condições, Casseti (1995, p. 66) assinala que:

[...] A partir do momento em que o homem se apropria da vertente e inicia um processo de transformação, tendo-a como suporte ou recurso, o que normalmente se dá através do desmatamento, com conseqüentes cortes ou aterros, as relações processuais são alteradas: a chuva deixa de ser interceptada, proporcionando a desagregação mecânica do solo pelo efeito de “splash”, ao mesmo tempo em que responde pelo aumento do fluxo por terra com conseqüente dessolagem, ravinamento, boçorocamento ou mesmo deslizamento de massa. Portanto, o componente paralelo passa a predominar sobre o perpendicular, implicando o desequilíbrio da vertente e agravando o estado de saída.

Além disso, Tricart (1977) destaca que os principais fatores que determinam o balanço morfogenético das vertentes são a declividade, a natureza litológica das rochas e as condições climáticas.

A declividade constitui um fator fundamental no balanço morfogenético, uma vez que o grau de inclinação das vertentes influencia diretamente a intensidade dos processos de modelagem do relevo. Em áreas com vertentes mais íngremes, os processos morfogenéticos tendem a ser mais intensos, favorecendo a remoção de material e a esculturação das formas de relevo, o que, conseqüentemente, também favorece a perda de solos.

Por outro lado, em vertentes suavemente inclinadas, caracterizadas por rampas de menor declividade, a atuação morfogenética é menos expressiva. Nesses casos, a componente perpendicular, associada à pedogênese, torna-se predominante, favorecendo o desenvolvimento e a evolução dos solos (Casseti, 1995; Tricart, 1977, Pedro Miyazaki, 2014).

A natureza da rocha influencia diretamente no perfil das vertentes, pois determina a resistência estrutural do relevo e a formação do solo. Essa resistência sustenta a morfologia e contribui para a diversidade das formas de vertentes, refletindo os distintos graus de durabilidade e suscetibilidade à erosão (Fushimi, 2012; Pedro Miyazaki, 2014).

O clima é considerado o elemento morfogenético de maior influência, atuando de forma direta e indireta sobre o ambiente. Ele condiciona a dinâmica dos processos desde a pedogênese,

sobretudo por meio do intemperismo químico, até a morfogênese, através da denudação. Dessa forma, o clima é importante tanto no desenvolvimento da componente perpendicular quanto da paralela.

Esses fatores (declividade, natureza da rocha e clima) fornecem subsídios essenciais para a compreensão do relevo e da perda de solos, inseridos em ambientes marcados pela interação entre os elementos naturais e as atividades antrópicas. Tricart (1977, p. 35) ressalta que tais intervenções acontecem em uma “Natureza mutante, que evolui segundo leis próprias, das quais percebemos, de mais a mais, a complexidade”.

Dessa forma, considerando a complexidade dos sistemas naturais e os elementos que regulam sua dinâmica, torna-se importante compreender como o relevo vem sendo progressivamente transformado pela sociedade, muitas vezes sem considerar os processos responsáveis por sua formação e evolução. Nesse contexto, as ações antrópicas configuram uma morfodinâmica atual condicionada, na qual a morfogênese é intensificada pela atividade humana, resultando em perdas de solo superiores aos limites naturais de tolerância.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O capítulo de procedimentos metodológicos apresenta as etapas desenvolvidas para a análise da perda de solos e da influência da apropriação e ocupação do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Inicialmente, aborda-se a pesquisa e revisão bibliográfica, responsável por fornecer o embasamento teórico-conceitual e metodológico do estudo. Em seguida, são apresentados o levantamento das bases cartográficas e a organização do banco de dados secundários utilizados na pesquisa.

Posteriormente, descrevem-se os procedimentos para a extração dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica, bem como os trabalhos de campo realizados para reconhecimento da área, validação das informações obtidas em gabinete e análise dos processos erosivos identificados. Na sequência, apresenta-se a análise morfológica e granulométrica dos solos, visando compreender suas características físicas.

Por fim, são detalhados os procedimentos empregados na elaboração dos mapas temáticos e na determinação dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), fundamentais para a espacialização e análise das áreas suscetíveis à perda de solo por erosão hídrica.

2.1 Pesquisa e revisão bibliográfica

O levantamento e revisão bibliográfica deve incluir a base científica sobre a qual o trabalho de pesquisa foi realizado. Essa fase da pesquisa é de extrema importância para que o pesquisador forme linhas de raciocínio que se fortaleçam no conhecimento de outros autores. Segundo Boccato (2006) a pesquisa bibliográfica busca a resolução de uma hipótese ou problema por meio de referências teóricas já publicadas que trarão subsídios para o conhecimento do tema investigado.

Nesse contexto, o levantamento bibliográfico também contribuiu para a definição da perspectiva teórico-metodológica adotada na pesquisa, fundamentada em uma abordagem quali-quantitativa, considerando as limitações inerentes à utilização isolada de modelos matemáticos e a necessidade de integrar diferentes procedimentos de análise para ampliar a compreensão da dinâmica erosiva na bacia hidrográfica.

Para tanto, o levantamento das informações sobre a temática foi dividido em subtemas que nortearam o desenvolvimento da pesquisa, sendo estabelecidos da seguinte forma:

- a) A bacia hidrográfica como uma unidade de análise;
- b) Erosão dos solos;
- c) Modelos de predição de erosão hídrica;

- d) A Equação Universal de Perda de Solo e seus componentes;
- e) A morfodinâmica e o processo de apropriação e ocupação do relevo.

Os principais autores que fundamentaram a conceituação de bacia hidrográfica e sua relevância como categoria de análise, incluem Christofolletti (1980), Silveira (2001), Molle (2009) e Coelho Netto (2018). No que se refere ao estudo do ciclo hidrológico, destacam-se Silveira (2001), Botelho e Silva (2004), Tonello (2005) e Botelho (2011) sendo fundamentais para compreender as etapas e os fluxos de água nas bacias. Quanto às alterações nos processos naturais decorrentes da ocupação de bacias hidrográficas, contribuem significativamente os trabalhos de Casseti (1995), Leal (1995), Carvalho *et al.* (2000) e Porto e Porto (2008). Por fim, no âmbito da utilização da bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento, destacam-se Lorandi e Cançado (2002), Tundisi (2008), Campos (2006) e Carvalho, Silva e Cabral (2017), demonstrando a relevância na integração de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos e à mitigação de impactos socioambientais.

No que se refere ao conceito de erosão, os autores consultados incluem Guerra (1993), Bertoni e Lombardi Neto (2017)²⁷ e Fernandes (2011), oferecendo bases conceituais para compreender os processos de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo. Quanto à erosão hídrica e aos processos que a condicionam, destacam-se as contribuições de Oliveira (1994), Salomão e Iwasa (1995), Magalhães (2001), Suertegaray (2008), Guerra (2008; 2015) e Lima (2010), evidenciando que a intensidade da erosão é fortemente influenciada por fatores como o regime pluviométrico, o relevo, as propriedades do solo, a cobertura vegetal e as atividades humanas desempenhadas. Por fim, considerando a ação humana como elemento de intensificação dos processos erosivos, destacam-se Guerra (1994), Casseti (1995), Nunes e Cassol (2008) e Bertoni e Lombardi Neto (2017).

No que tange aos modelos de predição da erosão, autores como Cook (1936), Wischmeier e Smith (1978), Lal (1994), Well (1999), Amorin (2003) e Bertoni e Lombardi Neto (2017) contribuíram para o desenvolvimento de metodologias de estimativa de perda de solo. Entre esses, destaca-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), cujos fundamentos e componentes tiveram contribuições de Wischmeier e Smith (1978), Foster *et al.* (1981), Stein *et al.* (1987) e Bertoni e Lombardi Neto (2017) consolidando-se como ferramenta essencial para análises ambientais e de planejamento do uso do solo.

Por fim, ao estabelecer as relações entre sociedade e natureza, as reflexões de Bernardes e Ferreira (2010), Guerra e Marçal (2012) e Ross (2019) ressaltam a complexidade das

²⁷ Os estudos desses autores foram originalmente desenvolvidos na década de 1980, sendo que a obra utilizada nesta dissertação corresponde a uma reimpressão de 2017.

interações entre os sistemas naturais e as ações humanas, evidenciando a necessidade de abordagens integradas para compreender a dinâmica ambiental. No campo da Geomorfologia, os estudos de Hack (1960), Tricart (1977), Cassetti (1995), Florenzano (2008), Fushimi (2012) e Pedro Miyazaki (2014) reforçam a importância dos processos de morfogênese e pedogênese na formação do relevo, além de destacar como as transformações do relevo refletem a interação contínua entre fatores naturais e antrópicos.

Lakatos e Marconi (2003) destacam que os caminhos teóricos percorridos em uma pesquisa podem emergir tanto de experiências individuais quanto de trajetórias profissionais, sendo construídos a partir de estudos, leituras e reflexões que conduzem à formulação de diferentes perspectivas e contrapontos teóricos. Essa trajetória também envolve a interlocução com outras áreas do conhecimento, o que enriquece a compreensão do objeto de estudo e amplia as possibilidades de análise.

Neste sentido, o levantamento bibliográfico que embasou este trabalho foi desenvolvido a partir de uma combinação de referências clássicas, que oferecem fundamentos teóricos consolidados, e produções científicas mais recentes, que refletem os avanços e atualizações nas discussões sobre a temática. Foram consultados artigos publicados em periódicos, pesquisas de graduação e pós-graduação, além de livros e capítulos que contribuíram para aprofundar o debate conceitual e metodológico, permitindo uma abordagem mais abrangente e interdisciplinar entorno da temática.

2.2 Levantamento de bases cartográficas e banco de dados secundários

Para a realização desta pesquisa, foram empregados dados cartográficos, informações complementares e ferramentas computacionais com o propósito de subsidiar as análises referentes à espacialização da perda de solos, à ocupação e apropriação do relevo e à caracterização dos aspectos fisiográficos da área de estudo. A seguir, apresentam-se de forma detalhada os materiais e sistemas utilizados nesse processo.

1. Sistema de Informações Geográficas (SIG): QGIS 3.40.6, um *software* livre e de código aberto utilizado para a organização do banco de dados, elaboração de mapas temáticos e integração das diferentes bases cartográficas para a geração dos mapas de perda de solos, além do *software* ArcGIS Pro que possui o código fechado e pago, utilizado para a delimitação da bacia e extração da rede de drenagem;

2. *Software* de visualização geoespacial: Google Earth Pró, um software que permite explorar o globo terrestre em 3D, visualizar imagens de satélite, medir distâncias e áreas, importar e exportar arquivos vetoriais (como KML e *shapefile*);
3. Programa de imagem: *Stereo Photo Maker* (SPM), um programa gratuito utilizado para o processamento e visualização de imagens estereoscópicas, para geração de anáglifos;
4. Modelo Digital de Elevação (MDE): proveniente do sensor *Alos Palsar*, com resolução espacial de 12,5 metros, disponibilizado pela *Alaska Satellite Facility* (UAF/NASA);
5. Base cartográfica de uso e cobertura da terra: disponibilizado pelo MapBiomas, coleção 10, com resolução de 30 metros, referente ao ano de 2023;
6. Imagens de satélite: foram utilizadas imagens do Google Earth Pro e do satélite CBERS-4A, com resolução espacial de 2 e 8 metros, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, referentes ao ano de 2023. Esses dados subsidiaram a elaboração do anáglifo, que deu origem ao mapa geomorfológico da área de estudo, bem como a identificação de feições erosivas e a verificação do uso e cobertura da terra, contribuindo para a validação das informações provenientes do MapBiomas;
7. Base cartográfica das unidades litoestratigráficas: elaborada na escala 1:100.000, disponibilizada pela Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais (CODEMIG), utilizada para a caracterização geológica da área de estudo;
8. Dados pluviométricos: obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Portal HidroWeb;
9. Base cartográfica de solos²⁸: proveniente do convênio entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV), o Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), na escala 1:650.000, disponibilizada pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) e outra base proveniente do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:250.000²⁹, além do levantamento pedológico do município de Ituiutaba/MG realizado por Calderano Filho *et al.* (1999), na escala de 1:100.000.

²⁸ Bases de dados utilizadas como suporte ao mapa de classes de solo da área de estudo (o qual foi elaborado considerando as áreas de topo, vertente e fundo de vale, delimitados a partir do mapeamento geomorfológico, além da coleta e análise de solos realizadas).

²⁹ Apesar de toda a base cartográfica do mapeamento ser apresentada na escala 1:250.000 e a interpretação das imagens ter sido realizada nesta escala, o conteúdo temático que condiz com a quantidade de pontos amostrais se refere a um levantamento pedológico na escala 1:1.000.000 (IBGE, 2018).

Todos os mapas gerados foram referenciados espacialmente com base no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22S, e no Datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000).

Os mapas foram elaborados em três escalas diferentes, 1:100.000 para o mapa de unidades litológicas, 1:8.000 para o mapeamento das feições erosivas e 1:25.000³⁰ para os demais mapeamentos.

2.3 Extração dos parâmetros morfométricos

A análise morfométrica de uma bacia hidrográfica é definida a partir dos parâmetros morfométricos extraídos e que devem ser estruturados na base de dados. Para a geração desses parâmetros é necessária a delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem, sendo utilizada a metodologia conforme os trabalhos de Venceslau (2020) e Alves (2023), a partir do MDE, em conjunto com um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como já mencionado anteriormente.

A delimitação e a extração da rede de drenagem da bacia analisada neste estudo foram provenientes de um trabalho realizado anteriormente à elaboração desta proposta (Alves, 2024), neste trabalho em questão foi utilizando o software ArcGIS Pro³¹ em conjunto com a ferramenta *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM)³².

Posteriormente, foi realizada uma nova delimitação utilizando o *software* QGIS, associado ao provedor SAGA GIS³³, com o objetivo de avaliar a viabilidade de empregar exclusivamente essa plataforma na elaboração dos resultados finais, considerando a flexibilidade e o acesso livre desse *software*. No entanto, optou-se por utilizar o produto derivado do ArcGIS Pro e TauDEM, uma vez que apresentou uma rede hidrográfica mais detalhada e precisa, com melhor definição das linhas de drenagem e dos seus padrões de confluência, oferecendo maior confiabilidade para as análises subsequentes da bacia.

³⁰ A escala dos mapas foi padronizada tomando como referência o mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço (1:25.000), uma vez que essa escala também foi adotada no mapa de classes de solos, esse ajuste foi necessário para viabilizar a integração dos dados por meio de álgebra de mapas, aplicada para estimar a perda de solos.

³¹ *Software* pago desenvolvido pela empresa Esri, voltado para a análise e gestão de dados geoespaciais.

³² Ferramenta voltada ao processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) para a extração e análise de informações hidrológicas derivadas da topografia.

³³ *Software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que dispõe de amplas capacidades para o processamento e a análise de dados geoespaciais. O SAGA GIS permite a implementação de novas funcionalidades por meio de uma Interface de Programação de Aplicativos (API) altamente eficiente, podendo ser vinculada ao software QGIS.

Vale destacar que, até o ano de 2021, a ferramenta TauDEM podia ser utilizada em conjunto com o QGIS, contudo, seu uso foi descontinuado devido à falta de atualização do código fonte utilizado no repositório de plugins do *software* para a execução e abertura da ferramenta.

Com a área da bacia devidamente delimitada e a rede de drenagem extraída, procedeu-se à conversão dos dados da rede de drenagem do formato *raster* para o formato vetorial (*shapefile*). Ressalta-se que a rede de drenagem foi extraída conforme o método de classificação das ordens de drenagem proposto por Strahler (1957).

A partir da delimitação da bacia hidrográfica foram calculados a área e o perímetro por meio da ferramenta “Calculadora de Campo”, disponível na tabela de atributos do *shapefile* correspondente à delimitação. O comprimento do canal principal, assim como o de toda a rede de drenagem, também foi obtido utilizando a mesma ferramenta no *shapefile* referente à hierarquia fluvial. Já o comprimento do eixo axial foi determinado no sentido norte-sul, traçado em linha reta desde o exutório até a nascente mais a montante da bacia.

Com os dados da bacia hidrográfica referentes à área, perímetro, comprimento do eixo axial, comprimento do canal principal e extensão da rede de drenagem devidamente extraídos, deu-se início à caracterização da bacia por meio da análise dos parâmetros morfométricos. Os cálculos foram realizados em planilha eletrônica no *Microsoft Excel*, e as equações empregadas, juntamente com suas respectivas referências, estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros morfométricos

Parâmetros Morfométricos	Equação	Descrição	Definição	Referência
Coefficiente de compacidade	$Kc = 0,28 * P / \sqrt{A}$	Kc = coeficiente de compacidade; P = perímetro; A = área da bacia	Relaciona o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com área igual da bacia, indicando a propensão a enchentes.	Villela e Mattos (1975)
Fator de forma	$Kf = A / La^2$	Kf = fator de forma; A = área da bacia; La = comprimento axial da bacia	Relação entre a área e o comprimento axial da bacia, indicando a tendência para enchentes com base em sua forma.	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade	$Ic = 12,57 * A / P^2$	Ic = índice de circularidade; A = área da bacia; P = perímetro da bacia	Relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual a área da bacia, indicando propensão a inundação.	Miller (1953)
Densidade de drenagem	$Dd = Lt / A$	Dd = densidade de drenagem; Lt = comprimento total dos canais; A = área da bacia	Indica o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem.	Villela e Mattos (1975)
Relação de bifurcação	$Rb = Nu / Nu+1$	Rb = Relação de bifurcação; Nu = segmentos de uma ordem; Nu+1 = segmentos da ordem superior	Relação entre o número total de segmentos de uma ordem e o número total de segmentos de ordem imediatamente superior.	Horton (1945)
Densidade hidrográfica	$Dh = N / A$	Dh = densidade hidrográfica; N = número de canais de 1º ordem ou nascentes; A = área da bacia	Relação existente entre o número de canais com a área da bacia, representando o comportamento hidrológico.	Christofoletti (1980)

Extensão do escoamento superficial	$Eps = 1 / 2 * Dd$	Eps = extensão do percurso superficial; Dd = densidade de drenagem	Representa a distância média em que a água da chuva escoaria em linha reta sobre o terreno da bacia desde o ponto em que a chuva cai até o leito do curso d'água.	Christofolletti (1980)
Sinuosidade	$Sin = L / Ev$	Sin = sinuosidade do curso d'água; L = comprimento do rio principal; Ev = distância vetorial do rio principal	Relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de seu talvegue, sendo um fator controlador da velocidade do escoamento do curso d'água.	Villela e Mattos (1975)
Gradiente de canais	$Gc = A_{max} / L (\%)$	Gc = gradiente de drenagem (%); H max = altitude máxima; L = comprimento do rio principal	Relação entre a altitude máxima entre o ponto de origem e o término do respectivo canal fluvial, indicando a declividade dos cursos d'água.	Back (2014)
Amplitude altimétrica	$\Delta H = H_{max} - H_{min}$	ΔH = amplitude altimétrica (m); Hmax = maior altitude; Hmin = menor altitude	Corresponde à diferença entre a altitude mínima e máxima.	Back (2014)
Razão de relevo	$Rr = \Delta H / L$	Rr = razão de relevo; ΔH = amplitude altimétrica; L = comprimento rio principal	Relaciona a amplitude altimétrica e a comprimento do curso d'água, sendo um indicador da intensidade de erosão que ocorre nas vertentes.	Schumm (1956)
Índice de rugosidade	$Ir = \Delta H * Dd$	Ir = índice de rugosidade; H = amplitude altimétrica; Dd = densidade de drenagem	Combinação das variáveis de altimetria e densidade de drenagem, representando o nível de dissecação do relevo.	Melton (1957)

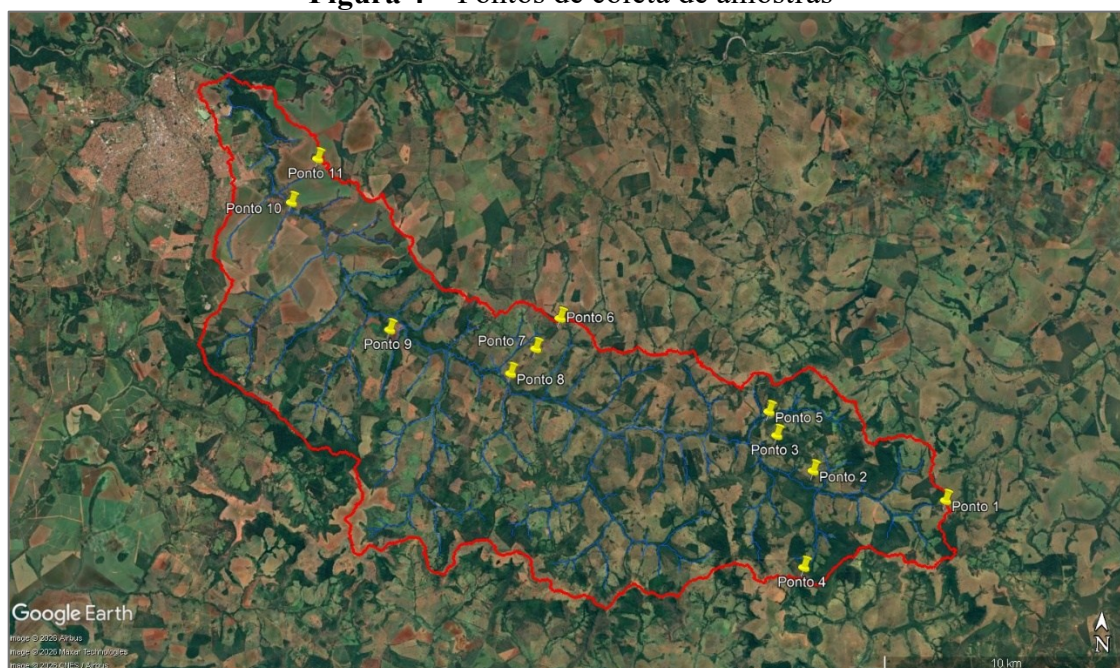
Organizado pela autora (2025)

2.4 Trabalhos de campo

Conforme Lacoste (1985), o trabalho de campo possui grande importância para a Geografia, porém não deve ser compreendido como uma etapa isolada do processo investigativo. Para que não se reduza a um exercício meramente empírico, é necessário que esteja articulado a uma sólida formação teórica, capaz de integrar as observações locais aos fenômenos que ocorrem em escalas mais amplas. Nesse sentido, o trabalho de campo configura-se como uma etapa fundamental da pesquisa, permitindo ao pesquisador identificar, reconhecer, mapear e coletar dados e informações essenciais para o desenvolvimento do estudo.

Dessa forma, para a elaboração dessa pesquisa foram realizados três trabalhos de campo, voltados à identificação e reconhecimento da área de pesquisa, bem como à coleta de dados e amostras de solo.

A etapa inicial para a realização dos trabalhos de campo consistiu no planejamento do cronograma e na definição dos locais de observação e coleta de amostras. Para tanto, realizou-se um pré-reconhecimento da área de estudo por meio do software Google Earth Pro, em conjunto com dados de declividade, hipsometria, geologia, solos, uso e cobertura da terra e principais vias de acesso da bacia. Com base nessa análise preliminar, foi elaborado um roteiro que definiu as áreas prioritárias para coleta das amostras de solo (Figura 4).

Figura 4 – Pontos de coleta de amostras

Fonte: Google Earth Pró (2025). Elaborado pela autora (2025)

O trabalho de campo voltado à identificação e reconhecimento da área foi realizado em 09/03/2025, tendo como principal objetivo observar e analisar os aspectos naturais e antrópicos presentes na área de estudo. Além disso, foram realizados registros fotográficos de elementos representativos do relevo local, com a finalidade de subsidiar e complementar as análises desenvolvidas neste estudo.

Em seguida, foi realizado o segundo trabalho de campo, destinado à coleta de dados e amostras de solo, no dia 19 de agosto de 2025, ocasião em que foram visitados os pontos 8, 9 e 10. Posteriormente, ocorreu o terceiro trabalho de campo, também voltado à coleta de informações e amostras, no dia 6 de setembro de 2025, abrangendo os pontos 4, 5, 6 e 7. Essas etapas tiveram como principal objetivo coletar amostras de solo e realizar a caracterização de aspectos como solo, litologia, cobertura vegetal e intervenções antrópicas, além de identificar e registrar áreas sujeitas a impactos ambientais, tais como processos erosivos e assoreamentos.

Os pontos 1, 2 e 3 correspondem a amostras de solo provenientes de um trabalho de campo realizado em 29 de novembro de 2021, pelo Laboratório de Ensino e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Geografia Física (PEDOGEO), da Universidade Federal de Uberlândia³⁴. Assim como o ponto 13, que por sua vez, refere-se a uma coleta efetuada em 2013. Esses pontos foram escolhidos para serem utilizados na pesquisa como áreas

³⁴ Ressalta-se que participei do trabalho de campo, bem como das análises granulométricas.

complementares, contribuindo para a elaboração do esboço das classes de solo presentes na bacia e para a determinação do Fator K da EUPS.

É importante destacar que a coleta de amostras de solo, bem como a utilização de pontos previamente identificados e disponibilizados pelo Laboratório de Ensino e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Geografia Física (PEDOGEO), foi planejada considerando a ausência de um mapa de solos detalhado, capaz de representar com precisão os diferentes tipos de solo da bacia. Dessa forma, tornou-se necessária a realização de trabalhos de campo, que permitiram a identificação de novas manchas de solo além daquelas apresentadas no mapa de solos de Minas Gerais na escala 1:650.000 e pela base de dados do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:250.000.

Os trabalhos de campo foram organizados a partir da definição de três transectos representativos do alto, médio e baixo curso da bacia, com o objetivo de caracterizar os solos associados aos compartimentos de topo, vertente e fundo de vale. No entanto, à medida que as atividades de campo avançaram, optou-se por expandir alguns pontos de coleta, incluindo locais adicionais onde alterações na paisagem indicavam possíveis mudanças nos tipos de solo, permitindo assim uma análise mais detalhada e representativa dos solos da bacia.

Dessa forma, nos pontos em que foi possível a abertura de perfis de solo, estes foram escavados até uma profundidade mínima de 140 cm³⁵, permitindo a observação e caracterização completa dos horizontes do solo. Em áreas onde a abertura de perfis não foi viável, foram coletadas amostras utilizando trado holandês, em profundidades de 10 a 20 cm, devido a condições restritas do solo nos trabalhos de campo, que não permitiram a coleta de amostras mais profundas com o trado (Figura 5). Soma-se a isso o fato de a EUPS estimar apenas as taxas de perda de solo decorrentes da erosão laminar, de modo que a aplicação do modelo não requer, necessariamente, a coleta de amostras de horizontes ou camadas mais profundas.

³⁵ A adoção dessa profundidade mínima deveu-se à inviabilidade de abertura de perfis mais profundos em determinados locais de coleta.

Figura 5 – Coleta de amostras de solo: (A) Coleta de amostras em perfil de solo; (B) Coleta de amostras por trado



Fonte: Marcondes (2025); Alves (2025).

Os materiais utilizados durante os trabalhos de campo incluíram: trado holandês, enxadão, martelo pedológico, pá, sacos plásticos, canivete, caneta permanente, trena de 50 metros e um GPS de navegação Garmin, utilizado para registrar os pontos de coleta. Além disso, foi feita a utilização de caderneta de campo para o registro detalhado das informações gerais observadas durante as atividades de campo, como aspectos do solo, litologia, cobertura vegetal, intervenções antrópicas e processos erosivos aparentes, que ajudaram na caracterização da bacia.

2.5 Análise morfológica e granulométrica

Após a coleta das amostras em campo, realizou-se a descrição geral das áreas de coleta e a análise morfológica do solo *in situ*, seguindo as orientações do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos *et al.*, 2015). Essa etapa é essencial para o reconhecimento das características visuais e estruturais do solo em suas condições naturais.

Segundo Santos *et al.* (2015), a descrição morfológica constitui um registro sistemático das propriedades observáveis do solo, contemplando a identificação dos horizontes e a caracterização de aspectos como espessura, cor, textura, estrutura, consistência, transição entre horizontes e outros atributos diagnósticos.

Com a finalização da descrição morfológica em campo, as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Geografia

Física (PEDOGEO) para a realização da análise granulométrica³⁶. O procedimento seguiu as orientações do Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira *et al.*, 2017), com adaptações metodológicas empregadas pelo Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da UNESP/Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente/SP³⁷.

A análise granulométrica tem como objetivo quantificar a distribuição das partículas que compõem o solo (areia, silte e argila) permitindo, assim, determinar sua classe textural³⁸. Essa informação é fundamental tanto para a diferenciação e classificação dos tipos de solo, quanto para aplicações práticas, como estudos ambientais, avaliação da suscetibilidade à erosão e definição de estratégias adequadas de manejo e conservação do solo (Santos *et al.*, 2025).

A etapa inicial da análise granulométrica (Figura 6) consiste na secagem das amostras de solo ao ar livre, processo que se estende por aproximadamente uma semana, garantindo a eliminação da umidade. Após essa etapa, as amostras são destorroadas utilizando um almofariz e pistilo, até atingir uma textura homogênea, sem aglomerados aparentes. Em seguida, o material passa por uma peneira de malha de 2,00 mm de abertura, com o objetivo de remover fragmentos grosseiros e materiais de maior espessura, de modo que apenas as frações correspondentes a areia, silte e argila sejam utilizadas.

Figura 6 – Etapas análise granulométrica: (A) Destorroamento; (B) Separação das vidrarias; (C) Pesagem das amostras; (D) Agitação das amostras; (E) Separação da areia; (F) Provetas com amostras de silte e argila; (G) Amostras de areia e argila secas



Fonte: Alves (2025)

³⁶ Ressalta-se que foi realizada apenas a análise granulométrica considerando a estrutura disponível no laboratório e os requisitos da metodologia de erodibilidade de solos adotada, para a qual são necessários apenas os valores das frações de areia, silte e argila. Dessa forma, não foram realizadas análises complementares.

³⁷ A adaptação metodológica foi necessária devido à indisponibilidade, no laboratório onde foram realizadas as análises, dos equipamentos especificados no Manual de Métodos de Análise de Solo, mantendo-se, contudo, os princípios e procedimentos fundamentais do método adotado.

³⁸ Ressalta-se que os cascalhos (fragmentos grosseiros, >2 mm) não foram considerados nas análises, uma vez que não são diretamente incorporados na estimativa da perda de solo.

Para cada análise³⁹, foram pesados 10 g de solo seco, destorroado e peneirado, que foram transferidos para um erlenmeyer. Em seguida, adicionaram-se 20 ml de água deionizada, medidos com uma pipeta graduada de 25 ml, e 10 ml de solução de hidróxido de sódio (NaOH), dosados com pipeta volumétrica de 10 ml. Os erlenmeyers foram então submetidos à agitação mecânica em mesa agitadora por 16 horas a 150 rpm, visando promover a completa desagregação das partículas que compõem o solo.

Após as 16 horas de agitação, a solução de solo foi filtrada utilizando uma peneira com abertura de 0,053 mm e transferida para uma proveta de 1000 ml com o auxílio de um funil. Cada amostra foi lavada com água deionizada até completar o volume de 1000 mL, de modo que as frações de areia ficassem retidas na peneira, enquanto silte e argila passavam para a proveta. A areia retida foi transferida para placas de Petri previamente secas e pesadas. Em seguida, as placas contendo areia lavada foram levadas à estufa por 24 horas a 105°C.

Para a determinação das frações de silte e argila, utilizou-se o método da pipeta, que consiste na pipetagem de alíquotas da suspensão de argila. As provetas contendo as frações de silte e argila foram inicialmente colocadas em um tanque para garantir uniformidade térmica. Após atingir a homogeneidade, foi registrada a temperatura das provetas, seguida da agitação da mistura com um bastão por 30 segundos, com intervalos de 1 minuto entre cada amostra⁴⁰. A partir do início da agitação, iniciou-se a contagem do tempo de sedimentação do silte, como observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de sedimentação para fração silte

Temperatura	Tempo de sedimentação a 5 cm	
°C	H	min
15	4	23
16	4	16
17	4	10
18	4	4
19	3	58
20	3	52
21	3	46
22	3	41
23	3	36
24	3	31
25	3	26
26	3	21
27	3	17
28	3	13
29	3	9
30	3	5

Fonte: EMBRAPA (2017)

³⁹ Foram realizadas três repetições para cada amostra de solo, a fim de permitir a comparação dos resultados e reduzir possíveis erros nos dados obtidos.

⁴⁰ Não foi realizado o teste de branco do dispersante, pois, a partir de análises preliminares realizadas no laboratório, foi estabelecido um valor padrão para essa alíquota, considerando a ausência de variações significativas entre os resultados obtidos.

Concluído o tempo de sedimentação, iniciou-se a pipetagem de 5 mL da suspensão de argila, realizada a 5 cm de profundidade em cada proveta. Assim como na etapa de agitação, o procedimento respeitou intervalos de 1 minuto entre cada amostra. A solução de argila coletada foi transferida para cadinhos previamente secos e pesados e levada à estufa por 24 horas a 105°C, visando a secagem completa para posterior determinação da massa da fração argilosa.

Após a secagem das amostras de areia e argila, procedeu-se à pesagem das frações com o objetivo de determinar a massa correspondente de cada componente. Em seguida, os resultados obtidos foram organizados em uma planilha *Excel*, na qual foram realizados os cálculos necessários para determinar as proporções de areia, silte e argila presentes em cada amostra de solo (Quadro 2).

Quadro 2: Equações para definição das porcentagens das frações de areia, silte e argila

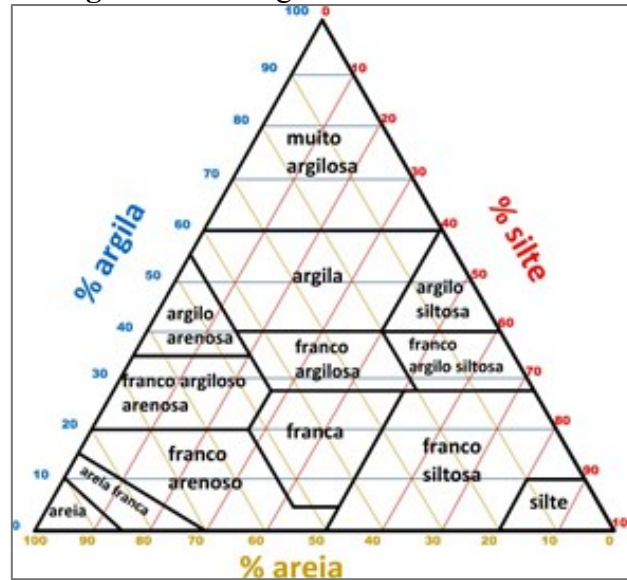
Fração do solo	Equação	Descrição
Areia	$M = P2 - P1$	M = Massa de areia total (g) P1 = Peso inicial da placa de petri (g) P2 = Peso final da placa de petri (g) (amostra de areia seca)
	$M\% = M \times 100/A$	M% = Porcentagem de areia total M = Massa de areia total (g) A = Peso da amostra de solo inicial (g) (neste caso 10g)
Argila	$R = (P2 - P1 - D) \times (1000/5)$	R = Massa de argila (g) P1 = Peso inicial do cadinho (g) P2 = Peso final do cadinho (g) (amostra de argila seca) D = Massa do dispersante (g) (neste caso foi adotado o valor de 0,002)
	$R\% = R \times 100/A$	R% Porcentagem de argila total R = Massa de argila (g) A = Peso da amostra de solo inicial (g) (neste caso 10g)
Silte	$S\% = 100 - (M\% + R\%)$	S% = Porcentagem de silte (g) M% = Porcentagem de areia total R% Porcentagem de argila total

Obs.: Para transformar os resultados de porcentagem para g/kg basta multiplicar os valores por 10.
Fonte: Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da UNESP, adaptado de Teixeira *et al.* (2017)

Além disso, a partir da fração de areia total obtida na análise granulométrica, realizou-se a separação entre areia fina e areia grossa por meio de peneiramento, utilizando uma peneira com abertura de 0,250 mm. A fração retida na peneira, correspondente à areia grossa, foi pesada em recipiente previamente tarado, aplicando-se os mesmos cálculos necessários para definir a areia total. Em seguida, o peso da areia fina foi determinado por diferença, subtraindo-se a massa da areia grossa do valor total de areia.

Com os resultados obtidos na análise granulométrica, os valores percentuais de areia, silte e argila foram inseridos no diagrama de classes texturais (Figura 7), elaborado pelo *United States Department of Agriculture* (U.S.D.A.).

Figura 7 – Triângulo de classes texturais



Fonte: IFSC (2025)

Dessa forma, o triângulo textural foi utilizado para determinar as classes de textura de cada amostra de solo. A definição da textura é um parâmetro importante, pois esse atributo influencia diretamente na capacidade de retenção de umidade e nutrientes, além de condicionar processos de perda desses nutrientes por lixiviação, afetando de maneira significativa o comportamento físico e químico do solo.

2.6 Elaboração dos mapas temáticos

Um mapa é uma representação gráfica da superfície terrestre em determinada escala, que reúne informações sobre aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma localidade. Seu principal objetivo é fornecer uma variedade de informações, tanto estáticas quanto dinâmicas (Oliveira, 2011).

Diante disso, os mapas temáticos representam aspectos e temas específicos (como dados políticos, físicos, populacionais, ambientais ou econômicos), tendo como base cartas cartográficas já existentes. A elaboração desse tipo de mapa envolve o uso de simbologias cartográficas, que permitem representar e interpretar a distribuição espacial dos fenômenos sobre a superfície terrestre (Fitz, 2008).

Neste sentido, a partir de bases cartográficas preexistentes foram elaborados os mapas temáticos de localização da área de estudo, hierarquia fluvial, declividade, hipsometria, litologia, relevo, uso e cobertura da terra, classes de solos e feições erosivas.

O mapa de localização da área de estudo e de hierarquia fluvial foram elaborados a partir da delimitação da bacia e da extração da rede de drenagem, conforme descrito no item 2.3. A partir da metodologia de hierarquização proposta por Strahler (1957), foram identificadas e espacializadas cinco ordens de cursos d'água, permitindo uma melhor compreensão da organização e da estrutura da rede de drenagem da bacia.

Para a espacialização da hipsometria e da declividade, utilizou-se como base cartográfica o MDE *Alos Palsar*. O mapa hipsométrico foi elaborado a partir do recorte do MDE conforme os limites da bacia, possibilitando a identificação das altitudes mínimas e máximas. A renderização da banda foi realizada em “falsa-cor simples”, com classificação discreta e intervalos iguais, definindo-se assim as classes altimétricas com amplitude de 50 metros.

O mapa de declividade foi gerado por meio da ferramenta *decliv*, que calcula automaticamente os valores de declividade expressos em porcentagem. Em seguida, foi feita a reclassificação das declividades com base nas categorias propostas pela Embrapa (1979): 0–3% (plano), 3–8% (suave ondulado), 8–20% (ondulado), 20–45% (forte ondulado) e 45–75% (montanhoso).

Para a elaboração do mapa litológico, foram utilizados dados fornecidos pela CODEMIG, na escala de 1:100.000. Após o download da base de dados, realizou-se o recorte de acordo com o limite da bacia, possibilitando a identificação e a espacialização das unidades litoestratigráficas que compõem a área de estudo.

O mapeamento geomorfológico foi realizado com base na metodologia proposta por Fushimi (2016), Venceslau (2020) e Paranaíba (2023), fundamentada nos procedimentos utilizados nos trabalhos de Tricart (1965), correspondentes à 6ª unidade taxonômica 10^{-2} , e de Ross (1992), referentes ao 5º táxon (Fushimi, 2016). A aplicação dessa abordagem, na escala de 1:25.000, possibilitou a identificação e a compartimentação dos elementos das formas de relevo.

Para isso, foram utilizadas imagens de satélite do CBERS 4A, com resolução espacial de 8 metros, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além de imagens do Google Earth Pro, posteriormente convertidas em anáglifos. Esses dados subsidiaram a fotointerpretação tridimensional do relevo, apoiando o mapeamento geomorfológico, com auxílio dos *softwares* QGIS e Google Earth Pro.

Inicialmente, foram obtidos pares de imagens da área de estudo por meio do software Google Earth Pro, configurado para capturar duas imagens de uma mesma área sob ângulos de visão ligeiramente diferentes (direita e esquerda), mantendo constante a altitude do ponto de visão. As imagens foram deslocadas levemente para a direita e para a esquerda, formando pares estereoscópicos.

Com o objetivo de aprimorar a qualidade e o detalhamento do mapa geomorfológico, a bacia foi dividida em três setores (alto, médio e baixo curso), posteriormente integrados em um mosaico que abrangeu toda a área de estudo. Em seguida, utilizou-se o programa *Stereo Photo Maker* para a geração dos anáglifos, processando as imagens (direita e esquerda) de modo que ficassem corretamente sobrepostas, e atribuídas as cores vermelha e azul, o que possibilitou a visualização tridimensional (3D) do relevo.

Na etapa seguinte, os anáglifos foram georreferenciados no *software* QGIS, tomando como base a imagem proveniente do satélite CBERS-4A. Com o auxílio de óculos 3D (lentes vermelha e azul), foi possível observar o relevo em três dimensões, permitindo uma interpretação mais precisa das formas de relevo e, conseqüentemente, a delimitação dos elementos que compõe essas forma.

O mapeamento foi conduzido de forma sistemática: primeiramente, procedeu-se à delimitação da rede de drenagem, seguida da definição dos divisores de água, que serviram de base para a identificação dos domínios de topos, relevos residuais e vertentes. Por fim, foram identificadas as planícies aluviais e alvéolos, além da delimitação das cabeceiras de drenagem em anfiteatro, bem como as vertentes côncavas, convexas e retilíneas, e os fundos de vale com formatos em U e em V, compondo o mapeamento geomorfológico da bacia.

O mapa das classes de solos simplificado para a bacia foi elaborado a partir do mapeamento geomorfológico, conforme metodologia adotada por Fushimi (2016) e Costa (2024), com a escala de 1:25.000⁴¹. Foram associados ao trabalhos de campo realizados na área de estudo, correlacionando com as informações do Mapa de solos de Minas Gerais na escala 1:650.000, base pedológica disponibilizada pelo IBGE na escala de 1:250.000 e levantamento pedológico do município de Ituiutaba/MG realizado por Calderano Filho *et al.* (1999), na escala de 1:100.000.

Dessa forma, os resultados das análises morfológicas e granulométricas das amostras de solo coletadas, permitiram estabelecer correlações entre os diferentes tipos de solos presentes

⁴¹ O mapeamento das classes de solo foi realizado devido às limitações dos produtos cartográficos existentes, cuja escala de representação se mostra incompatível com o nível de detalhamento necessário para a adequada espacialização dos solos na bacia hidrográfica.

na área de estudo e as formas de relevo, considerando também as características litológicas, as variações de declividade e os mapeamentos de solos preexistentes.

Diante disso, adotou-se a adaptação das classes de solos proposta por Trentin (2011) e Fushimi (2016), cujas associações foram estabelecidas com base nos atributos das classes do 1º e 2º nível categórico (ordens) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2025), relacionadas às respectivas formas de relevo e mapas de solos preexistentes, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Adaptação das classes de solos propostas por Trentin (2011) e suas associações de acordo com as formas de relevo da área de estudo

Classes de solo propostas por Trentin (2011)	Classes de solos adaptadas para a área de estudo	Elementos das formas de relevo correspondente
Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas	Solos desenvolvidos – associação a Latossolos Vermelhos	Domínio de topos suave ondulados
Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas	Solos pouco desenvolvidos a desenvolvidos – associação a Latossolos e Nitossolos Vermelhos	Domínio das vertentes
Solos rasos de altitudes elevadas	Solos rasos a pouco desenvolvidos – associação a Neossolos Litólitos e Cambissolos Háplicos	Domínio dos relevos residuais
Solos hidromórficos	Solos hidromórficos – associação a Gleissolos Háplicos	Planícies aluviais e alvéolos

Fonte: Adaptado de Trentin (2011) e Fushimi (2016).

A espacialização do uso e cobertura da terra foi realizada a partir da base de dados do MapBiomass, considerando as informações referentes ao ano de 2024. O procedimento metodológico incluiu o recorte da área correspondente à bacia hidrográfica, a identificação e categorização das classes de uso e cobertura da terra, bem como o cálculo das respectivas áreas ocupadas por cada classe na área de estudo.

Ressalta-se que foi realizada uma adequação da classe denominada “mosaico de usos”, em função de divergências observadas entre a classificação original do MapBiomass e as imagens de satélite. Para essa verificação, foram utilizadas imagens de satélite do CBERS 4A, com resolução espacial de 8 metros, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além de imagens disponíveis no Google Earth Pro.

Dessa forma, as áreas inicialmente classificadas como mosaico de usos foram reavaliadas e redistribuídas conforme sua ocupação predominante. Assim, as áreas identificadas como destinadas à agricultura (como cultivos de cana-de-açúcar, soja e outras lavouras temporárias) foram reclassificadas em suas respectivas categorias, enquanto as áreas reconhecidas como pastagens também foram devidamente ajustadas. Adicionalmente, as classes de formação florestal e formação savânica foram agrupadas em uma única categoria

denominada vegetação nativa, com o objetivo de simplificar a representação das formações naturais presentes na bacia.

Para o mapeamento das feições erosivas lineares, foram utilizadas imagens provenientes do Google Earth Pro e do satélite do CBERS 4A, com resolução de 2 metros, seguindo a metodologia adotada por Carvalho e Castro (2023). Para essa etapa, foi adotada a escala de 1:8.000, considerada adequada para o nível de detalhamento necessário à identificação dessas feições erosivas na área de estudo. As imagens foram analisadas e manipuladas no *software* QGIS, no qual foi criada uma camada vetorial do tipo shapefile, destinada ao registro dos pontos correspondentes às feições erosivas mapeadas.

O mapeamento foi realizado a partir da interpretação visual para o reconhecimento dos focos erosivos utilizando-se parâmetros como: tons, formas/padrão e aspectos associados. Sendo assim, no Quadro 4, apresenta-se a chave de interpretação utilizada para a identificação das erosões, adaptado de Carvalho e Castro (2023).

Quadro 4 – Chave de interpretação para identificação de feições erosivas lineares

Classes de identificação	Tonalidade	Forma	Aspectos associados	Exemplo
Voçoroca	Clara a avermelhada (semelhante a solo exposto) / tonalidade escura quando atinge lençol freático.	Alongada (extensa), por vezes ramificada	Próximo ou conectado à canal de drenagem/ Área de uso para agricultura ou pastagem.	
Ravina	Tonalidade clara a avermelhada (semelhante a solo exposto).	Linear	Estrada/ Canal de drenagem/ Trilheiros em áreas de pastagem	

Fonte: Adaptado de Carvalho e Castro (2023); Google Earth Pró (2025)

Destaca-se que os sulcos erosivos não foram considerados no mapeamento, em função da escala adotada, uma vez que essas feições são geralmente numerosas, rasas e de pequena largura, o que dificulta sua identificação e representação cartográfica no nível de detalhamento utilizado.

2.7 Determinação dos fatores da EUPS

Para quantificar a perda anual de solo por erosão laminar, é necessário conhecer as variáveis que influenciam esse processo. No caso da EUPS, os fatores que a compõem devem ser calculados individualmente, uma vez que todos os valores são essenciais para a aplicação do modelo preditivo.

A seguir, são descritos os procedimentos utilizados para a determinação dos fatores da EUPS.

2.7.1 Determinação da erosividade da chuva (Fator R)

O primeiro passo para a estimativa e espacialização do Fator R consistiu no levantamento dos dados pluviométricos. Para isso, foi utilizada a Plataforma HidroWeb, integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa ferramenta disponibiliza dados oficiais de precipitação, organizados em um banco de informações com totais diários, mensais e anuais de chuva.

Sendo assim, foram utilizados dados pluviométricos provenientes de sete estações pluviométricas (Anexos de A a G), distribuídas conforme suas séries históricas: uma estação com 24 anos de dados (1995–2019), quatro estações com 30 anos de registros (1993–2023) e duas estações com 27 anos (1996–2023). A Tabela 2 apresenta as informações detalhadas referentes a essas estações pluviométricas.

Tabela 2 – Dados de localização e período de coleta das estações pluviométricas

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Período
1849000	Ituiutaba	Ituiutaba	18°56'27.94"S	49°27'47.16"O	563m	1995-2019
1849006	Avantiguara	Canápolis	18°46'18.82"S	49° 4'10.93"O	S/I	1993-2023
1849026	Faz. Boa Vista	Gurinhata	18°53'12.81"S	50° 0'1.08"O	450m	1996-2023
1948014	Faz. Nossa Senhora Aparecida	Prata	19° 2'21.82"S	49° 2'33.01"O	S/I	1996-2023
1949002	Faz. Buriti do Prata	Prata	19°21'34.92"S	49°10'49.08"O	517m	1993-2023
1949003	Gurinhata	Gurinhata	19°12'47.86"S	49°47'17.15"O	533m	1993-2023
1949004	Campina Verde	Campina Verde	19°32'31.90"S	49°28'59.15"O	525m	1993-2023

Fonte: ANA (2025). Organizado pela autora (2025).

Como na área de estudo não foram identificadas estações pluviométricas instaladas, optou-se por utilizar dados de estações situadas nas proximidades, com distância de no máximo 50 quilômetros da bacia (Figura 8). Embora tenham sido identificadas cerca de 23 estações no entorno da área de estudo, muitas apresentavam séries históricas incompletas ou ausência de

dados, fator que dificultou o levantamento, a seleção e a organização das informações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

Figura 8 – Localização das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo de erosividade das chuvas da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ANA (2025); Google Earth Pro (2025). Elaborado pela autora (2025).

Os dados das sete estações pluviométricas selecionadas foram organizados por meio do *software Excel*. A partir da organização dos dados de precipitação, foi determinado o índice de erosividade anual das chuvas (Fator R). Para tanto, inicialmente foram determinados os índices de erosividade mensal (EI) de cada estação pluviométrica, utilizando a metodologia proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980, *apud* Bertoni; Lombardi Neto, 2017). Diante disso, o índice de erosividade mensal da chuva foi obtido por meio da Equação 3:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

EI = índice de erosividade mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$);

r = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

A partir dos índices mensais de erosividade (EI), foi calculada a erosividade anual das chuvas (Fator R), por meio da soma das médias mensais obtidas para cada estação pluviométrica, com base na série histórica considerada. A Equação 4, representa a soma dos valores médios mensais de erosividade utilizada para determinar o Fator R.

$$R = \sum EI \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

R = erosividade anual (MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹. ano⁻¹);

EI = índice de erosividade média mensal (MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹. mês⁻¹).

Em seguida, os valores estimados foram inseridos no *software* QGIS, de modo que cada estação pluviométrica foi representada por um ponto associado ao valor da erosividade média. Posteriormente, realizou-se a interpolação desses dados utilizando o método IDW (*Inverse Distance Weighted*, ou Ponderação pelo Inverso da Distância), permitindo a espacialização da erosividade das chuvas na bacia.

A interpolação pelo método IDW estima os valores a partir de uma combinação linear baseada na média ponderada dos pontos amostrados, na qual o peso atribuído a cada ponto é inversamente proporcional à sua distância em relação ao ponto de interesse (Marcuzzo; Andrade; Melo, 2011). Dessa forma, possibilita a estimativa de valores em áreas não amostradas com base na influência dos pontos mais próximos, resultando na geração de uma superfície contínua de distribuição do Fator R.

Para a análise dos resultados de erosividade anual das chuvas, adotou-se a classificação proposta por Carvalho (1994), conforme apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação da erosividade das chuvas

Classificação	Erosividade anual (MJ.mm/ha ⁻¹ .h ⁻¹ . ano ⁻¹)
< 2452	Baixa
2452 - 4905	Média
4095 a 7357	Média a forte
7357 a 9810	Forte
>9810	Muito forte

Fonte: Carvalho (1994)

Por fim, o arquivo *raster* de erosividade foi utilizado na elaboração do mapa de perda de solo anual.

2.7.2 Determinação da erodibilidade dos solos (Fator K)

A erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço foi determinada por meio de método indireto⁴², considerando a granulometria do solo, aplicando a expressão proposta por Bouyoucos (1935), conforme descrita por Bertoni e Lombardi Neto (2017) e Mannigel *et al.* (2002). Esse método baseia-se em uma equação matemática simples, que considera a resistência das frações de areia, silte e argila à ação erosiva (Equação 5).

$$K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ Silte}) / (\% \text{ argila}) / 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

K= erodibilidade do solo de cada horizonte superficial (t.ha.h/ha.MJ.mm⁻¹.ha⁻¹)

% areia, % silte e % argila = porcentagem das respectivas frações de cada horizonte superficial.

Para a determinação dos valores das frações granulométricas utilizadas na estimativa do Fator K, foram realizadas coletas de amostras de solo na área de estudo, seguidas de análises granulométricas laboratoriais, além da utilização de dados do banco de informações do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Geografia Física (PEDOGEO), da Universidade Federal de Uberlândia, conforme descrito nos itens 2.4 e 2.5. A granulometria considerada na aplicação do Fator K refere-se aos horizontes superficiais⁴³ dos solos, visto que a EUPS estima apenas a perda de solo por erosão laminar.

Nesse sentido, foi calculada a média das frações de areia, silte e argila dos horizontes superficiais de cada amostra coletada. Em seguida, procedeu-se ao cálculo do Fator K para cada uma dessas amostras (Apêndice A). Com os valores obtidos, foi então realizada uma nova média, de modo a compor as classes de solos correspondentes.

Em seguida, para facilitar a interpretação dos dados, adotou-se a classificação dos valores de erodibilidade dos solos proposta por Mannigel *et al.* (2002), conforme apresentada na Tabela 4.

⁴² Meios mais simplificados que são constituídos de equações matemáticas que levam em consideração atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo (Mannigel *et al.*, 2002).

⁴³ Horizontes A e tradagens de até 20cm de profundidade.

Tabela 4 – Classificação da erodibilidade dos solos

Classificação	Fator K (t.ha.h/ha.MJ.mm⁻¹.ha⁻¹)
Extremamente alta	> 0,0600
Muito alta	0,0450 – 0,0600
Alta	0,0300 – 0,0450
Média	0,0150 – 0,0300
Baixa	0,0090 – 0,0150
Muito baixa	< 0,0090

Fonte: Mannigel *et al.* (2002)

Por fim, foi elaborado o mapa de erodibilidade do solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, tendo como base o mapa de classes de solos simplificadas previamente gerado, como descrito no item 2.6. Nessa etapa, foram atribuídos valores de erodibilidade às diferentes classes de solos abrangendo solos rasos a pouco desenvolvidos, solos desenvolvidos e solos hidromórficos, por meio da tabela de atributos do *shapefile*, associando cada classe ao respectivo índice de suscetibilidade à erosão.

Após a atribuição dos valores, o arquivo vetorial da classe de solos, já contendo o Fator K, foi convertido para o formato *raster* no ambiente do QGIS. Essa conversão foi necessária para viabilizar a integração do Fator K com os demais fatores da EUPS.

2.7.3 Determinação do comprimento de rampa e grau de declividade (Fator LS)

Existem diversas metodologias para o cálculo do Fator LS, que variam desde determinações em parcelas experimentais realizadas em campo até estimativas obtidas por meio de softwares de geoprocessamento. Dentre os parâmetros que compõem esse fator, o comprimento de rampa é considerado o mais complexo de ser estimado, devido à dificuldade em representar adequadamente o comprimento das encostas.

Neste sentido, para a estimativa do Fator LS da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, foram utilizados os dados do MDE *Alos Palsar*, com resolução espacial de 12,5 metros, recortado no limite da bacia.

Inicialmente, para a determinação do Fator L (comprimento de rampa), foi realizado o processamento do MDE, que consistiu na correção de depressões espúrias ou falsas depressões, empregando o comando *r.fill.dir*, disponível na extensão GRASS do *software* QGIS. Em seguida, utilizou-se a função *Slope Length*, da extensão SAGA GIS, integrada ao QGIS, para a definição do comprimento de rampa. Por sua vez, o Fator S (declividade) foi determinado da mesma forma que o mapeamento de declividade, utilizando o comando *decliv*, onde os valores de declividade são calculados automaticamente a partir do MDE.

Posteriormente, foi aplicada a equação desenvolvida por Bertoni e Lombardi Neto (2017) (Equação 6), a qual permite gerar o Fator LS de forma integrada, por meio da ferramenta *Calculadora Raster*.

$$LS = 0,00984 C^{0,63} S^{1,18} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

LS = fator topográfico (adimensional)

C = comprimento da vertente (m)

S = declividade (%)

A integração entre os fatores L (comprimento de rampa) e S (declividade) permite representar a influência da topografia nas perdas de solo por erosão laminar, resultando na geração do mapa do fator topográfico (Fator LS) da EUPS.

Para a análise dos resultados do Fator LS, adotou-se uma classificação adaptada de Fornelos e Neves (2007), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação do fator topográfico

Classificação	Fator LS (adimensional)
Muito baixo	0-2
Baixo	2-4
Moderado	4-6
Moderadamente forte	6-8
Forte	8-10
Muito forte	>10

Fonte: Adaptado de Fornelos e Neves (2007)

2.7.4 Determinação do uso e manejo de práticas conservacionistas do solo (Fator CP)

O Fator C (adimensional) pode ser analisado separadamente do Fator P quando o objetivo é identificar formas de uso e manejo mais adequadas para reduzir os impactos decorrentes das atividades agrícolas (Stein *et al.*, 1987). No entanto, quando o foco da análise está na quantificação da perda de solo por erosão, os Fatores C e P são geralmente considerados de forma integrada, pois ambos interagem diretamente na determinação da suscetibilidade do solo à erosão. Dessa forma, o Fator CP atua como um indicador combinado, variando de 0 a 1, cuja influência sobre as perdas de solo varia conforme o tipo de uso da terra e as práticas de manejo adotadas.

Para determinar os valores do Fator CP para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lorenzo foi necessário correlacionar com as classes de uso e cobertura do solo identificadas no

mapeamento, que foi realizado conforme os procedimentos metodológicos descritos no item 2.6.

Inicialmente os valores de C e P foram determinados separadamente, sendo utilizados valores compilados de trabalhos propostos por Stein *et al.* (1987), Bertoni e Lombardi Neto (2017), Tomazoni e Guimarães (2005), Costa *et al.* (2009) e Brabo (2020), como observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores do Fator C e P (separados) para os diferentes tipos de uso e cobertura do solo

Uso e cobertura	Fator C	Fator P
Vegetação natural	0,001	0,1
Reflorestamento	0,003	0,2
Solo exposto	1	1
Cana-de-açúcar	0,2	0,5
Soja	0,25	0,5
Outras lavouras temporárias	0,3	0,5
Campo alagado	0,01	0,1
Corpos d'água	0	0
Área urbana	0,01	1
Pastagem	0,1	0,4

Fonte: Modificado de Stein *et al.* (1987); Bertoni e Lombardi Neto (2017); Tomazoni e Guimarães (2005); Costa *et al.* (2009); Brabo (2020). Organizado pela autora (2025)

Com os valores dos fatores C e P definidos, o *raster* de uso e cobertura da terra foi convertido para o formato *shapefile*, possibilitando o acesso e edição da tabela de atributos. Nessa etapa, foram atribuídos os respectivos valores de C e P a cada classe de uso e, em seguida, realizado o produto entre ambos os fatores por meio da calculadora de campo da tabela de atributos, resultando em um único fator combinado (CP). A partir desse procedimento, foram obtidos os valores do Fator CP para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, conforme apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores do Fator CP atribuídos para bacia do Ribeirão São Lourenço.

Uso e cobertura	Fator CP
Vegetação natural	0,0001
Reflorestamento	0,0006
Solo exposto	1
Cana-de-açúcar	0,1
Soja	0,125
Outras lavouras temporárias	0,15
Campo alagado	0,001
Corpos d'água	0
Área urbana	0,01
Pastagem	0,04

Organizado pela autora (2025)

Por fim, o *shapefile* correspondente ao Fator CP foi convertido novamente para o formato *raster*, a fim de possibilitar o cálculo final da perda de solo anual.

2.7.5 Determinação da perda de solos

Após a determinação dos fatores que compõem a EUPS, procedeu-se o cálculo para estimar a perda de solo por erosão laminar (Equação 1) por meio da álgebra de mapas. Para isso, utilizou-se a ferramenta Calculadora *Raster* do software QGIS, que possibilitou a combinação dos mapas base referentes aos fatores R (erosividade da chuva), K (erodibilidade do solo), LS (comprimento e declividade de rampa) e CP (uso, manejo e práticas conservacionistas), por meio de uma operação de multiplicação célula a célula.

A álgebra de mapas consiste na aplicação de funções matemáticas a camadas espaciais, gerando novos dados derivados e configurando-se como uma extensão da álgebra tradicional aplicada a campos geográficos (Berry, 1993; Tomlin, 1990). Essa abordagem permite associar valores qualitativos ou quantitativos a cada célula ou unidade espacial, possibilitando a caracterização de diferentes situações em uma área de interesse a partir de grades regulares, imagens e mapas temáticos disponíveis em uma base de dados (Barbosa *et al.*, 1998).

Em seguida, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, foi utilizada uma adaptação da classificação dos valores de perda de solo proposta por Carvalho (1994), conforme apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação da perda de solo	
Classificação	Perda de solos (t.ha.ano)
Nula a pequena	0-10
Moderada	10-20
Média	20-50
Média a forte	50-100
Forte	100-200
Muito forte	>200

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994)

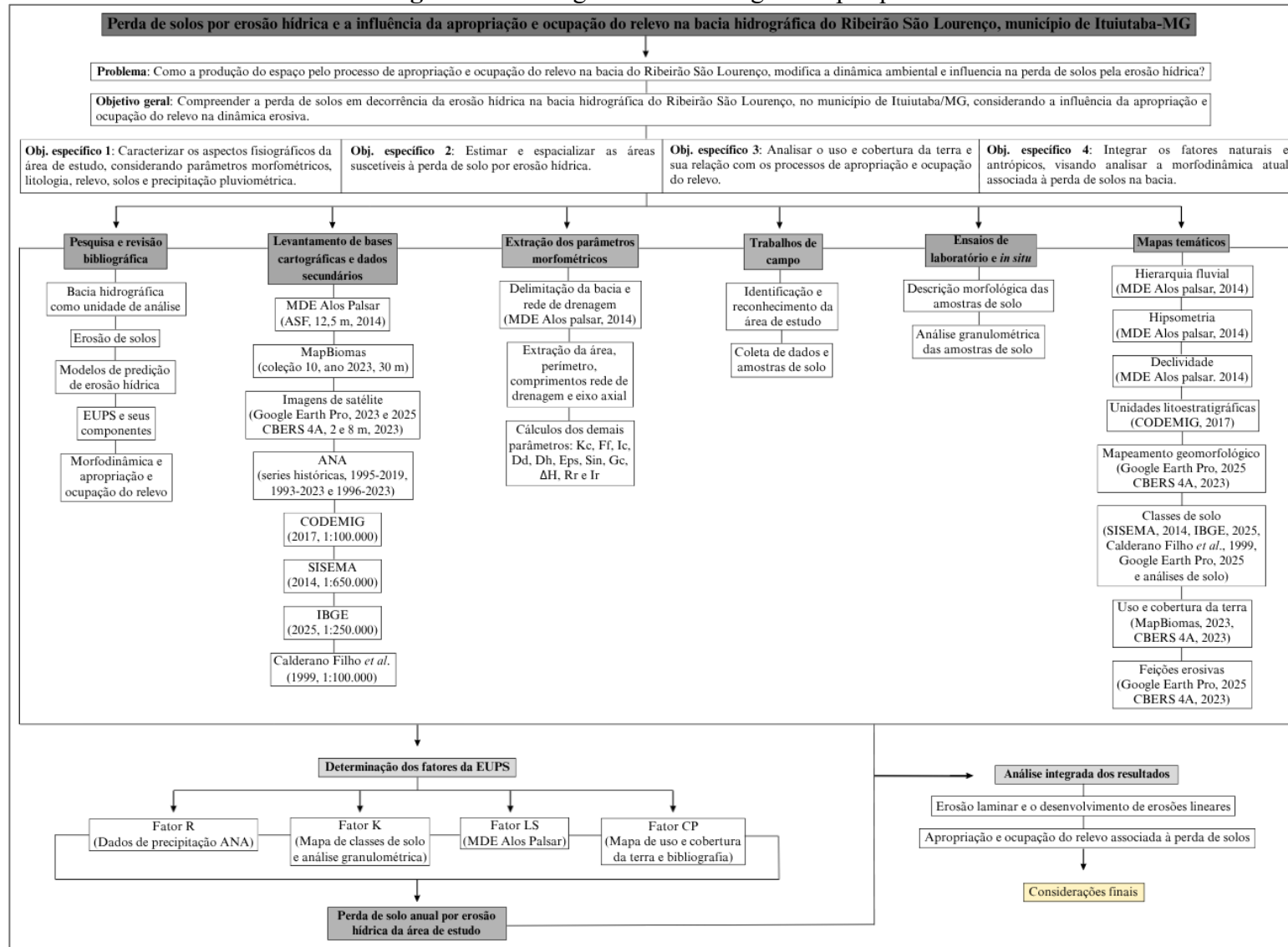
A partir dessas informações, elaborou-se o mapa de perda de solo para à bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.

A abordagem metodológica adotada combinou procedimentos quantitativos e qualitativos, permitindo uma análise mais consistente. Os resultados decorrentes dessa estratégia não apenas possibilitaram uma interpretação mais precisa da perda de solos e da apropriação e ocupação do relevo, como também forneceram subsídios relevantes para o desenvolvimento das discussões e resultados e para a construção das conclusões apresentadas nos próximos capítulos.

Para fins de transparência quanto ao uso de ferramentas de inteligência artificial generativa, informa-se que o ChatGPT (versão GPT-4, OpenAI) foi utilizado como recurso auxiliar na revisão linguística e no aprimoramento da clareza e da coesão textual desta dissertação, conforme declaração apresentada no Apêndice B.

A Figura 9 apresenta o roteiro metodológico da pesquisa, sintetizando as etapas descritas ao longo deste capítulo.

Figura 9 – Fluxograma metodológico da pesquisa



Elaborado pela autora (2026)

CAPÍTULO 3

**ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E O USO E
COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIBEIRÃO SÃO LOURENÇO, ITUIUTABA/MG**

O presente capítulo, referente aos aspectos fisiográficos e ao uso e cobertura da terra, apresenta os principais elementos naturais e antrópicos responsáveis por influenciar a dinâmica erosiva na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Inicialmente, são discutidos os parâmetros morfométricos da bacia, visando compreender as características relacionadas à rede de drenagem, ao relevo e à forma da bacia.

Na sequência, são analisados os aspectos litológicos, geomorfológicos e pedológicos da área de estudo, destacando a influência da natureza das rochas, das formas de relevo e das características dos solos na dinâmica da paisagem. Posteriormente, apresenta-se a análise da precipitação pluviométrica, considerando sua relevância na atuação dos processos hidrológicos e erosivos.

Por fim, discute-se o uso e cobertura da terra da bacia, buscando compreender as transformações promovidas pelas atividades antrópicas e sua relação com os processos de apropriação e ocupação do relevo, bem como suas implicações na intensificação da perda de solos.

3.1 Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço serão apresentados a partir da análise de diferentes atributos, organizados em três grupos: características geométricas, da rede de drenagem e do relevo. Esses parâmetros possibilitam compreender a dinâmica hidrológica e erosiva da bacia, além de fornecer informações fundamentais para o conhecimento das características físicas da área, subsidiando ações voltadas ao planejamento ambiental e urbano e à gestão dos recursos hídricos.

De acordo com os dados referentes às características geométricas (Tabela 9), a bacia apresenta área de drenagem de 294,11 km² e perímetro de 119,02 km, sendo classificada como uma bacia de médio porte (Alves, 2024). Além disso, possui eixo axial de 34,94 km, medido no sentido norte-sul, desde o exutório até a nascente mais a montante da bacia hidrográfica.

Tabela 9 – Características geométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Características geométricas	Resultados
Área	294,11 km ²
Perímetro	119,02 km
Comprimento eixo axial	34,94 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,94
Fator forma (F)	0,07
Índice de circularidade (Ic)	0,24

Organizado pela autora (2026)

Os valores do coeficiente de compacidade (1,94) e do fator de forma (0,07) indicam que a bacia do Ribeirão São Lourenço apresenta baixa tendência à ocorrência de grandes enchentes, em função de sua configuração alongada, que favorece o escoamento superficial mais distribuído ao longo do tempo. Em bacias com essa característica, a possibilidade de eventos pluviométricos intensos atingirem simultaneamente toda a sua extensão é reduzida. Ainda assim, tal condição não elimina a ocorrência de alagamentos pontuais, sobretudo em áreas com elevado grau de impermeabilização do relevo.

Esses resultados são corroborados pelo índice de circularidade (0,24). Conforme Schumm (1956 *apud* Schmitt; Moreira, 2015), valores inferiores a 0,51 indicam formas alongadas, nas quais a drenagem tende a ser mais eficiente, dificultando a concentração de água nas áreas de fundo de vale. Dessa forma, sob condições normais de precipitação e considerando uma topografia favorável ao escoamento, a bacia apresenta baixa suscetibilidade a enchentes e inundações de maior magnitude.

A Tabela 10 apresenta os parâmetros morfométricos relacionados as características da rede de drenagem da bacia. Esses dados permitem compreender a organização da drenagem, o padrão de escoamento superficial e a eficiência do sistema hídrico.

Tabela 10 – Características da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Características da rede de drenagem	Resultados
Padrão de drenagem	Dendrítico
Hierarquia fluvial	5º Ordem
Canais de 1º ordem (nascentes)	151 canais
Comprimento do curso d'água principal	44,91 km
Comprimento total dos cursos d'água	256,37 km
Densidade de drenagem (Dd)	0,87 km/km²
Densidade hidrográfica (Dh)	0,51 canais/km²
Relação de bifurcação (Rb) canais 1º e 2º ordem	4,19
Relação de bifurcação (Rb) canais 2º e 3º ordem	4,5
Relação de bifurcação (Rb) canais 3º e 4º ordem	4
Relação de bifurcação (Rb) canais 4º e 5º ordem	2
Extensão do escoamento superficial	0,435 km
Sinuosidade	1,29
Gradiente dos canais (Gc)	0,16 %

Organizado pela autora (2026)

O padrão de drenagem da bacia caracteriza-se como dendrítico, também conhecido como arborescente, em razão de sua semelhança com a ramificação de uma árvore. Conforme Christofolletti (1980), esse tipo de padrão se desenvolve, predominantemente, em áreas com relativa homogeneidade litológica ou sobre estruturas sedimentares dispostas horizontalmente, nas quais não há controle estrutural marcante sobre o escoamento.

No contexto da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, a presença de unidades litológicas como os arenitos associados a basaltos, favorece a organização desse padrão de drenagem, uma vez que, apesar das diferenças litológicas, não se observa um controle estrutural suficientemente expressivo que condicione a rede hidrográfica.

Além do condicionamento litológico, a configuração da drenagem resulta da atuação integrada dos processos erosivos de origem fluvial e pluvial, responsáveis pela dissecação do relevo e pela evolução dos canais, contribuindo, assim, para a organização do padrão de drenagem (Christofolletti, 1980).

O sistema de drenagem de uma bacia é composto pelo rio principal e seus afluentes, ou tributários, cuja hierarquia reflete o comportamento hidrológico da área. A análise desse sistema é fundamental, pois está relacionada à forma como a água é coletada e conduzida até a saída da bacia.

Nesse contexto, a bacia em estudo foi classificada como de 5ª ordem (Mapa 2), de acordo com os critérios de Strahler (1957), o que indica um sistema de drenagem relativamente bem desenvolvido e com grau intermediário de ramificação. Essa característica sugere uma rede capaz de integrar diferentes contribuições ao longo da bacia, influenciando o escoamento e a dinâmica hidrogeomorfológica.

Mapa 2 – Mapa de hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ASF (2014). Elaborado pela autora (2026)

Após a hierarquização dos cursos d'água, constatou-se que a bacia possui 151 canais de primeira ordem (correspondendo ao total de nascentes), 36 canais de segunda ordem, 8 canais de terceira ordem, 2 canais de quarta ordem e 1 canal de quinta ordem. A soma de todos os canais resultou em um comprimento total de 256,37 km.

Um dos parâmetros utilizados para compreender o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem é o índice de densidade de drenagem. Para a bacia do Ribeirão São Lourenço, o resultado obtido foi de 0,87 km/km², caracterizando uma drenagem pobre. Valores baixos de densidade de drenagem, geralmente estão associados a áreas com rochas permeáveis e pouca intensidade de chuvas, que favorece a infiltração da água no solo em detrimento do escoamento superficial (Christofolletti, 1980; Tonello, 2005).

O município de Ituiutaba apresenta intercalações de arenitos e basaltos, além de solos profundos e um período chuvoso bem definido, que ocorre entre os meses de outubro e março. Esse contexto, juntamente com as características do relevo, resulta em respostas hidrológicas mais lentas do sistema de drenagem, uma vez que a água da chuva terá que percorrer um longo caminho pelas vertentes (Linsley *et al.*, 1975, apud Machado; Torres, 2012).

No que se refere à densidade hidrográfica, a bacia apresentou valor de 0,51 canais/km², indicando a ocorrência média de aproximadamente meio canal por quilômetro quadrado, o que a caracteriza como muito baixa. Segundo Christofolletti (1980), esse parâmetro expressa a capacidade de uma área em gerar novos cursos d'água, estando diretamente relacionado às características litológicas, pedológicas e climáticas da bacia. Assim, pode fornecer importantes evidências qualitativas acerca da permeabilidade do solo, da posição do lençol freático e da distribuição espacial da precipitação (Moura; Oliveira; Nascimento, 2022).

Diante disso, valores baixos de densidade de drenagem e densidade hidrográfica podem indicar maior capacidade de infiltração da água no solo e menor predominância de escoamento superficial concentrado.

A relação de bifurcação apresenta valores relativamente próximos entre os canais de 1^a e 2^a ordem (4,19), 2^a e 3^a ordem (4,50) e 3^a e 4^a ordem (4,00), indicando relativa regularidade na organização hierárquica da rede de drenagem. Nas áreas de cabeceiras, a concentração de canais de menor ordem, associada às características do relevo, contribui para uma maior dissecação e para o aprofundamento dos vales, favorecendo a formação de fundos de vale em “V”. Entre os canais de 4^a e 5^a ordem, observa-se redução da relação de bifurcação para 2,0, indicando uma menor proporção entre canais dessas ordens.

Essa variação evidencia que a organização da rede de drenagem não ocorre de maneira homogênea ao longo da bacia, acompanhando um relevo que apresenta diferenciações

espaciais, com maior dissecação nas cabeceiras, colinas mais desenvolvidas no médio curso e ocorrência de áreas levemente movimentadas nas proximidades da foz. Nesse contexto, a redução da relação de bifurcação para 2,0 entre os canais de 4ª e 5ª ordem não implica, necessariamente, menor dissecação do relevo nas proximidades da foz, uma vez que esse parâmetro está relacionado à configuração da rede de drenagem, e não constitui, isoladamente, um indicador direto do grau de dissecação do relevo.

A bacia do Ribeirão São Lourenço apresenta um escoamento superficial de 435 m. Segundo Souza e Rodrigues (2012), extensões de escoamento superficial entre 249 m e 1000 m indicam comprimentos medianos de vertentes, o que facilita a infiltração da água da chuva, porém, dependendo do tipo de rocha, pode favorecer o escoamento superficial mais intenso. Dessa forma, nota-se que a água percorre aproximadamente 435 m desde seu interflúvio até alcançar o leito do curso d'água na bacia, o que influencia diretamente a dinâmica hidrológica.

O índice de sinuosidade é um dos parâmetros morfométricos utilizados para caracterizar a velocidade do escoamento do canal fluvial. Na bacia em questão, foi identificado um índice de sinuosidade de 1,29. Segundo Schumm (1963, *apud* Lana; Alves; Castro, 2001), valores próximos de 1,0 indicam canais mais retilíneos.

A sinuosidade dos canais é influenciada por fatores como a carga detrítica, a estrutura geológica e a declividade do terreno. Assim, um canal retilíneo tende a estar associado a leitos rochosos homogêneos, que oferecem resistência uniforme à ação das águas (Christofolletti, 1980), como os basaltos que podem ser observados em trechos do curso d'água principal.

Em relação ao gradiente dos canais, foi identificado um valor de 0,16%, indicando a baixa declividade do terreno, característica de um relevo com poucas ondulações e elevações. Nessas condições, a energia do escoamento fluvial tende a ser menor, o que limita a capacidade de transporte de sedimentos pelos canais fluviais.

Dessa forma, os cursos d'água da bacia do Ribeirão São Lourenço apresentam menor potencial de erosão fluvial, predominando processos mais associados à sedimentação e ao transporte de materiais finos, especialmente nos trechos de menor declividade, o que favorece o acúmulo de sedimentos ao longo do leito.

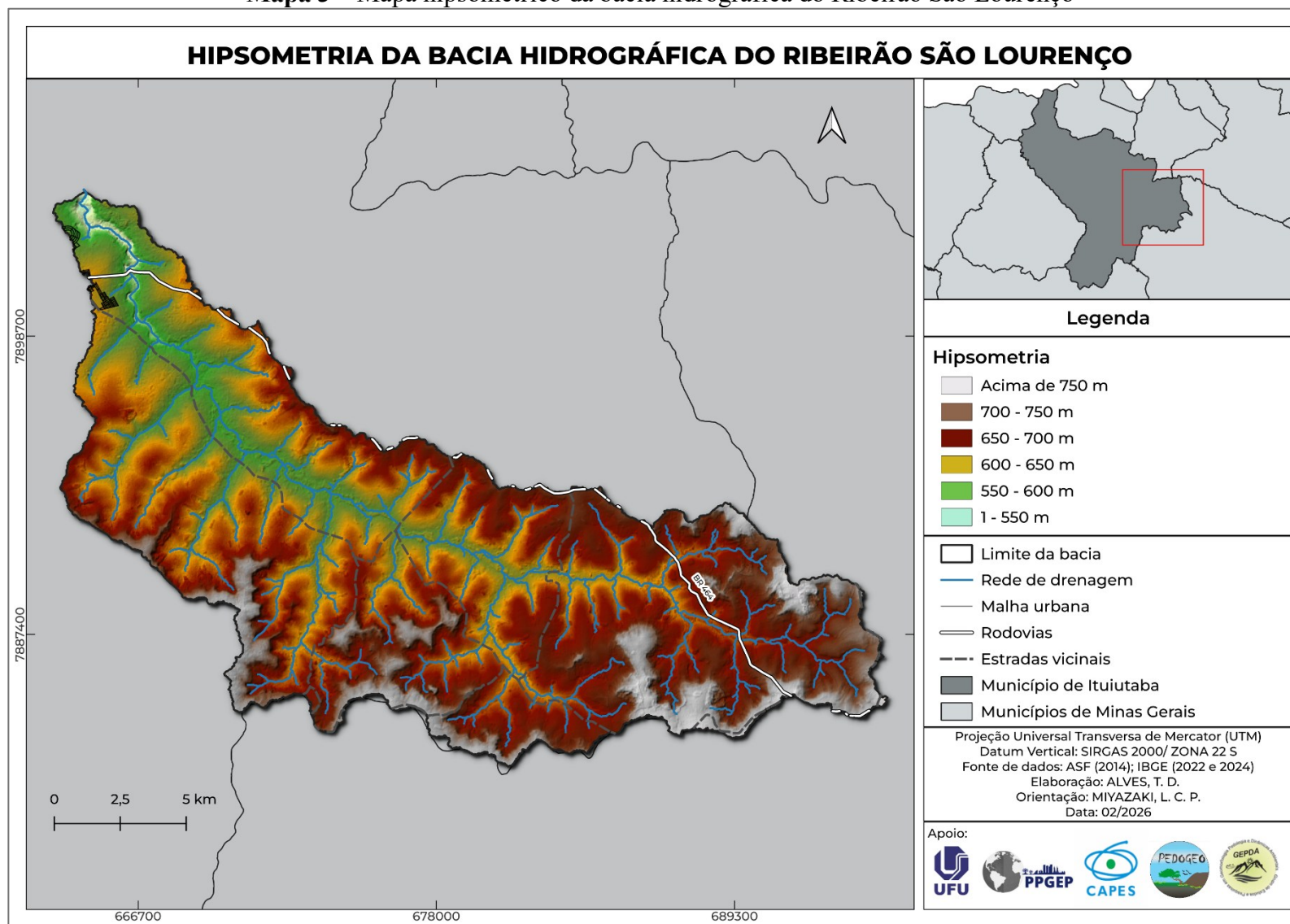
As características do relevo de uma bacia hidrográfica relacionam-se diretamente aos processos geomorfológicos e hidrológicos, uma vez que a declividade influencia a velocidade do escoamento superficial e a atuação dos processos erosivos. Nesse contexto, a Tabela 11 apresenta os dados referentes às características do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.

Tabela 11 – Características do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Características do relevo	Resultados
Menor altitude	495 m
Maior altitude	762 m
Amplitude altimétrica	267 m
Razão relevo (Rr)	0,005
Índice de rugosidade (Ir)	232,73
Organizado pela autora (2026)	

A bacia do Ribeirão São Lourenço possui altitudes que variam entre 495 e 762 metros (Mapa 3), com uma amplitude altimétrica de 267 metros.

Mapa 3 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ASF (2014). Elaborado pela autora (2026)

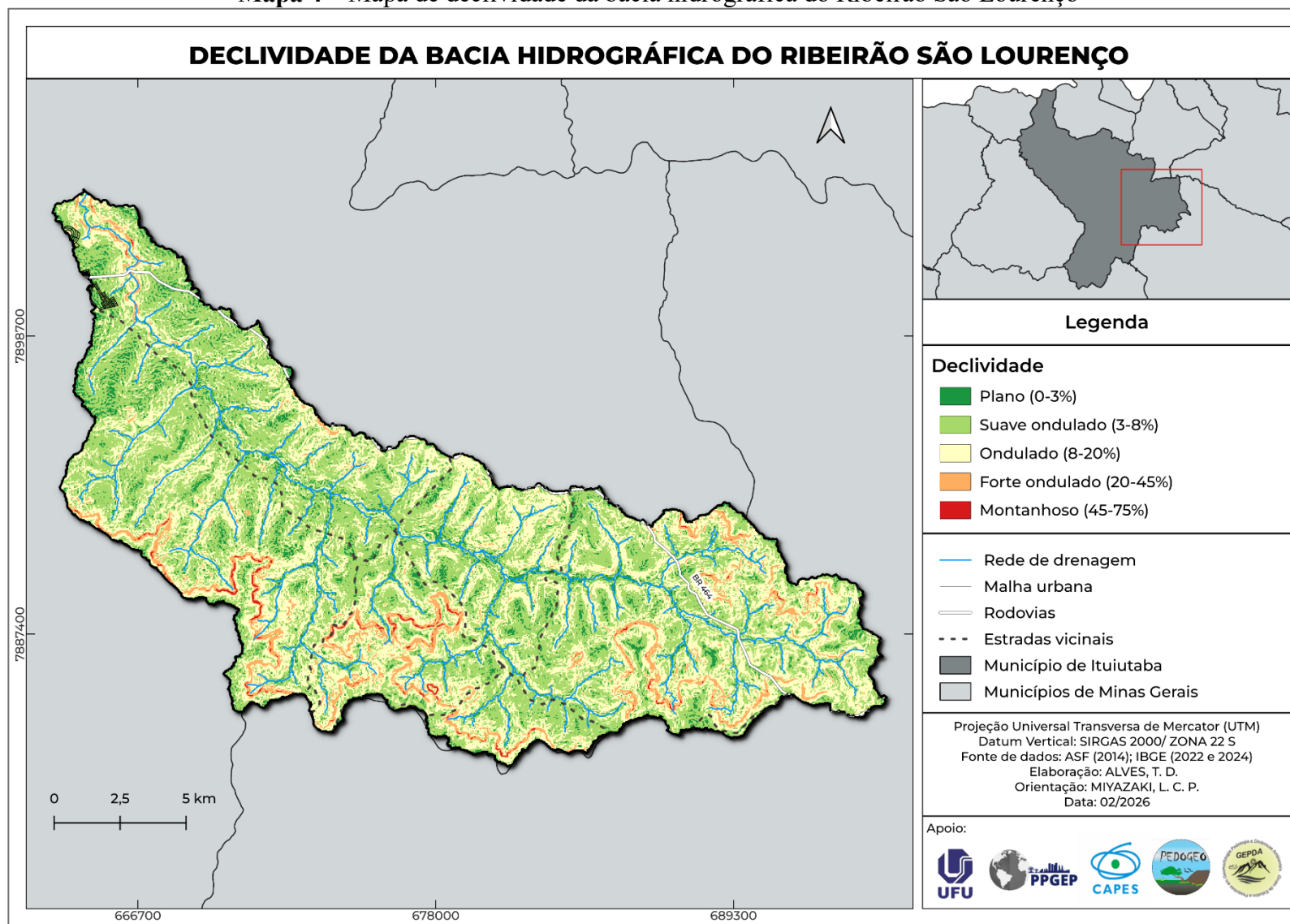
Conforme observado no mapa hipsométrico, grande parte da bacia está concentrada na faixa de altitude entre 600 e 650 metros, abrangendo 45,2% da área total. A faixa de 550 a 600 metros, que acompanha o canal fluvial, corresponde ao fundo de vale enquanto, nas proximidades da foz, as altitudes atingem valores inferiores, não ultrapassando 550 metros.

As cotas mais elevadas localizam-se nas áreas de cabeceira de drenagem, especialmente na porção sul da bacia, onde ocorrem relevos residuais do tipo tabuliforme, com altitudes superiores a 700 metros. Nesses compartimentos, destaca-se a presença de arenitos mais resistentes, cuja maior resistência litológica contribui para a manutenção dessas superfícies elevada.

A análise da declividade (Mapa 4) indica a predominância do relevo suave ondulado, com inclinações entre 3% e 8%, abrangendo 48,10% da área total. Em seguida, o relevo ondulado (8% a 20%) corresponde a aproximadamente 37% da bacia, evidenciando áreas com maior dissecação e vales um pouco mais encaixados.

Por sua vez, as classes de maior declividade, relevo forte ondulado (20% a 45%) e montanhoso (45% a 75%), ocorrem de forma pontual, associadas aos relevos residuais tabuliformes, onde as vertentes mais íngremes refletem maior potencial para a atuação de processos erosivos.

Mapa 4 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ASF (2014). Elaborado pela autora (2026)

A razão de relevo encontrada na bacia foi de 0,005. De acordo com os parâmetros de Piedade (1980), valores entre 0 e 0,10 indicam uma baixa razão de relevo, resultado da pouca amplitude altimétrica do terreno. Esse resultado está em concordância com o baixo gradiente dos canais e a espacialização da declividade, que caracteriza o relevo como predominantemente suave e ondulado.

Em relação ao índice de rugosidade, fator que relaciona a declividade e o comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, o valor encontrado na bacia do Ribeirão São Lourenço foi de 232,73. Esse valor, quando analisado em conjunto com os demais parâmetros morfométricos, indica que a bacia apresenta uma topografia relativamente suave, sem forte dissecação do relevo.

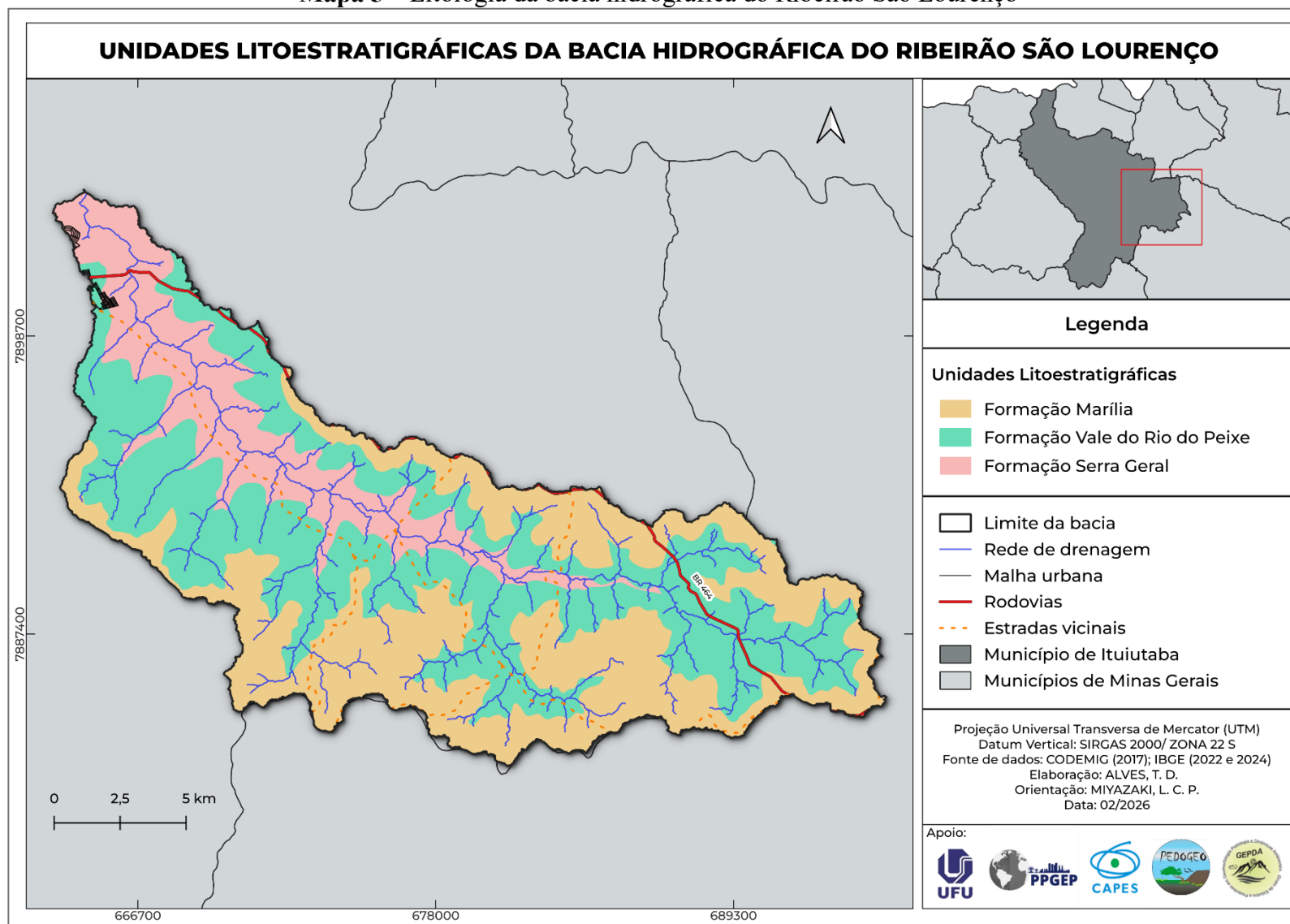
Um relevo suave ondulado é caracterizado por sua topografia pouco acidentada, formada por colinas com diferenças de nível entre 50 e 100 metros (EMBRAPA, 1979). Esse tipo de relevo, em geral, possui baixa suscetibilidade à erosão, embora esse fator possa variar dependendo da litologia e pedologia.

Conforme apontado, a bacia apresenta baixa propensão à ocorrência de grandes enchentes, sobretudo em função do seu formato e declividade, uma vez que o escoamento superficial ocorre de maneira mais distribuída no tempo, atenuando picos de enchente em determinados pontos. Além disso, o relevo predominantemente suave ondulado contribui para diminuir a intensidade dos processos erosivos, pois a menor velocidade do escoamento favorece a infiltração da água no solo.

3.2 Litologia

A litologia da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, assim como a do município, é constituída por afloramentos de basaltos da Formação Serra Geral e por arenitos das Formações Marília e Vale do Rio do Peixe (Mapa 5).

Mapa 5 – Litologia da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: CODEMIG (2017). Elaborado pela autora (2026)

Observa-se que as rochas sedimentares predominam em termos de extensão na bacia, correspondendo a 42,6% (125,26 km²) de arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e 38,7% (113,91 km²) da Formação Marília. Já os basaltos da Formação Serra Geral ocupam aproximadamente 18,7% (54,95 km²) da área total da bacia hidrográfica.

A Formação Marília é composta predominantemente por arenitos de granulação variada, desde fina até grossa, formando bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte. Esses depósitos incluem lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos, que apresentam estratificação plano-paralela e níveis rudáceos frequentes com nódulos carbonáticos (Bistrichi *et al.*, 1981). Segundo Brienza (2008, p. 13), trata-se de uma “unidade composta por arenitos grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis; ocorrem em bancos com espessura média de 1 a 2m, maciços”.

A Formação Vale do Rio do Peixe, por sua vez, é constituída por arenitos de granulação fina a muito fina, podendo apresentar nódulos e cimentação carbonática, com intercalações de siltitos arenosos e argilitos. Esses sedimentos ocorrem em bancos maciços com estratificação plano-paralela e cruzada, variando de pequeno a médio porte. Essa formação se sobrepõe de maneira discordante e abrupta aos basaltos da Formação Serra Geral, com os quais também se intercala lateralmente com a Formação Uberaba, além de possuir contato superior abrupto com os arenitos da Formação Marília (Batezzelli, 2003).

A Formação Serra Geral é composta por derrames basálticos continentais, que integram uma das maiores províncias ígneas do mundo, com espessuras que podem atingir cerca de 1.500 metros (Bento, 2018). De acordo com Corsi (2003), essas rochas afloram nas soleiras dos principais cursos d’água do Triângulo Mineiro, podendo se estender para seus afluentes, frequentemente associadas a lentes de arenitos intercalados aos derrames magmáticos.

Os afloramentos de basalto ocorrem predominantemente ao longo do curso d’água principal da bacia (Figura 10), especialmente em áreas próximas à foz, ou seja, no baixo curso, onde as cotas altimétricas são inferiores a 550 metros, corroborando com as observações de Costa e Martins (2011) e Silva (2014).

Figura 10 – Afloramento de basalto no Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves, 2025

Entretanto, alguns afloramentos de basalto também podem ser observados em áreas mais a montante do curso d'água principal, alcançando cotas altimétricas próximas a 580 metros de altitude.

Silva (2014) destaca que a elevada resistência das rochas magmáticas tende a reduzir os índices de entalhamento dos vales, favorecendo o seu alargamento e resultando em formas típicas em “U”. Além disso, os trechos encachoeirados evidenciam distintos episódios de derrames magmáticos.

As rochas pertencentes à Formação Vale do Rio do Peixe são as que apresentam menor resistência na bacia hidrográfica em estudo. Em decorrência disso, os arenitos dessa formação encontram-se amplamente recobertos por materiais resultantes da pedogênese, sendo raros os pontos de afloramento identificados na área.

De acordo com o estudo realizado por Silva (2014) na bacia, alguns pontos de afloramento dos arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe foram identificados em cotas altimétricas variando entre 560 e 650 metros. Contudo, na maior parte da bacia, essas rochas encontram-se recobertas por solos bem desenvolvidos e profundos, resultado do intenso processo de intemperismo a que estão submetidas.

Os arenitos da Formação Marília (Figura 11), por sua vez, ocorrem de forma descontínua, manifestando-se em corpos residuais tabuliformes que acompanham os divisores de água na porção sul da bacia. Essas formações apresentam topos relativamente planos e bordas declivosas, sendo predominantemente encontradas em altitudes superiores a 700 metros.

Figura 11 – Afloramento de arenito da Formação Marília na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



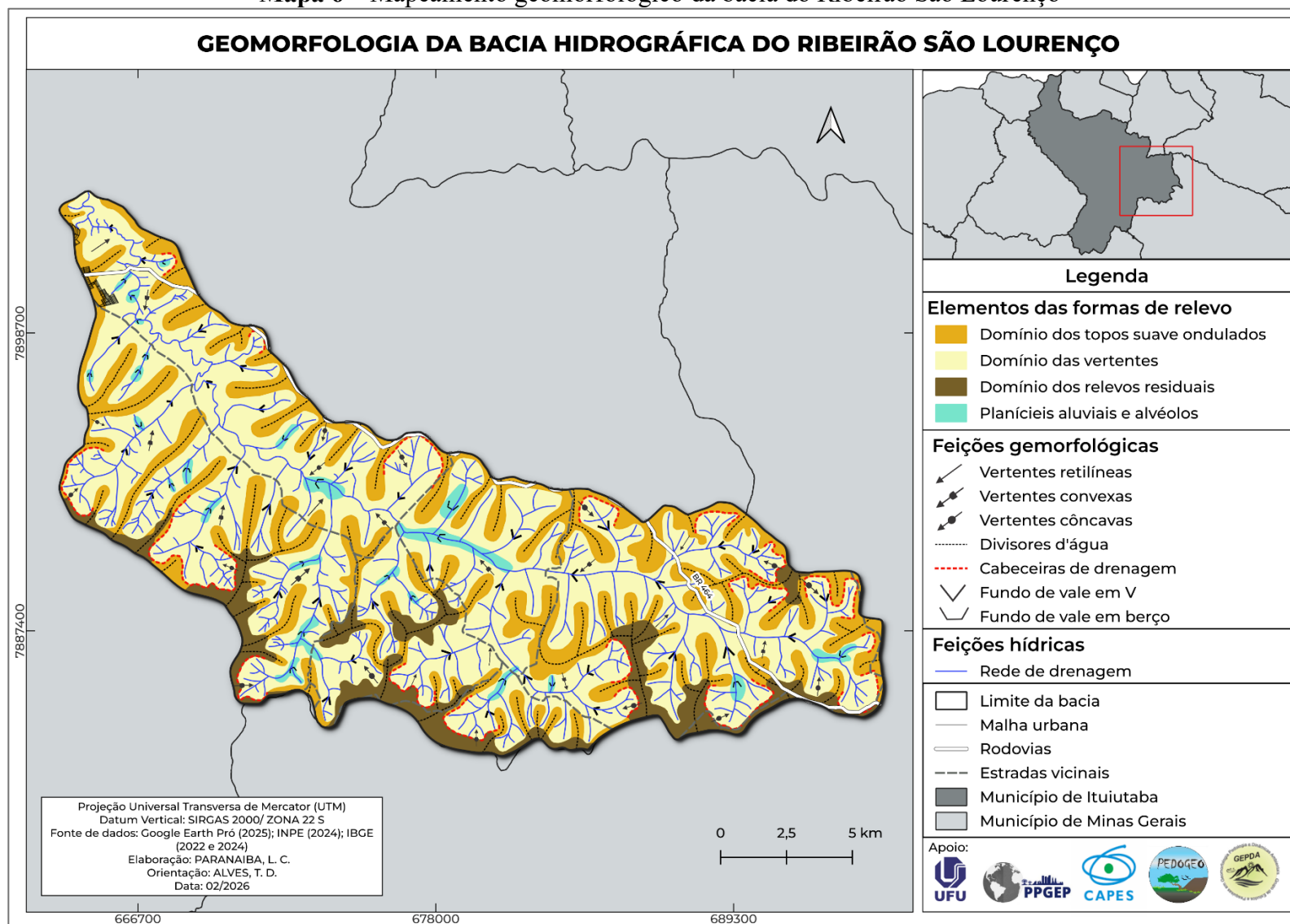
Fonte: Alves (2025)

A Formação Marília caracteriza-se pela predominância de arenitos com elevada concentração de sílica, além da ocorrência de conglomerados e lentes de calcário do tipo calcrete. Essa composição propiciou uma cimentação carbonática com alta resistência mecânica e baixa permeabilidade, o que contribuiu para a redução da intensidade dos processos de denudação ao longo do tempo geológico.

3.3 Relevo

O mapeamento geomorfológico da área de estudo (Mapa 6) possibilitou uma representação detalhada da bacia, permitindo identificar três compartimentos principais do relevo (topos, vertentes e planícies aluviais), bem como a presença de relevos residuais tabuliformes. Também foram mapeadas feições geomorfológicas relevantes, como a morfologia das vertentes (côncavas, convexas e retilíneas), as cabeceiras de drenagem, os divisores d'água, a rede hídrica e os fundos de vale em berço e em “V”.

Mapa 6 – Mapeamento geomorfológico da bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Google Earth Pró (2025); INPE (2024). Elab.: Paranaíba (2026)

O domínio dos topos suave ondulados está inserido na forma de relevo das colinas convexas (Figura 12), abrangendo uma área de aproximadamente 87,3 km² (29,7%). As colinas apresentam formas predominantemente convexas e baixa amplitude altimétrica, com elevações que não ultrapassam 50 metros (Venceslau, 2020). A suavidade e o baixo grau de elevação dessa morfologia estão associados a processos denudacionais que atuaram de forma contínua ao longo do tempo geológico, promovendo o aplainamento das superfícies.

Figura 12 – Colina convexa com topo amplo suavemente ondulado na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2021)

Essa forma de relevo é sustentada, em sua maioria, por rochas sedimentares da Formação Vale do Rio do Peixe, sendo raros os pontos de afloramento na bacia devido a sua característica friável, o que favorece a formação de solos profundos e bem desenvolvidos, exercendo influência direta na dinâmica erosiva local.

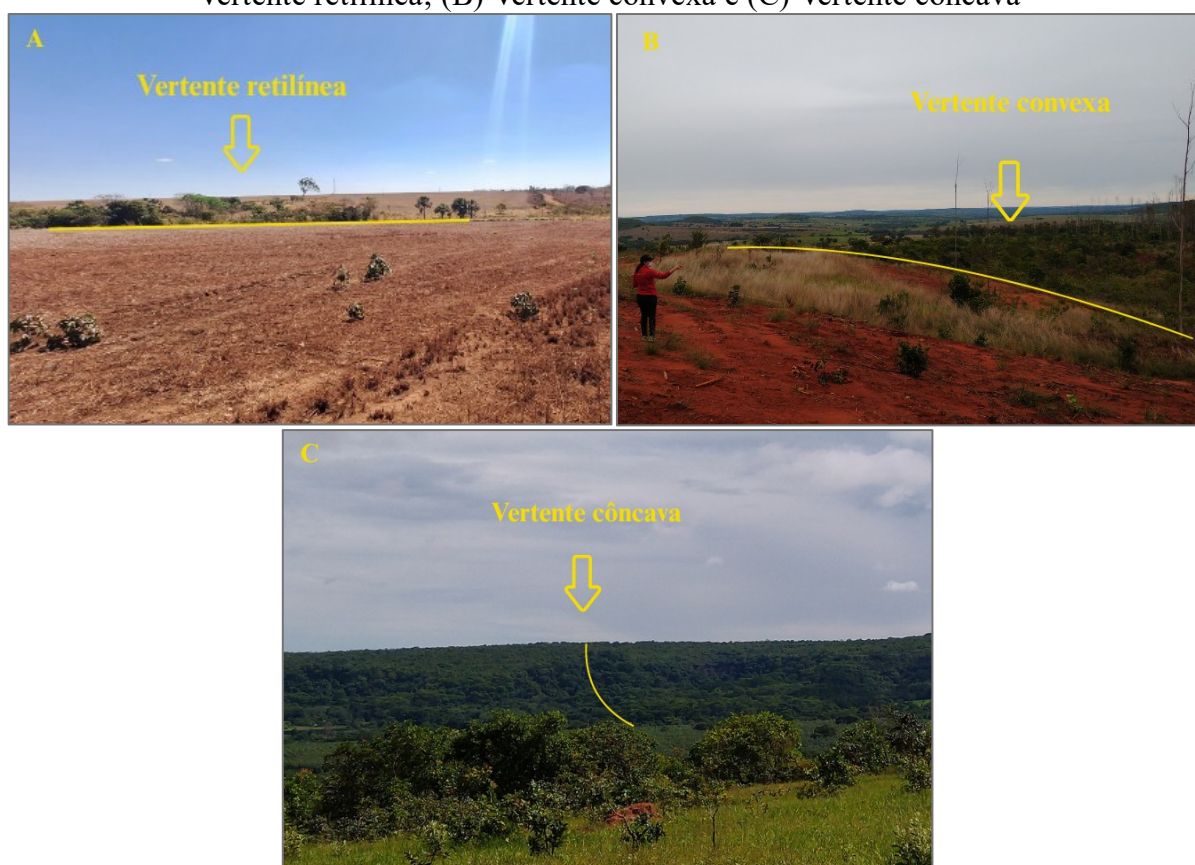
Os divisores d'água correspondem a feições geomorfológicas mais elevados do relevo, associadas ao domínio dos topos, onde definem os limites entre áreas de contribuição hídrica de bacias adjacentes. Esses elementos condicionam a direção do escoamento superficial, separando fluxos que convergem para diferentes canais e, consequentemente, delimitando microbacias hidrográficas.

Durante o processo de apropriação e ocupação do município de Ituiutaba, as áreas de topo das bacias hidrográficas constituíram as primeiras formas de relevo a serem ocupados, expandindo-se, posteriormente, para as vertentes (Alves, 2023). Na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, essa dinâmica é claramente perceptível, sobretudo pela expansão da malha urbana, que teve início nas áreas de topo e, gradativamente, vem avançando em direção às vertentes, refletindo o padrão típico de ocupação observado em diversos centros urbanos.

A delimitação dessas áreas permite identificar os pontos de início das vertentes, contribuindo também para a caracterização de sua morfologia. Considerando a existência de diferentes morfologias de vertentes, torna-se fundamental analisar o comportamento do escoamento superficial em cada uma dessas formas, uma vez que sua dinâmica constitui um dos fatores que podem intensificar os processos erosivos.

O domínio das vertentes apresenta três feições geomorfológicas principais, as vertentes côncavas, convexas e retilíneas (Figura 13), abrangendo aproximadamente 165,5 km² (56,3%). As diferentes formas das vertentes influenciam diretamente a dinâmica de escoamento e infiltração das águas pluviais.

Figura 13 – Diferentes morfologias de vertente na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Vertente retilínea; (B) Vertente convexa e (C) Vertente côncava



Fonte: Alves (2021; 2025)

Na bacia do Ribeirão São Lourenço, observa-se o predomínio das vertentes convexas, características do relevo de colinas suaves onduladas, que sofreram intensas alterações devido à ocupação humana. Essas vertentes, sendo formas dispersoras dos fluxos hídricos, tendem a direcionar o escoamento superficial para vertentes côncavas próximas ou, ainda, para os fundos de vale (Costa, 2024).

De modo geral, essas vertentes constituem o segundo compartimento geomorfológico a ser intensamente ocupado, após os topos, sendo áreas frequentemente transformadas pela expansão urbana e pelas atividades agrícolas. A apropriação dessas superfícies implica uma esculpturação acentuada de sua morfologia original, com modificações nos padrões de escoamento superficial e na capacidade de infiltração das águas pluviais.

A morfologia suavemente convexa dessas vertentes favorece a implantação de práticas agrícolas mecanizadas e intensivas, promovendo a substituição da cobertura vegetal natural e a consequente intensificação do escoamento superficial. Esse processo contribui para o desencadeamento e a evolução de feições erosivas, evidenciando a interferência antrópica na dinâmica do relevo.

As vertentes côncavas apresentam condições favoráveis à infiltração das águas pluviais, uma vez que concentram o escoamento superficial em direção a um ponto central. Nessa morfologia, é comum a ocorrência de nascentes, o desenvolvimento de canais fluviais incipientes, o afloramento do lençol freático ou, ainda, o funcionamento como áreas de recarga de aquíferos.

Entretanto, o uso e a ocupação dessas vertentes evidenciam, em muitos casos, a ausência de práticas adequadas de manejo, especialmente no que se refere à manutenção dos processos de infiltração e escoamento superficial. Considerando que essas áreas são estratégicas para recarga hídrica, a cobertura vegetal é fundamental na dinâmica hidrológica, influenciando tanto os processos superficiais quanto subsuperficiais. A substituição da vegetação natural por cultivos tende a reduzir a infiltração e a recarga dos reservatórios subterrâneos, ao mesmo tempo em que aumenta o escoamento superficial (Costa, 2024).

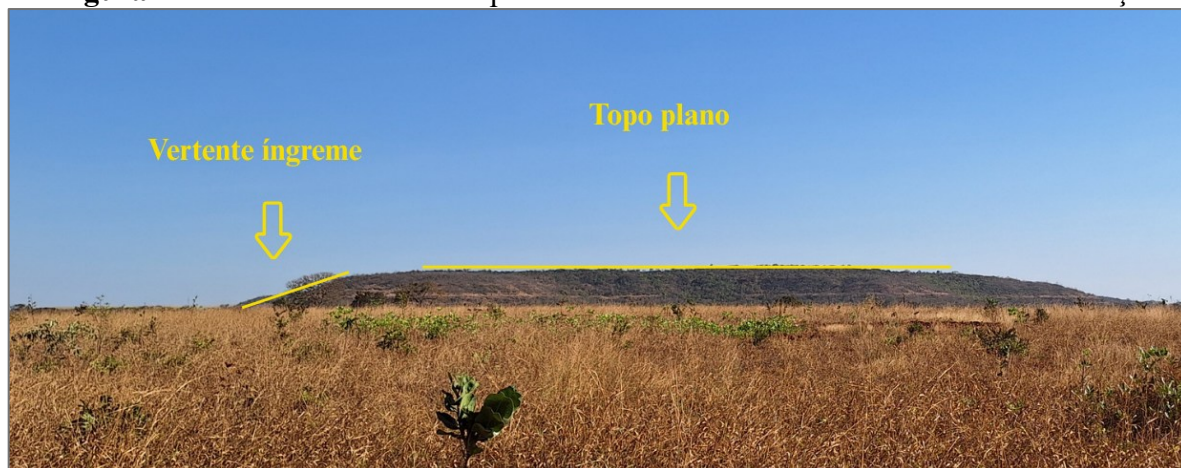
A vertente retilínea constitui a última morfologia considerada, caracterizando-se pela inclinação relativamente uniforme da superfície, o que favorece a predominância do escoamento superficial ao longo de todo o seu perfil. Nessa morfologia, o material erodido é transportado de forma mais eficiente, tendendo a ser depositado nos fundos de vale e nas áreas de planície, contribuindo para processos de acumulação de sedimentos.

Neste sentido, a compreensão dos processos atuantes e do funcionamento das vertentes, embora complexo, pode ser obtida por meio de abordagens integradas, como o estudo do balanço da denudação, a avaliação morfológica do comprimento de rampa e a observação dos processos desencadeados durante e após os eventos pluviométricos (Pedro Miyazaki; Venceslau, 2020).

O domínio dos relevos residuais tabuliformes localiza-se nas porções mais elevadas do município, ocupando uma área de aproximadamente 29,8 km² (10,1%) (Figura 14). Esse tipo

de relevo destaca-se na paisagem por suas formas semelhantes a mesas ou tabuleiros, caracterizadas por topos aplainados e vertentes íngremes, apresentando declividades que variam entre 20% e 45% e cotas altimétricas superiores a 700 metros.

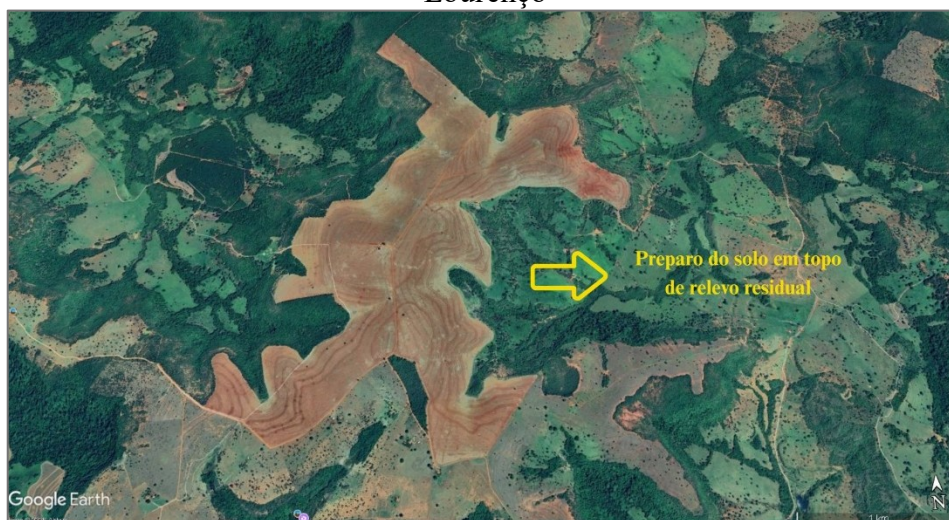
Figura 14 – Relevo residual do tipo tabuliforme na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2025)

Na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, os relevos residuais tabuliformes são predominantemente recobertos por vegetação típica do Cerrado, que contribui para a proteção dos solos. Entretanto, nas porções mais amplas e planas dos topos, observa-se a presença de propriedades rurais e áreas destinadas ao cultivo agrícola (Figura 15).

Figura 15 – Preparo do solo para cultivo agrícola em relevo residual na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Google Earth Pro (2026)

A apropriação dessas superfícies está relacionada às suas características geomorfológicas, especialmente às baixas declividades no topo, à relativa continuidade das áreas de topo e à facilidade de acesso e circulação, que favorecem a mecanização e a

implantação de atividades agropecuárias. Desse modo, a configuração do relevo atua como um dos elementos condicionantes da ocupação e do uso dessas superfícies.

Nas encostas dos relevos tabuliformes da região, são encontradas as cabeceiras de drenagem com formato em anfiteatro (Figura 16), feições típicas associadas às vertentes côncavas, com forma de concha. Esses compartimentos representam áreas de convergência do escoamento superficial e subsuperficial, configurando-se como os principais pontos de surgimento das nascentes do Ribeirão São Lourenço, bem como de outros cursos d'água importantes para a rede hidrográfica do município.

Figura 16: Cabeceiras de drenagem em anfiteatro na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Google Earth Pró (2025). Elaborado pela autora (2025)

A última forma de relevo mapeado corresponde ao domínio das planícies aluviais e alvéolos, abrangendo uma área de aproximadamente 11,5 km² (3,9%). As planícies aluviais apresentam superfícies amplas e planas, sendo frequentemente associadas aos fundos de vale em berço (manjedouras) (Figura 17). Nessas áreas, observa-se a acumulação de sedimentos, como bancos de areia, transportados das porções mais elevadas da bacia em decorrência da ação erosiva.

Figura 17: Planície aluvial em área de fundo de vale em berço na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2025)

Além disso, as planícies podem abrigar vegetação herbácea ou rasteira, adaptada à umidade do solo, favorecendo a formação de veredas. De acordo com Lima (2014), essas formações são fundamentais para a manutenção da fauna do Cerrado, atuando como áreas de pouso, refúgio, abrigo e alimentação para diversas espécies.

No que se refere à morfologia dos vales em “V”, estes apresentam caráter mais encaixado, resultante da elevada energia erosiva do canal associada às maiores declividades do terreno, o que favorece o entalhamento do leito fluvial. Essa morfologia é mais característica do alto curso da bacia, especialmente nas proximidades das nascentes, onde predominam relevos residuais com declividades mais acentuadas. À medida que o fluxo se desloca em direção aos setores de médio e baixo curso, observa-se uma tendência ao alargamento dos vales, decorrente da redução da declividade e do aumento da deposição de sedimentos ao longo do canal.

A ocupação de áreas de fundos de vale provoca impactos ambientais expressivos, principalmente devido à alteração da dinâmica fluvial natural. Quando ocorre a retirada da mata ciliar, responsável pelo controle do escoamento superficial, há uma intensificação dos processos erosivos e favorecimento do assoreamento.

À medida que se compreendem as formas de relevo e os processos responsáveis por sua esculturação, obtêm-se informações fundamentais para relacioná-las a outros elementos físicos que contribuíram para a formação da paisagem na área de estudo. Nesse contexto, fatores como litologia, clima e relevo são essenciais para a compreensão da gênese dos solos, os quais, por sua vez, condicionam os diferentes usos da terra, a distribuição da vegetação e os impactos decorrentes dos processos de apropriação e ocupação do relevo.

3.4 Solos

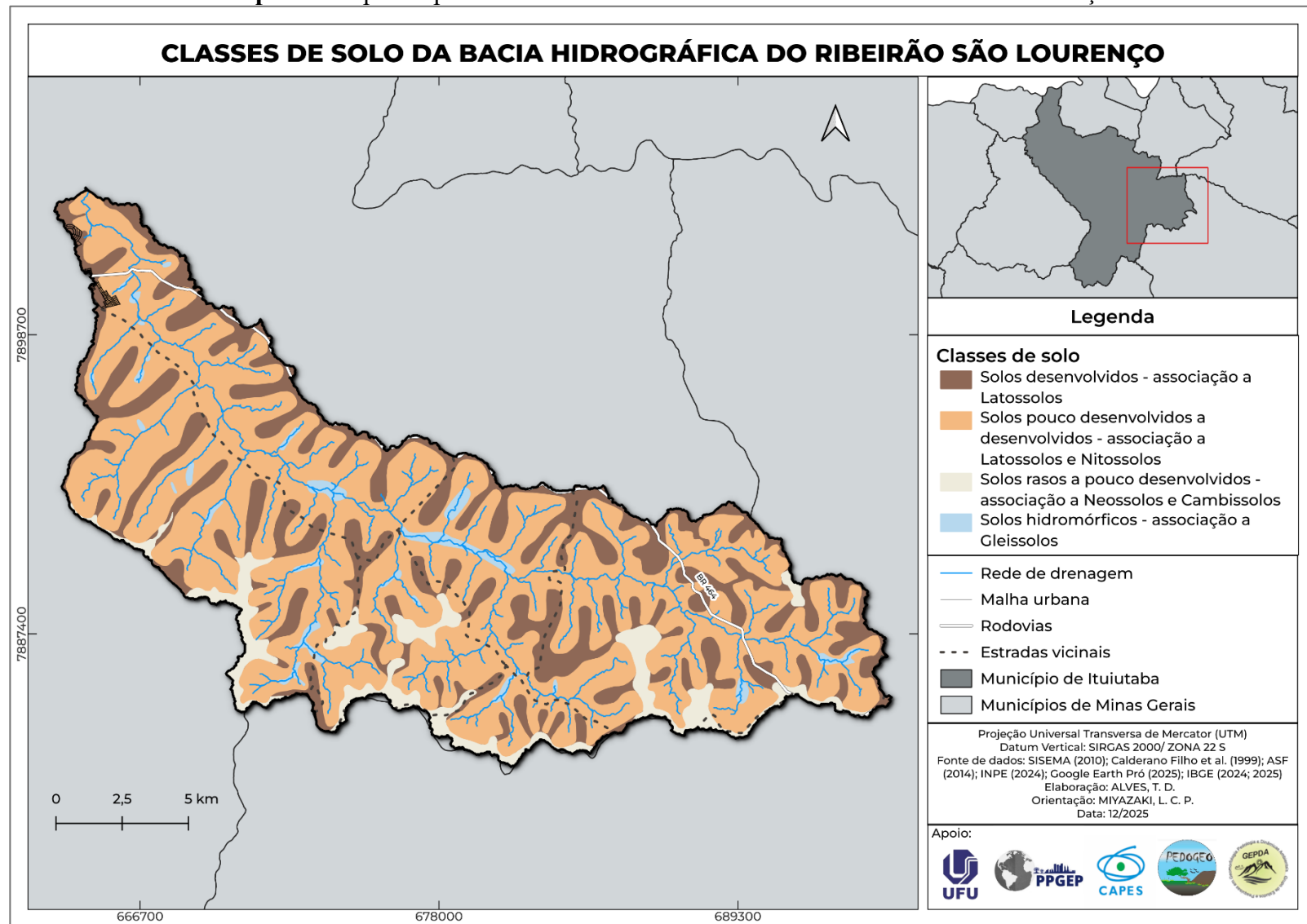
A distribuição e as características dos solos estão diretamente condicionadas à interação entre os fatores de formação, com destaque para a litologia, o relevo e a dinâmica hídrica. Em áreas de relevo suave, a maior infiltração das águas pluviais favorece o predomínio dos processos pedogenéticos, resultando na formação de solos mais profundos e bem desenvolvidos. Em contrapartida, em locais com maior declividade, o escoamento superficial mais intenso limita a evolução dos perfis, originando solos mais rasos e pouco desenvolvidos.

Com base no Mapa de Solos de Minas Gerais (SISEMA, 2010), na escala 1:650.000, verifica-se a predominância de Latossolos Vermelhos na área de estudo, além de uma pequena ocorrência de Cambissolos próximo a foz da bacia. Ao comparar esses resultados com as informações pedológicas disponibilizadas pelo IBGE (2025), na escala cartográfica de 1:250.000, confirma-se a predominância dos Latossolos Vermelhos na área de estudo. Entretanto, os Cambissolos não são representados nesta base de dados, sendo observada, em contrapartida, a ocorrência de Argissolos, especialmente próximos as áreas de relevo residual.

Calderano Filho *et al.* (1999), ao realizarem um levantamento pedológico para o município de Ituiutaba, na escala de 1:100.000, identificaram a predominância de Latossolos Vermelhos de textura média e argilosa no município. No recorte correspondente à bacia hidrográfica em estudo, também foi registrada a ocorrência de Nitossolos Vermelhos (antiga Terra Roxa Estruturada) nas proximidades do curso d'água principal, além de Neossolos Litólicos (antigo solo Litólico) associados a Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelo (antigo Podzólico Vermelho-Amarelo) em locais de relevo residual e Gleissolos Háplicos (antigo Glei Pouco Úmico) nas áreas de planície aluvial.

A distribuição espacial dos solos na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, a partir das análises morfológicas e granulométricas e dos dados preexistentes, evidenciou a predominância de solos pouco desenvolvidos a desenvolvidos, correspondentes à associação entre Latossolos e Nitossolos Vermelhos, que abrangem 56,3% da área. Os solos desenvolvidos, representados pela associação de Latossolos Vermelhos, ocupam 29,8%. Já os solos rasos a pouco desenvolvidos, associados a Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, correspondem a 10,1% da bacia. Por fim, os solos hidromórficos, vinculados aos Gleissolos Háplicos, representam 3,9% da área analisada (Mapa 7).

Mapa 7 – Mapa simplificado das classes de solo da bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: SISEMA (2010); Calderano Filho *et al.* (1999); ASF (2024); INPE (2024) Google Earth Pró (2025); IBGE (2025). Elaborado pela autora (2025)

Os Latossolos Vermelhos são solos com uma coloração avermelhada intensa, devido ao maior teor de ferro oriundo dos óxidos de ferro presentes no material de origem, típico de ambientes com boa drenagem. Segundo a EMBRAPA (2019), esses solos apresentam elevado grau de desenvolvimento, grande profundidade e porosidade.

Tais atributos favorecem a infiltração da água que contribui para uma boa drenagem, além de conferir maior resistência à erosão. Entretanto, quando submetidos a formas inadequadas de ocupação, que ocasionam compactação e aumentam o escoamento superficial, esses solos tornam-se vulneráveis ao ravinamento, processo que pode evoluir, ao longo do tempo, para a formação de voçorocas de grande porte (Arraes; Bueno; Pissara, 2010).

Esses solos apresentam boas condições de manejo para o preparo agrícola, inclusive nas classes mais argilosas, em função de sua estrutura e consistência favoráveis, o que contribui para sua ampla utilização em sistemas de cultivo extensivo. Entretanto, Latossolos com textura franco-arenosa ou franca, especialmente aqueles com teor de argila inferior a 20%, tendem a apresentar maior suscetibilidade à erosão, exigindo a adoção de práticas adequadas de manejo e conservação do solo para minimizar a ocorrência de perdas (Oliveira, 2011).

Os Nitossolos Vermelhos são solos que, em geral, se desenvolvem a partir do intemperismo de rochas basálticas, rochas calcárias e, em alguns casos, gnaisses. Caracterizam-se por serem solos profundos, bem drenados e com predominância de argila de baixa atividade (EMBRAPA, 2019). Uma de suas principais características morfológicas é o elevado grau de desenvolvimento estrutural, associado à presença de cerosidade nas superfícies dos agregados.

Esses solos podem ser encontrados em diferentes contextos climáticos, ocorrendo, de modo mais comum, em áreas com relevo que varia de suave ondulado a forte ondulado. Do ponto de vista agrônomo, os Nitossolos apresentam grande relevância, sendo considerados um dos solos de maior potencial produtivo (Lepsch, 2010).

Os Cambissolos Háplicos diferem dos Latossolos por apresentarem características heterogêneas, podendo ser pouco ou bem desenvolvidos (em função de aspectos como sua mineralogia), mas estarem em processo de rejuvenescimento. Os perfis típicos desse solo ocorrem, em geral, em áreas de relevo acidentado, sendo pouco profundos (raramente ultrapassando 1 m de espessura), com elevado teor de minerais primários, presença significativa de fragmentos de rocha e suscetibilidade ao intemperismo (Lepsh, 2010).

Além disso, podem variar de solos estruturalmente mais rígidos a solos com boa drenagem, dependendo diretamente do material de origem, das condições climáticas e do relevo local (EMBRAPA, 2019), fatores que representam limitações significativas para o uso agrícola.

Os Gleissolos Háplicos são solos hidromórficos cuja formação está diretamente relacionada à influência do acúmulo de água no perfil, seja de forma permanente ou temporária, por períodos suficientemente longos para promover a redução do ferro (Lepsch, 2010). Esse processo ocorre em ambientes com drenagem deficiente, onde a saturação hídrica limita a circulação de oxigênio no solo.

Em termos texturais, esses solos podem apresentar diferentes composições ao longo de seus horizontes, podendo ou não possuir textura arenosa. Em decorrência do processo de gleização, é comum que apresentem colorações características, como tons acinzentados, azulados ou esverdeados, resultantes das condições redutoras do ambiente. Em alguns casos, também pode ocorrer a precipitação de compostos ferrosos no perfil do solo (EMBRAPA, 2019).

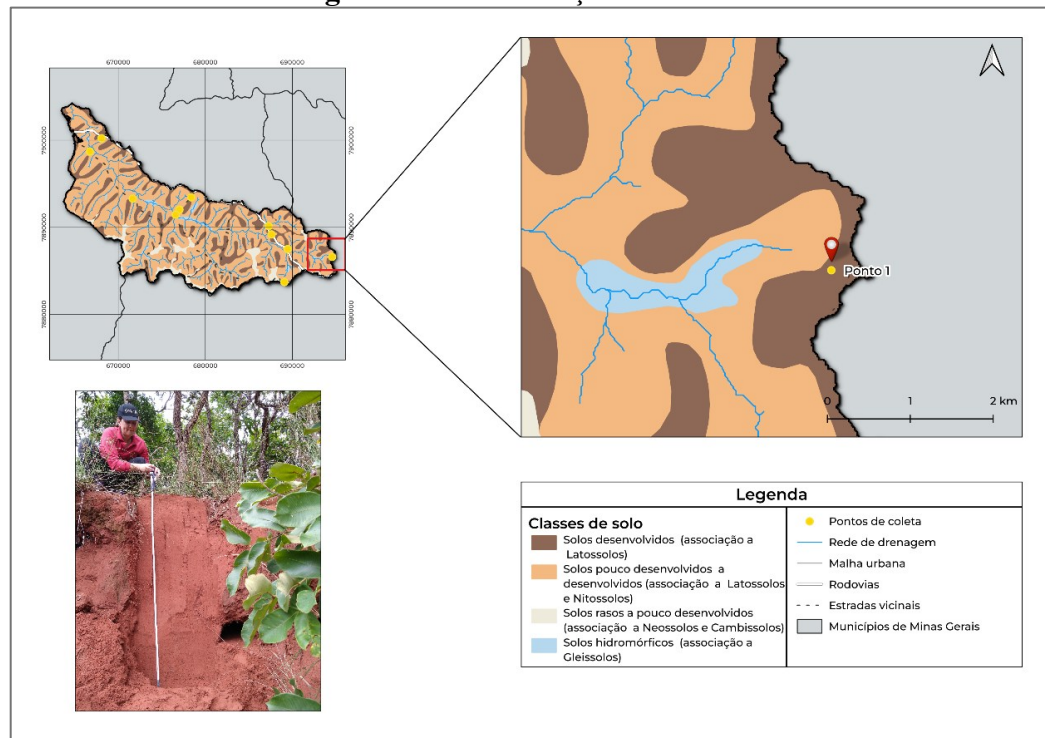
Os Neossolos Litólicos são caracterizados por apresentarem pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais desenvolvidos (Lepsch, 2010). Essa condição pode estar relacionada tanto às características do material de origem, como maior resistência ao intemperismo, quanto à atuação dos fatores de formação do solo, tais como clima, relevo e tempo, que podem limitar ou impedir o avanço dos processos pedogenéticos (Santos *et al.*, 2025).

Esses solos podem ocorrer em uma ampla variedade de ambientes climáticos, sendo frequentemente encontrados em áreas de relevo mais movimentado, variando de ondulado a montanhoso, onde os processos erosivos dificultam o desenvolvimento do perfil do solo.

A seguir, são apresentadas as descrições dos pontos de coleta de solo, bem como os resultados obtidos a partir das análises morfológicas e granulométricas realizadas, que foram utilizados para a elaboração do esboço das classes de solo.

- *Ponto 1*

O ponto 1 localiza-se em uma voçoroca situada nas áreas de topo das colinas amplas e suavemente onduladas. Essa feição erosiva se estende ao longo da vertente, apresentando declividades inferiores a 4% e altitude de aproximadamente 708 metros (Figura 18).

Figura 18 – Localização do Ponto 1

Elaborado pela autora (2026)

A litologia desse ponto corresponde a arenitos da Formação Marília, conforme mapeamento da litologia feito pela CODEMIG (2017). A cobertura vegetal corresponde a savana arbórea aberta, composta por gramíneas e espécies arbóreas de pequeno porte a grande porte, sendo uma área destinada à reserva legal (Figura 19).

Figura 19 – Voçoroca localizada na área de coleta do Ponto 1

Fonte: Alves (2021)

No Ponto 1, foi identificada a presença de solos bem desenvolvidos, classificados como Latossolos Vermelhos. Estes solos apresentam horizonte mineral B latossólico (Bw), que

evidência avançada intemperização dos minerais primários, com espessura mínima de 50cm e textura franco arenosa ou mais fina (Santos *et al.*, 2025).

A partir da abertura do perfil, foram descritos quatro horizontes distintos: um horizonte A, um horizonte transicional A/B e dois horizontes B (B1 e B2), evidenciando um avançado estágio de intemperismo e forte desenvolvimento pedogenético.

A análise textural das amostras coletadas revelou o predomínio da fração areia em todos os horizontes do perfil pedológico, resultando na classificação textural como areia franca (Quadro 5).

Quadro 5 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 1

Horizontes			A	A/B	B1	B2
Profundidade			0-28cm	29-54cm	55-90cm	91-150cm+
Características morfológicas			Marrom avermelhado (2,5YR 3/4); transição difusa; não plástica, blocos angulares e subangulares; muito poroso; grau de desenvolvimento da cerosidade fraca; com pouca cerosidade; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.	Vermelho escuro (2,5YR 3/6); transição difusa; não plástica, blocos angulares e subangulares; muito poroso; grau de desenvolvimento da cerosidade fraca; com pouca cerosidade; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido muito friável.	Vermelho amarelado (2,5YR 4/6); transição difusa; não plástica, blocos angulares e subangulares; muito poroso; grau de desenvolvimento da cerosidade fraca; com pouca cerosidade; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido muito friável.	Vermelho amarelado (2,5YR 4/6); transição difusa; não plástica, blocos angulares e subangulares; muito poroso; grau de desenvolvimento da cerosidade fraca; com pouca cerosidade; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	858	850	839	838
	Argila		130	130	140	140
	Silte		12	20	21	22
	Classe textural		Areia franca	Areia franca	Areia franca	Areia franca

Fonte: Acervo laboratório PEDOGEO (2021). Organizado pela autora (2025)

Nos horizontes superficiais (A e A/B) foi identificada a presença de fragmentos de carvão, evidenciando a ocorrência de queimadas em períodos anteriores. Também foram observadas raízes finas em todos os horizontes, com maior concentração nas camadas superficiais, o que indica boa drenagem do solo. Nos horizontes subsuperficiais (B1 e B2), constatou-se ainda a presença de cupins, sinalizando atividade biológica no perfil.

Os resultados do fracionamento da areia, apresentados na Tabela 12, indicam que a fração de areia fina predomina em todos os horizontes, apresentando valores ligeiramente superiores aos da areia grossa.

Tabela 12 – Resultado do fracionamento das areias do Ponto 1

Horizontes	g/kg ⁻¹	
	Areia Grossa	Areia Fina
A	394	475
A/B	448	412
B1	403	434
B2	401	437

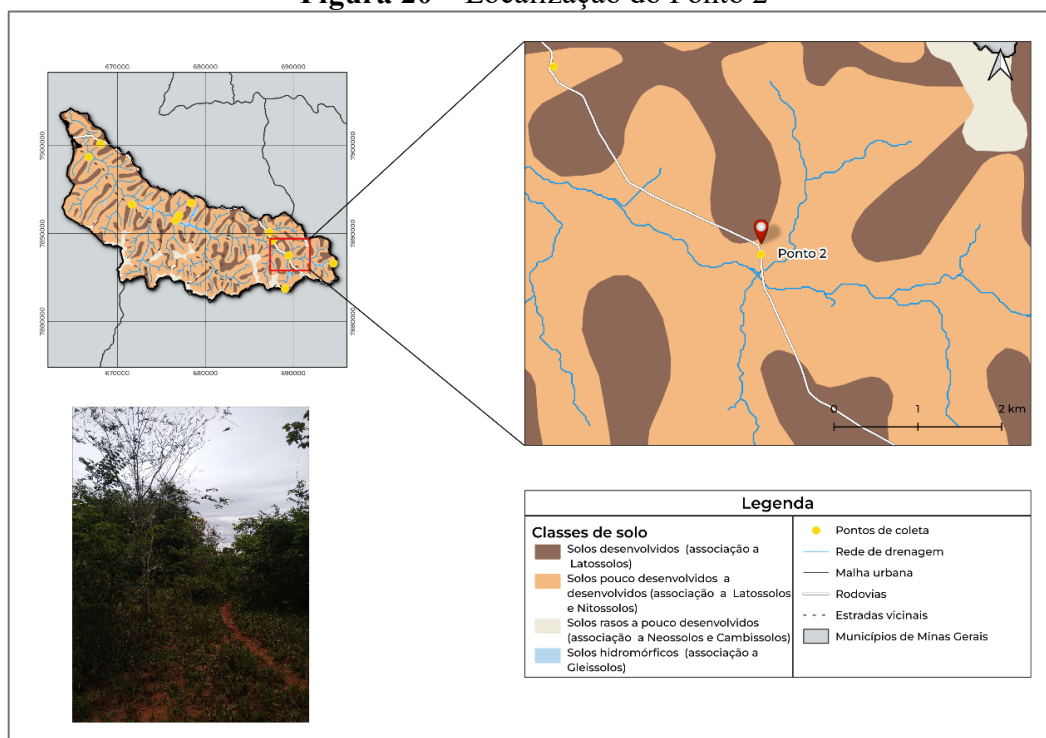
Organizado pela autora (2025)

De modo geral, as frações de silte e areia fina apresentam maior suscetibilidade ao desprendimento e ao transporte, em função do seu menor tamanho e da baixa coesão entre as partículas, o que facilita sua remoção e transporte em suspensão pela água. O silte, em particular, é considerado a fração mais erodível, por apresentar reduzida estabilidade estrutural.

- *Ponto 2*

O Ponto 2 está localizado na baixa vertente, caracterizada por uma morfologia retilínea com relevo suave, declividade aproximada de 7% e altitude de 637 metros (Figura 20). A litologia dessa área está ligada a Formação Vale do Rio do Peixe, marcada por arenitos de granulação bastante fina.

Figura 20 – Localização do Ponto 2



Elaborado pela autora (2026)

A área apresenta cobertura vegetal densa, composta por árvores de médio a grande porte, situando-se próxima ao curso d'água. Para a análise, foram coletadas amostras dos horizontes superficiais (A1 e A2) e subsuperficial (A3) com o uso do trado holandês⁴⁴.

⁴⁴ Como as amostras de solo foram obtidas por meio da tradagem, não foi possível identificar algumas características morfológicas, como a transição entre horizontes e a estrutura, devido à deformação das amostras durante o processo de coleta. No entanto, a análise da consistência pôde ser realizada, uma vez que permaneceram alguns torrões pequenos indeformados.

No Ponto 2, com base nas análises morfológicas e granulométricas realizadas, o solo apresenta características compatíveis com um Latossolo Vermelho, indicando um material intemperizado e com boa drenagem. A análise textural das amostras revelou o predomínio da fração areia em todas as amostras coletadas, o que resultou na classificação textural areia franco e franco-arenosa (Quadro 6), tendo uma ligeira plasticidade e consistência de macia a ligeiramente dura.

Quadro 6 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 2

Amostras			A1	A2	A3
Profundidade			0-10cm	11-20cm	21-30cm
Características morfológicas			Marrom avermelhado (2,5YR 3/3); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido muito friável.	Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/3); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido muito friável.	Marrom avermelhado (2,5YR 3/3); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido muito friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	796	777	773
	Argila		167	179	180
	Silte		37	44	47
	Classe textural		Areia franca	Areia franca	Franco arenosa

Fonte: Acervo laboratório PEDOGEO (2021). Organizado pela autora (2025)

Os resultados do fracionamento da areia, apresentados na Tabela 13, indicam que a fração de areia fina é predominante em todas as amostras.

Tabela 13 – Resultado do fracionamento da areia das amostras do Ponto 2

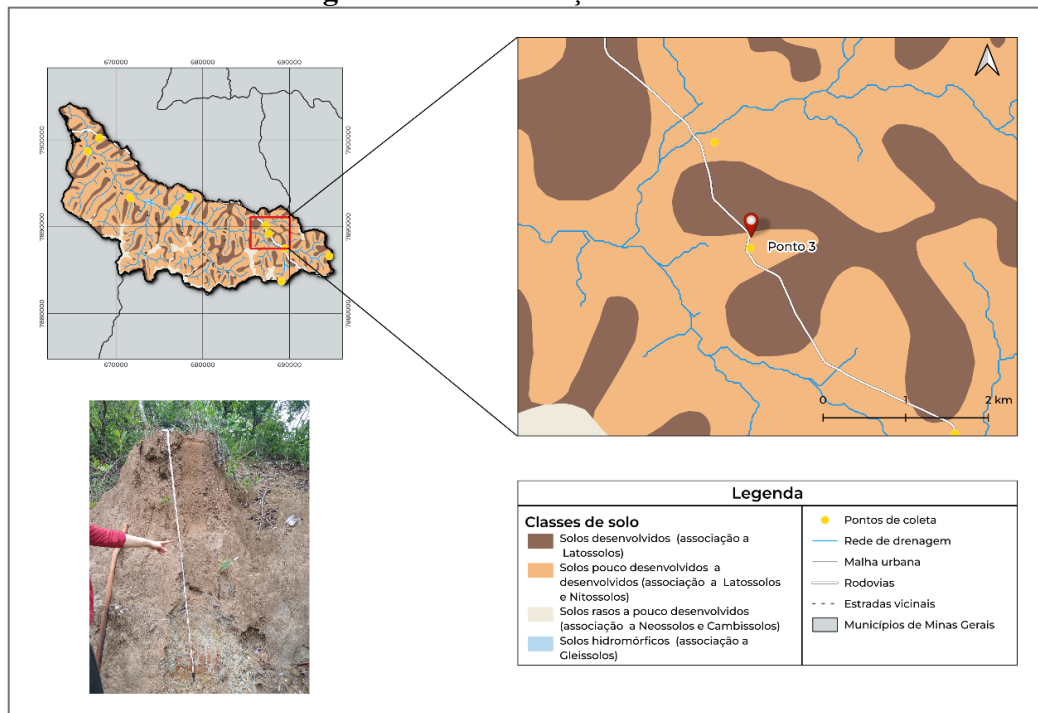
Amostras	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	309	487
A2	227	556
A3	287	485

Organizado pela autora (2025)

Essa predominância de areia, principalmente da área fina, está associada à maior permeabilidade do solo e à menor capacidade de retenção de água e nutrientes, refletindo um ambiente de maior lixiviação e intensa atuação dos processos pedogenéticos típicos de áreas bem drenadas e com relevo suave.

- *Ponto 3*

O ponto 3 está situado em uma área de fundo de vale, caracterizada por declividades inferiores a 3% e altitude aproximada de 623 metros (Figura 21), sustentados por Arenito da Formação Vale do Rio do Peixe.

Figura 21 – Localização do Ponto 3

Elaborado pela autora (2026)

A cobertura vegetal é composta por espécies arbóreas de médio a grande porte, características de mata ciliar. Além disso, observa-se a presença de um pequeno curso d'água aflorando nas proximidades, em transição com um ponto de relevo mais elevado (Figura 22).

Figura 22 – Curso d'água de primeira ordem aflorando próximo a área de coleta do Ponto 3

Fonte: Alves (2025)

No ponto 3, foi identificada a presença de solos com características hidromórficas, classificados como Gleissolos Háplicos, conforme classificação de Calderano Filho *et al.* (1999). Esse tipo de solo apresenta horizonte glei, sendo caracterizado pela redução do ferro,

evidenciando cores neutras e acinzentadas com presença de mosqueados com cores mais vivas, fortemente influenciado pelo lençol freático (Santos *et al.*, 2025).

A abertura do perfil revelou seis horizontes: dois horizontes A (A1 e A2), um horizonte transicional A/C e três horizontes C (C1, C2 e C3) com presença de mosqueados. Essa sequência evidencia um solo mal drenado, típico de ambientes sujeitos a saturação hídrica, que permanecem parcial ou totalmente alagados em determinadas épocas do ano.

A análise textural das amostras coletadas indicou o predomínio da fração areia em todos os horizontes do perfil pedológico, contudo observou-se um aumento da fração silte nos horizontes mais profundos. Essa combinação resultou na classificação textural franco arenosa nas amostras (Quadro 7).

Quadro 7 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 3

Horizontes				A1	A2	A/C
Profundidade				0-20cm	21-40cm	41-78cm
Características morfológicas				Marrom (7,5YR 4/3); transição difusa; ligeiramente plástica; blocos angulares e subangulares; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.	Marrom claro (7,5YR 6/3); transição difusa; ligeiramente plástica; blocos angulares e subangulares; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido muito friável.	Cinza claro avermelhado (2,5YR 7/1); mosqueado comum pequeno e proeminente vermelho (2,5YR 5/8); transição difusa; plástica; blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido muito friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	751	795	788	
	Argila		193	160	153	
	Silte		56	45	59	
	Classe textural		Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	
Horizontes				C1	C2	C3
Profundidade				78-106cm	106-141cm	141-170cm+
Características morfológicas				Cinza claro avermelhado (2,5YR 7/1); mosqueado comum pequeno e proeminente vermelho (2,5YR 5/8); transição gradual; plástica; blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido friável.	Cinza claro rosado (5YR 7/2); mosqueado abundante médio e proeminente vermelho (2,5YR 5/8); amarelo claro (5YR 6/8); transição gradual; muito plástica; blocos angulares e subangulares; pouco poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco muito dura; consistência em solo úmido firme.	Cinza claro rosado (5YR 7/2); mosqueado abundante médio e proeminente vermelho (2,5YR 5/8); amarelo claro (5YR 6/8); vermelho claro (2,5YR 6/8) transição clara; muito plástica; blocos angulares e subangulares; pouco poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco extremamente dura; consistência em solo úmido muito firme.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	759	601	678	
	Argila		160	127	107	
	Silte		81	272	215	
	Classe textural		Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	

Fonte: Acervo laboratório PEDOGEO (2021). Organizado pela autora (2025)

Foram observadas raízes finas em todos os horizontes, com maior concentração nas camadas superficiais, onde o solo se apresenta mais poroso e friável. Nos horizontes

subsuperficiais (C1 e C2), verificou-se também a presença de linhas de pedra (*stone line*), sendo essa característica mais evidente no horizonte C2 (Figura 23).

Figura 23 – Linhas de pedra identificadas nos horizontes subsuperficiais



Fonte: Alves (2021)

As linhas de pedra são constituídas por fragmentos minerais, principalmente quartzo, podem apresentar naturezas e origens bastante variadas. As hipóteses sobre a origem das linhas de pedra são geralmente agrupadas em duas categorias principais: autóctones e alóctones. O termo autóctone refere-se às formações que têm origem local, desenvolvendo-se a partir do próprio material de origem, enquanto o termo alóctone designa aquelas em que o material foi transportado por longas distâncias, indicando processos deposicionais externos à área de ocorrência (Santos *et al.*, 2010).

No Ponto 3, a ocorrência de linhas de pedra parece estar associada a processos pedogenéticos *in situ*, considerando sua vinculação ao horizonte C, que preserva características mais próximas ao material de origem por apresentar menor grau de intemperismo.

Conforme discutido por Santos *et al.* (2010), diferentes hipóteses podem explicar a gênese dessas feições, incluindo a migração vertical de fragmentos de maior granulometria ao longo do perfil, o coluvionamento, o intemperismo residual, o desenvolvimento local em oscilações climáticas, dentre outras. Para o contexto analisado, a hipótese mais plausível relaciona-se à alternância de períodos climáticos contrastantes, com fases mais secas predominando sobre as úmidas. Nessas condições, os veios de quartzo presentes no substrato teriam sido retrabalhados sob ambiente mais árido. Contudo, a confirmação dessa interpretação demanda estudos específicos dessa temática.

Os resultados do fracionamento das amostras de areia são apresentados na Tabela 14, evidenciando, mais uma vez, a predominância da fração areia fina em relação a areia grossa.

Tabela 14 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 3

Horizontes	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	155	596
A2	218	577
A/C	220	573
C1	237	522
C2	100	501
C3	145	533

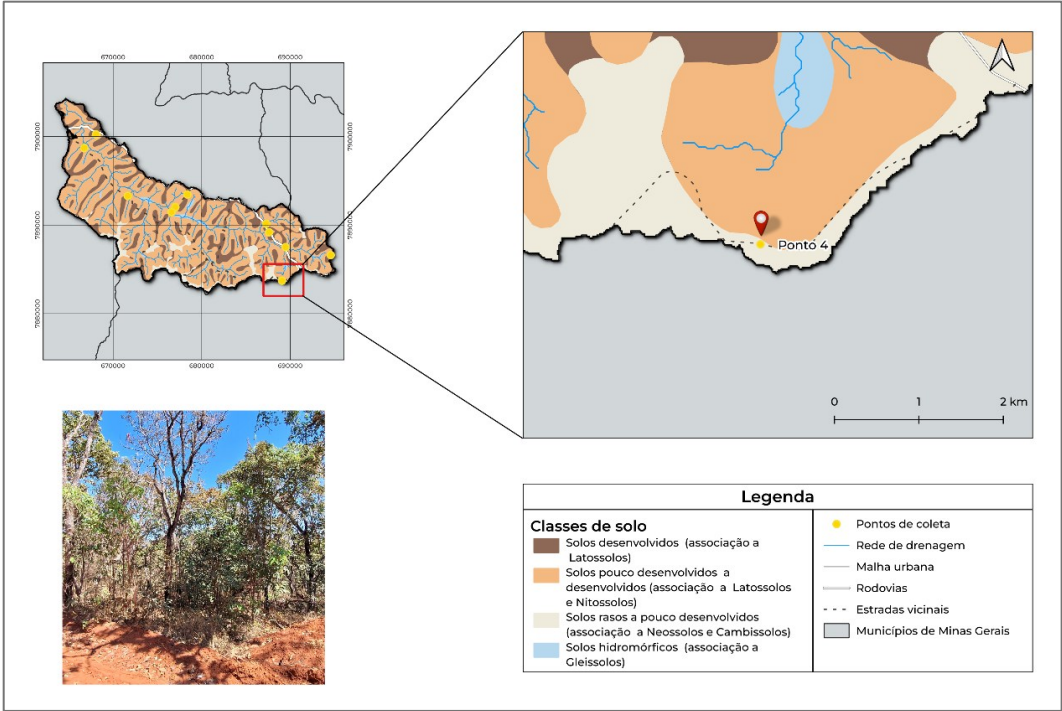
Organizado pela autora (2025)

A predominância das frações de areia mais fina é uma característica típica dos arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe, os quais se originam de antigos lençóis de areia e pequenas dunas eólicas pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná.

• *Ponto 4*

O Ponto 4 está localizado na área de topo de um relevo residual (Figura 24), apresentando declividades que variam de 3% na porção superior até cerca de 50% nas vertentes, caracterizando um relevo forte ondulado, com altitude de 750 metros.

Figura 24 – Localização do Ponto 4

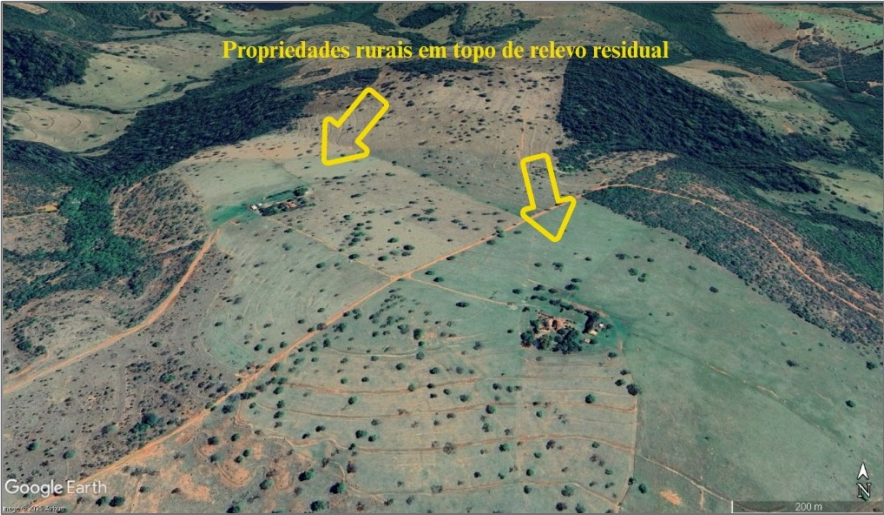


Elaborado pela autora (2026)

Os relevos residuais são compostos por arenitos da Formação Marília, mais resistentes ao processo de intemperismo devido a sua cimentação. A cobertura vegetal é composta por trechos de mata fechada com árvores de médio porte intercalados com áreas de vegetação rasteira.

Nas porções de topo mais amplas dos relevos residuais tabuliformes, observa-se a presença de propriedades rurais destinadas principalmente a pequenas atividades agropecuárias, o que contribui para a fragmentação da vegetação nativa (Figura 25).

Figura 25 – Propriedades rurais em área de topo de relevo residual próximas do Ponto 4



Fonte: Google Earth Pró (2025)

Devido à dificuldade de abertura de um perfil completo de solo, optou-se pela utilização do trado holandês para a coleta das amostras. Foram coletadas duas amostras correspondentes aos horizontes superficiais (A1 e A2), cada uma com 10 cm de espessura, totalizando 20 cm de profundidade. A análise textural das amostras revelou predominância da fração areia, resultando na classificação textural como areia franca (Quadro 8).

Quadro 8 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 4

Amostras			A1	A2
Profundidade			0-10cm	11-20cm
Características morfológicas			Vermelho escuro (2,5YR 3/6); não plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido muito friável.	Vermelho escuro (2,5YR 3/6); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	838	840
	Argila		111	113
	Silte		51	47
	Classe textural		Areia franca	Areia franca

Organizado pela autora (2025)

Observou-se também, nesse ponto, a presença significativa de cascalhos e fragmentos de rocha na superfície do solo. Em estudo realizado nos relevos residuais da mesma área, Silva

(2014) identificou valores de estabilidade de agregados de aproximadamente 64,73%, percentual considerado relativamente baixo.

Esse valor é compatível com solos derivados de arenitos da Formação Marília e com textura de areia franca, uma vez que esses materiais tendem a apresentar menor coesão estrutural e maior suscetibilidade à desagregação quando submetidos à ação da água. Nessas condições, durante eventos chuvosos, os agregados do solo podem se romper com maior facilidade, favorecendo o transporte de partículas finas pelo escoamento superficial (Silva, 2014).

Os resultados do fracionamento da areia, apresentados na Tabela 15, indicam que a fração de areia fina predomina em todas as amostras analisadas. No entanto, observa-se também uma proporção considerável de areia grossa.

Tabela 15 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 4

Amostras	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	384	458
A2	391	449

Organizado pela autora (2025)

A partir da observação de um corte na encosta do relevo residual feito para a abertura de uma estrada rural, foi possível identificar um solo com certo grau de desenvolvimento, apresentando horizonte C que preserva características do material de origem (Figura 26)⁴⁵.

Figura 26 – Corte na encosta próximo ao Ponto 4



Fonte: Alves (2025)

⁴⁵ A coleta de amostras não foi efetuada nesse ponto em razão da elevada altura e da instabilidade do terreno, optando-se pela utilização de trado em local próximo que oferecia melhores condições de segurança.

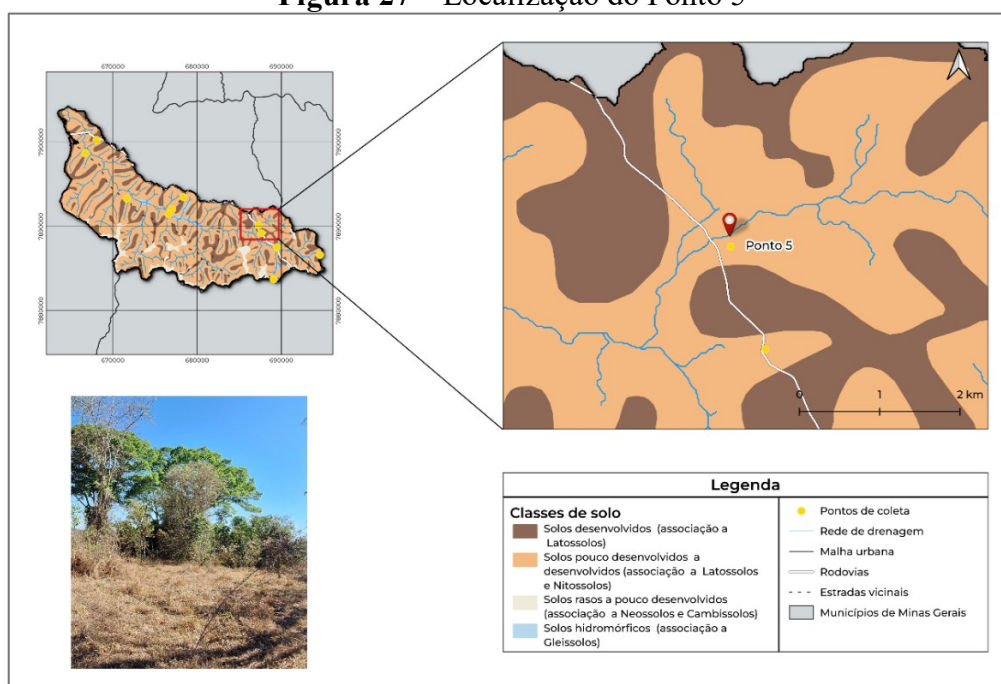
Na superfície da estrada, notam-se abundantes cascalhos e fragmentos de rocha, transportados pelo escoamento superficial. Essas evidências indicam que o solo dessa área possivelmente pertence à classe dos Cambissolos, uma vez que suas características morfológicas se assemelham às dos Latossolos, embora apresentem menor grau de evolução.

Associado a essa classe, verificou-se que o solo no ponto de coleta é compatível com a classe dos Neossolos Litólicos, em função do baixo grau de desenvolvimento pedogenético, conforme indicado por Calderano Filho *et al.* (1999) e Silva (2014), além das evidências obtidas em campo. Durante a tradagem, constatou-se a impossibilidade de aprofundar a coleta além de 30 cm⁴⁶, em razão da presença de fragmentos de rocha do material de origem próximo à superfície.

- *Ponto 5*

O Ponto 5 está situado na média vertente, apresentando morfologia retilínea, declividade suave ondulada com aproximada de 8% e altitude de 639 metros, assentados em arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe. A cobertura vegetal é heterogênea, incluindo trechos com árvores de médio a grande porte intercalados com vegetação rasteira. Nas proximidades do local de coleta, observa-se uma área de solo exposto, evidenciando a influência de atividades antrópicas (Figura 27).

Figura 27 – Localização do Ponto 5



Elaborado pela autora (2026)

⁴⁶ Foram tradados apenas 20 centímetros como descrito na metodologia.

A análise textural do Ponto 5 evidenciou o predomínio da fração areia em todas as amostras (A1 e A2) coletadas por meio do trado holandês. Com base nas observações morfológicas e nos resultados granulométricos (Quadro 9), e a partir da comparação com outros pontos onde foi realizada a abertura de perfil, verificou-se que o solo apresenta características compatíveis com a classe dos Latossolos Vermelhos, que predominam ao longo de toda a bacia.

Quadro 9 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 5

Amostras			A1	A2
Profundidade			0-10cm	11-20cm
Características morfológicas			Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/4); não plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.	Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/4); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	796	743
	Argila		180	233
	Silte		24	24
	Classe textural		Franco arenosa	Franco argiloso-arenoso

Organizado pela autora (2025)

Observou-se que o solo exposto apresentava estrutura em blocos angulares e subangulares, o que sugere que o solo no ponto de coleta possua características estruturais semelhantes. No entanto, optou-se por não realizar a amostragem diretamente nessa área, uma vez que o solo havia sido remexido, o que poderia comprometer os resultados das análises morfológicas e granulométricas.

Os resultados do fracionamento da areia, apresentados na Tabela 16, demonstram que, assim como nas amostras anteriores, a fração de areia fina é predominante em todas as amostras analisadas, com uma diferença elevada em comparação com a fração de areia grossa.

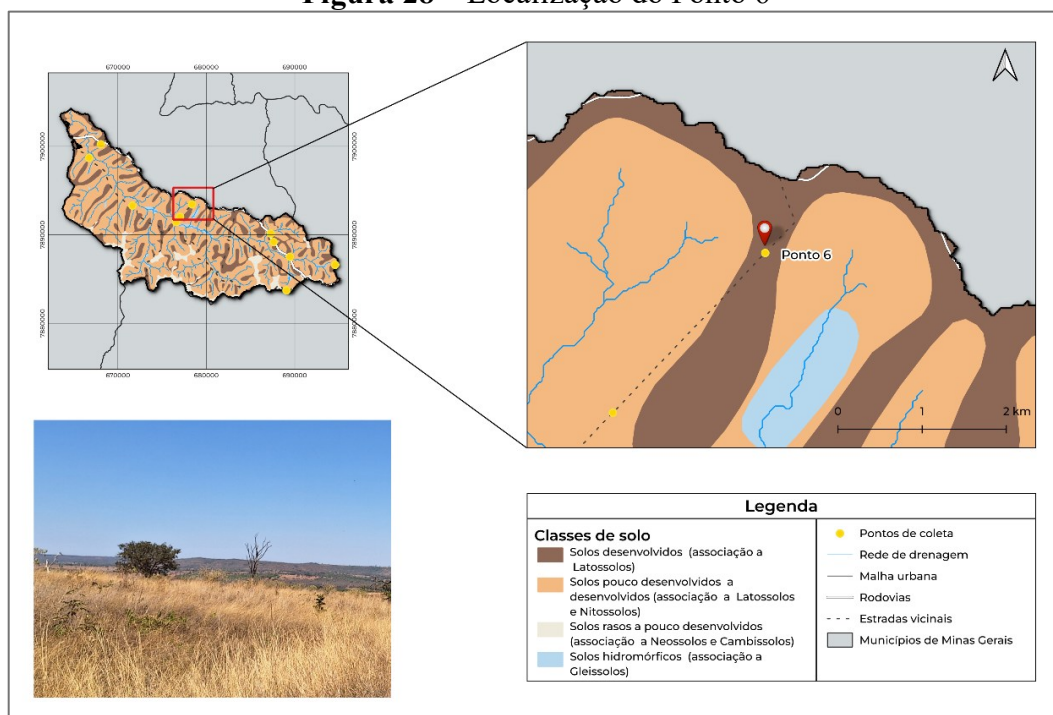
Tabela 16 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 5

Amostras	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	170	626
A2	157	586

Organizado pela autora (2025)

- *Ponto 6*

O Ponto 6 está situado na área de topo das colinas suavemente onduladas (Figura 28), com declividade aproximada de 3% e altitude de 673 metros, provenientes de arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe. A cobertura vegetal é formada predominantemente por gramíneas, intercaladas com árvores de médio porte.

Figura 28 – Localização do Ponto 6

Elaborado pela autora (2026)

A análise textural do Ponto 6 evidenciou o predomínio da fração areia em todas as amostras coletadas (A1 e A2), obtidas com o uso do trado holandês. Os resultados granulométricos (Quadro 10) indicam o enquadramento na classe textural franco-arenosa. Essa condição textural está associada à menor coesão entre as partículas e à maior susceptibilidade ao desprendimento, o que pode favorecer a atuação dos processos erosivos.

Quadro 10 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 6

Amostras			A1	A2
Profundidade			0-10cm	11-20cm
Características morfológicas			Vermelho escuro (2,5YR 3/6); não plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.	Vermelho (2,5YR 4/6); não plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	741	744
	Argila		173	187
	Silte		86	70
	Classe textural		Franco arenosa	Franco arenosa

Organizado pela autora (2025)

Os resultados do fracionamento da areia nas amostras dos horizontes superficiais, apresentados na Tabela 17, mostram a predominância da fração de areia fina em todas as amostras analisadas, com valores expressivos que indicam um grau mais avançado de desenvolvimento pedológico, associando-se aos Latossolos Vermelhos.

Tabela 17 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 6

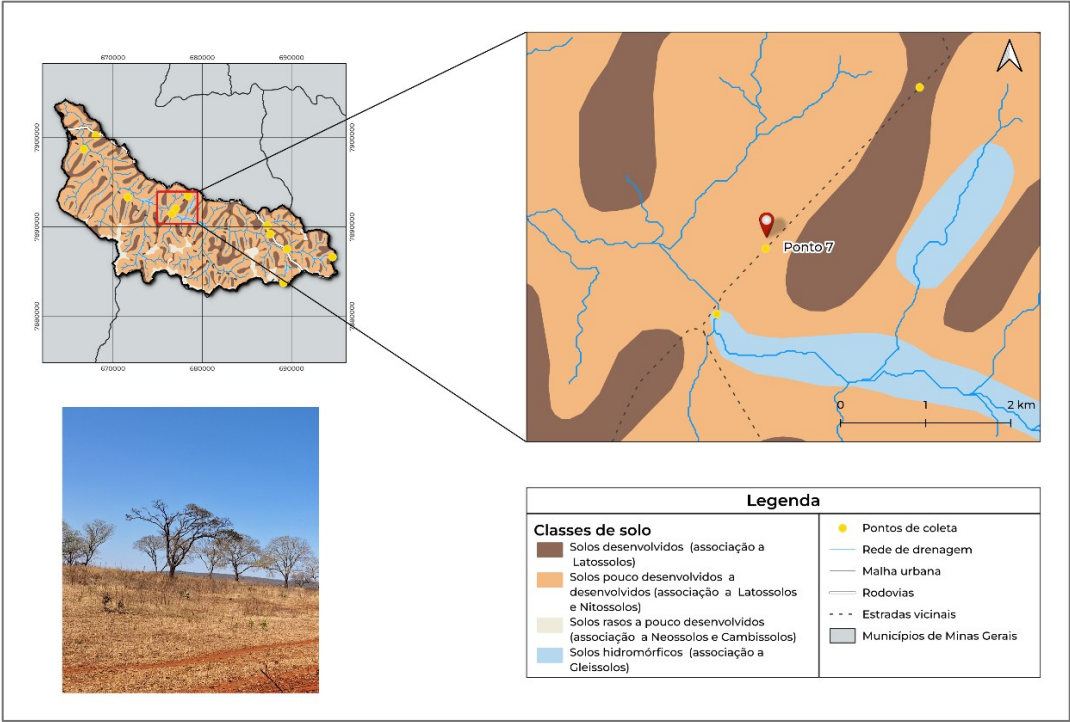
Amostras	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	172	569
A2	193	551

Organizado pela autora (2025)

• *Ponto 7*

O Ponto 7 está situado em uma vertente de morfologia retilínea (Figura 29), posicionando-se um pouco abaixo do Ponto 6. O relevo é classificado como suave ondulado, com declividade aproximada de 4% e altitude de 662 metros. A litologia, assim como no Ponto 6, corresponde aos arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe.

Figura 29 – Localização do Ponto 7



Elaborado pela autora (2026)

A cobertura vegetal, semelhante à observada no Ponto 6, é composta predominantemente por gramíneas intercaladas com árvores de médio porte, caracterizando uma área utilizada para atividades agropecuárias.

A análise textural do Ponto 7 indicou certa semelhança com os resultados apresentados no ponto 6, com o predomínio da fração areia em todas as amostras (A1 e A2) coletadas com o uso do trado holandês. De acordo com os resultados da análise granulométrica (Quadro 11), a amostra apresenta textura de areia franca a amostra A1 e franco-arenosa na amostra A2 (assim como observado no Ponto 6). Neste sentido, observa-se maior concentração de areia e leve

plasticidade na amostra, indicando um acúmulo desse material na superfície e uma redução da fração silte em comparação à amostra coletada no Ponto 6.

Quadro 11 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 7

Amostras			A1	A2
Profundidade			0-10cm	11-20cm
Características morfológicas			Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/4); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido friável.	Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/4); ligeiramente plástica; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	791	764
	Argila		180	193
	Silte		29	43
	Classe textural		Areia franca	Franco arenosa

Organizado pela autora (2025)

Os resultados do fracionamento da areia nas amostras dos horizontes superficiais, podem ser observados na Tabela 18.

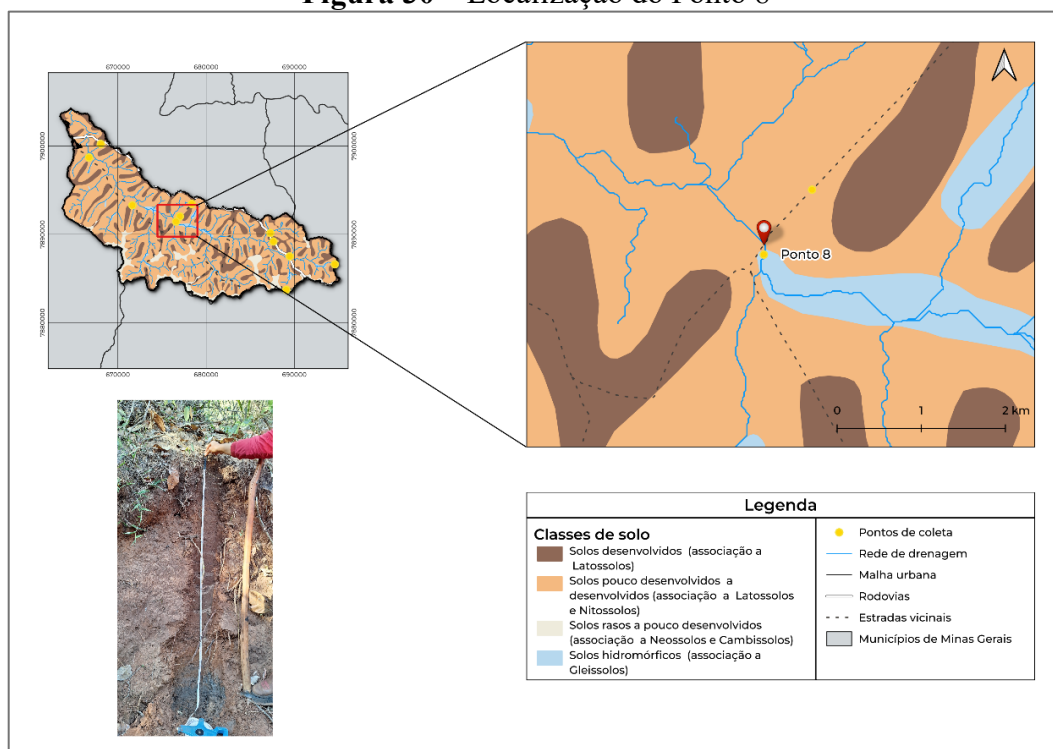
Tabela 18 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 7

Amostras	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	127	665
A2	108	656

Organizado pela autora (2025)

- *Ponto 8*

O Ponto 8 está localizado em uma área plana de fundo de vale, com declividade inferior a 3% e altitude aproximada de 583 metros (Figura 30). A litologia desse ponto refere-se aos basaltos da Formação Serra Geral, provenientes de derrames basálticos que ocorreram na região. A cobertura vegetal é composta por árvores de médio a grande porte, típicas de mata ciliar, evidenciando a preservação da vegetação local.

Figura 30 – Localização do Ponto 8

Elaborado pela autora (2026)

A área encontra-se próxima a uma planície aluvial e possui um curso d'água logo a frente (Figura 31), fator que influencia diretamente nas condições de umidade do solo, favorecendo a evolução de solos hidromórficos. Essas condições são propícias para processos de redução do ferro, resultando na formação de mosqueados característicos de Gleissolos.

Figura 31 – Curso d'água próximo ao Ponto 8

Fonte: Alves (2025)

A abertura do perfil permitiu a identificação de sete horizontes, sendo dois horizontes superficiais (A1 e A2), um horizonte transicional (A/B), um horizonte B, um horizonte de transição mais profunda (B/C) e dois horizontes C (C1 e C2). Essa sequência, juntamente com

as características locais, indica um solo com drenagem deficiente, característico de ambientes sujeitos à saturação hídrica, que podem permanecer parcial ou totalmente alagados nos horizontes mais profundos.

A análise textural evidenciou o predomínio da fração areia em todos os horizontes do perfil. No entanto, observou-se que no horizonte A1 o teor de areia é mais elevado, resultando em textura classificada como areia franca. Já nos horizontes subsuperficiais, há um leve aumento da fração argila, refletido na textura franco argilo-arenosa (Quadro 12).

Quadro 12 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 8.

Horizontes			A1	A2	A/B	B		
Profundidade			0-10cm	11-30cm	31-60cm	61-85cm		
Características morfológicas			Marrom (7,5YR 4/3); transição clara; não plástica, blocos angulares e subangulares; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco solta; consistência em solo úmido solta.	Marrom muito escuro (7,5YR 2,5/3); transição clara; não plástica, blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.	Marrom muito escuro (7,5YR 2,5/3); transição gradual; ligeiramente plástica, blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.	Marrom escuro (7,5YR 3/3); transição difusa; ligeiramente plástica, blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.		
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	842	811	735	748		
	Argila		140	160	213	207		
	Silte		18	29	52	45		
	Classe textural		Areia franca	Franco arenosa	Franco argilo-arenosa	Franco argilo-arenosa		
Horizontes			B/C		C1		C2	
Profundidade			86-111cm		112-138cm		139-150cm+	
Características morfológicas			Marrom escuro (7,5YR 3/4); mosqueado comum pequeno e proeminente amarelo avermelhado (5YR 7/8); transição difusa; plástica; poros comuns; blocos angulares e subangulares; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.	Marrom (7,5YR 4/4); mosqueado abundante médio e proeminente amarelo avermelhado (5YR 7/8); branco rosado (2,5YR 8/2); transição gradual; plástica; blocos angulares e subangulares; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco muito dura; consistência em solo úmido friável.	Cinza muito escuro (7,5YR 3/1); mosqueado abundante médio e proeminente amarelo avermelhado (5YR 7/8); branco rosado (2,5YR 8/2); transição clara; plástica, blocos angulares e subangulares; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.			
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	721	735	725			
	Argila		220	213	227			
	Silte		59	52	48			
	Classe textural		Franco argilo-arenosa	Franco argilo-arenosa	Franco argilo-arenosa			

Organizado pela autora (2025)

Foram identificadas raízes em todos os horizontes do perfil, com maior concentração nas camadas superficiais, onde o solo apresenta maior porosidade e friabilidade, favorecendo o desenvolvimento radicular. Além disso, no horizonte B/C foram observados vestígios de queimadas, possivelmente resultantes de práticas antrópicas anteriores ou de eventos naturais que podem ocorrer em áreas de Cerrado.

Os resultados do fracionamento da areia dos horizontes do perfil de solo, apresentados na Tabela 19, indicam a predominância da fração de areia fina, principalmente nos horizontes superficiais. Por sua vez, nos horizontes subsuperficiais, observa-se um aumento gradual na

proporção de areia grossa, o que pode indicar que o acúmulo de areia fina nas camadas superficiais resulta de deposições mais recentes, possivelmente provenientes de áreas adjacentes, devido a processos erosivos em pontos mais elevados.

Tabela 19 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 8.

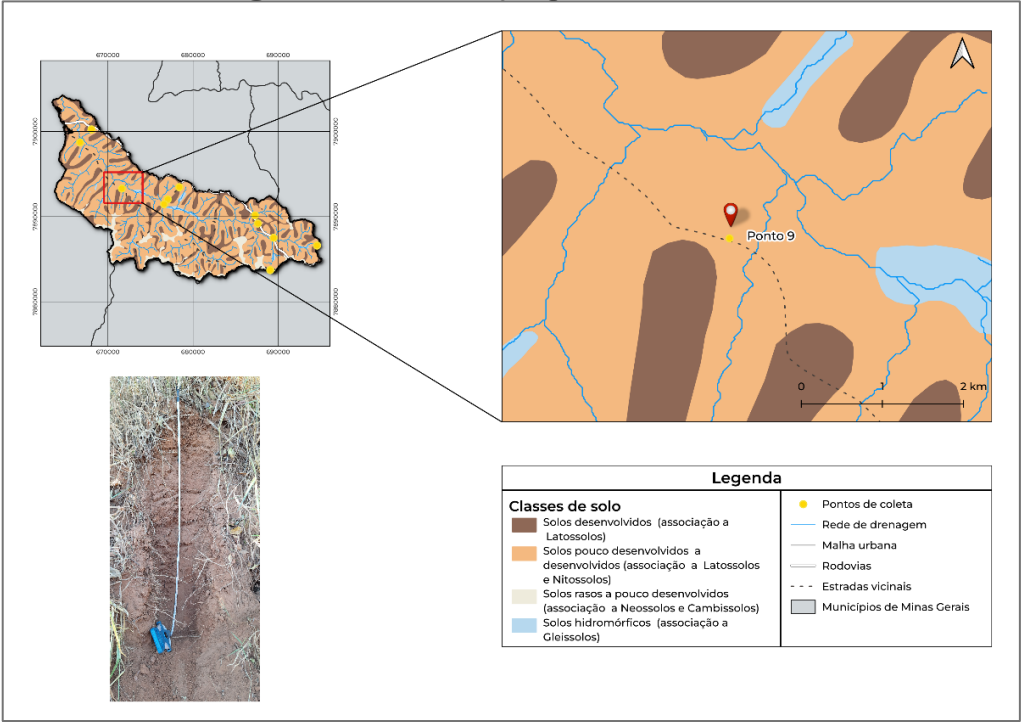
Horizontes	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	240	602
A2	129	628
A/B	244	492
B	360	388
B/C	357	364
C1	356	379
C2	400	325

Organizado pela autora (2025)

• *Ponto 9*

O Ponto 9 está situado em uma área de vertente de morfologia retilínea, em um corte de estrada rural. O terreno apresenta declividade em torno de 5% e altitude aproximada de 593 metros (Figura 32), em relevo suave ondulado com litologia ligada a arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe. A cobertura vegetal é composta por uma savana aberta, com predominância de gramíneas e árvores de médio porte, distribuídas de forma espaçada, características de áreas de pastagem.

Figura 32 – Localização próxima ao Ponto 9



Elaborado pela autora (2026)

No Ponto 9, foi identificada a presença de solos bem desenvolvidos, possivelmente pertencentes à classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos, em razão da matiz de cor observada no perfil. A abertura do perfil revelou seis horizontes, sendo dois horizontes superficiais (A1 e A2), um horizonte transicional (A/B) e três horizontes subsuperficiais (B1, B2 e B3), evidenciando um avançado estágio pedogenético (Quadro 13).

Quadro 13 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 9

Horizontes				A1	A2	A/B
Profundidade				0-30cm	31-55cm	56-75cm
Características morfológicas				Castanho avermelado (5YR 4/4); transição difusa; ligeiramente plástica; blocos angulares e subangulares; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco macia; consistência em solo úmido muito friável.	Vermelho amarelado (5YR 4/6); transição difusa; ligeiramente plástica; blocos angulares e subangulares; muito poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido friável.	Vermelho amarelado (5YR 5/6); transição difusa; ligeiramente plástica; blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido firme.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	426	788	659	
	Argila		100	73	127	
	Silte		474	139	214	
	Classe textural		Franca	Areia franca	Franco arenosa	
Horizontes				B1	B2	B3
Profundidade				75-90cm	90-110cm	111-140cm+
Características morfológicas				Vermelho amarelado (5YR 4/6); transição difusa; plástica; blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido friável.	Vermelho amarelado (5YR 4/6); transição difusa; plástica; blocos angulares e subangulares; pouco poroso; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.	Vermelho amarelado (5YR 4/6); transição difusa; plástica; blocos angulares e subangulares; poros comuns; pouca cerosidade com grau de desenvolvimento fraco; consistência em solo seco dura; consistência em solo úmido friável.
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	636	625	644	
	Argila		153	194	200	
	Silte		211	181	156	
	Classe textural		Franco arenosa	Franco arenosa	Franco argilo-arenosa	

Organizado pela autora (2025)

Observou-se a presença de raízes ao longo de todo o perfil, com maior concentração nos horizontes superficiais. Além disso, levanta-se a hipótese de que o horizonte A1 tenha sido revolvido ou alterado, em decorrência da abertura da estrada rural, uma vez que a análise granulométrica apresentou um valor muito elevado para a fração silte, que não corrobora com os demais horizontes do perfil.

No corte da estrada, próximo ao ponto de coleta, observou-se a ocorrência de material argiloso na superfície (Figura 33), característica típica de solos de textura mais fina. Contudo, a análise granulométrica indicou maior concentração de silte em relação à argila em grande parte dos horizontes. Esse acúmulo superficial pode estar associado ao revolvimento do solo,

que expôs horizontes mais profundos com maior teor de argila, promovendo sua deposição na camada superficial.

Figura 33 – Argila em superfície próximo ao Ponto 9



Fonte: Alves (2025)

Os resultados do fracionamento da areia dos horizontes do perfil de solo, como nos outros pontos, evidenciaram um acúmulo maior de areia fina em comparação a areia grossa, podem ser observados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados do fracionamento da areia dos horizontes do Ponto 9.

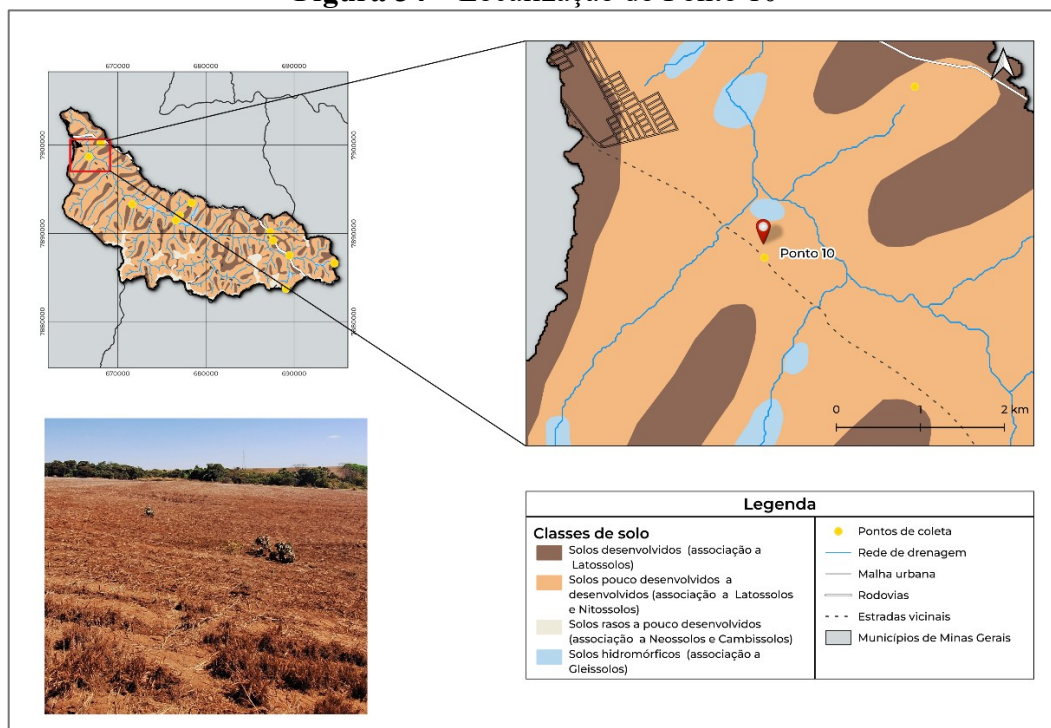
Horizontes	Areia Grossa	Areia Fina
	g/kg ⁻¹	
A1	53	374
A2	159	629
A/B	167	492
B1	117	519
B2	115	510
B3	163	481

Organizado pela autora (2025)

- *Ponto 10*

O Ponto 10 encontra-se em uma área de média vertente com morfologia retilínea, em um local de uso agrícola⁴⁷. O terreno apresenta declividade aproximada de 5%, em relevo suave ondulado e altitude em torno de 565 metros (Figura 34). A litologia corresponde a basaltos da Formação Serra Geral, conforme mapeamento da litologia feito pela CODEMIG (2017), coerente com sua posição no baixo curso da bacia, onde há maior predominância dessa litologia.

Figura 34 – Localização do Ponto 10



Elaborado pela autora (2026)

Utilizando o trado holandês, foi coletada uma amostra do horizonte superficial a uma profundidade de 10 cm⁴⁸. A análise textural indicou a classe franco argilo-arenosa (Quadro 14), resultado do elevado percentual de argila e silte, embora a fração areia ainda se mantenha predominante.

Quadro 14 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 10.

Amostras	A1	Análise textural		
		Areia	Argila	Silte
Profundidade	0-10cm	g/kg ⁻¹		
Características morfológicas	Marrom avermelhado (2,5YR 3/4); plástica; poros comuns; cerosidade moderada com grau de desenvolvimento comum; consistência em solo seco ligeiramente dura; consistência em solo úmido firme.	519	253	227
		Classe textural		
		Franco argilo-arenosa		

Organizado pela autora (2025).

⁴⁷ No momento da coleta a área estava em processo de rotação de cultura.

⁴⁸ Devido às condições do solo no momento da coleta (bastante seco, duro e compactado em função das práticas agrícolas) não foi possível realizar a coleta de um número maior de amostras.

Em comparação com as demais amostras coletadas em áreas de vertente, esta foi a única que apresentou indícios de cerosidade (Figura 35), característica também observada em pequenos cortes na estrada próximos ao ponto de coleta. Tal evidência pode indicar a presença de Nitossolos Vermelhos, o que corroboraria com o mapeamento de solos de Ituiutaba realizado por Calderano Filho *et al.* (1999), que identificou a ocorrência dessa classe em trechos do Ribeirão São Lourenço. Contudo, para confirmar essa hipótese, é necessária a abertura de um perfil completo, permitindo a análise detalhada dos horizontes.

Figura 35 – Amostra com indicativo de cerosidade no Ponto 10



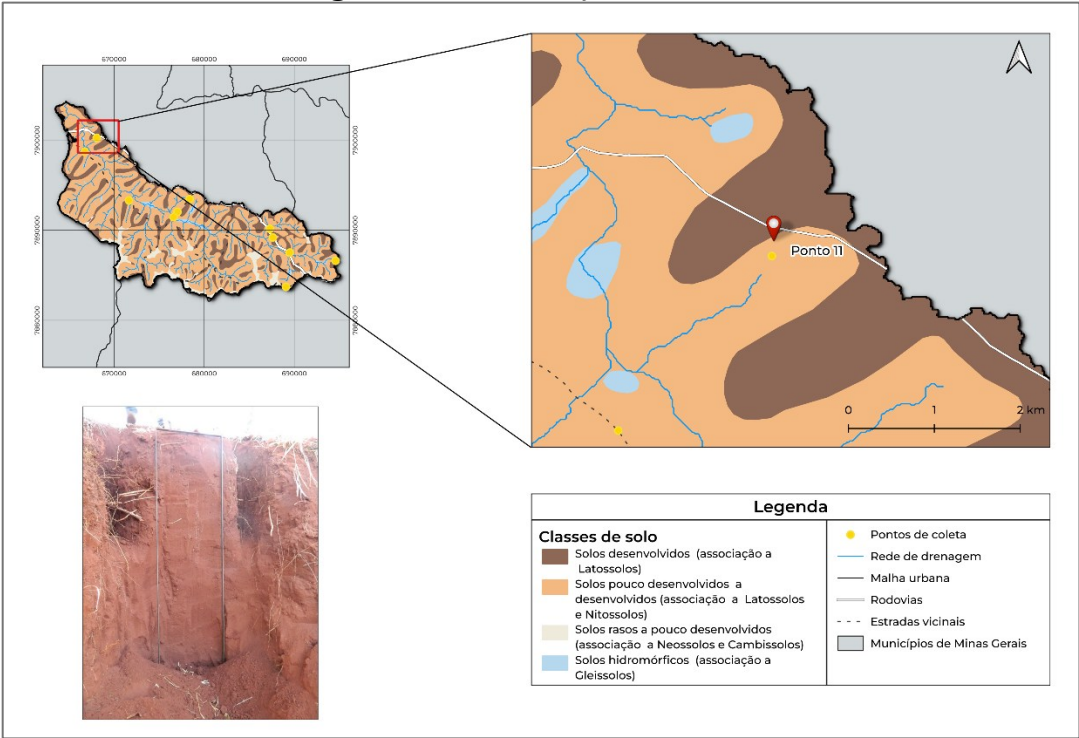
Fonte: Alves (2025)

O fracionamento da areia evidenciou o predomínio da fração areia fina (419 k/kg^{-1}), enquanto a areia grossa apresentou valores de 100 k/kg^{-1} . Esses resultados indicam o avançado grau de intemperismo atuante na área.

- *Ponto 11*

O Ponto 11 está localizado em uma voçoroca situada em uma vertente de morfologia retilínea de relevo suave ondulado, próxima a um dos afluentes do Ribeirão São Lourenço. O terreno apresenta declividade média de aproximadamente 3% e altitude em torno de 604 metros (Figura 36), situado em área de arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe. A cobertura vegetal predominante corresponde a uma savana aberta, com o uso voltado a agropecuária, enquanto nas proximidades do afluente observa-se uma vegetação mais densa, representativa de formações de mata ciliar.

Figura 36 – Localização do Ponto 11



Elaborado pela autora (2026)

Observou-se a ocorrência de raízes finas a médias ao longo de todo o perfil, com maior concentração no horizonte superficial, onde a disponibilidade de matéria orgânica é mais elevada.

No Ponto 11, identificou-se a presença de solos bem desenvolvidos, identificados como Latossolos Vermelhos, em razão da existência de horizonte B latossólico característico. A abertura do perfil revelou três horizontes, sendo um horizonte superficial (A), um horizonte transicional (A/B) e um horizonte subsuperficial (B), evidenciando um avançado estágio pedogenético (Quadro 15).

Quadro 15 – Descrição dos resultados da análise morfológica e textural do Ponto 11

Amostras			A	A/B	B
Profundidade			0-10cm	11-20cm	21-30cm
Características morfológicas ⁴⁹			Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/4)	Marrom avermelhado (2,5YR 2,5/3)	Marrom avermelhado (2,5YR 3/4)
Análise textural	Areia	g/kg ⁻¹	728	706	716
	Argila		232	268	242
	Silte		40	26	42
	Classe textural		Franco argilo-arenosa	Franco argilo-arenosa	Franco argilo-arenosa

Fonte: Acervo laboratório PEDOGEO (2013). Organizado pela autora (2025)

Destaca-se que o uso do solo nesse local sofreu alterações ao longo do tempo. No período de coleta das amostras, a área era destinada à pastagem para atividade pecuária.

⁴⁹ Nas características referentes à análise morfológica, foi apresentada apenas a cor dos horizontes, uma vez que as demais anotações não foram encontradas no acervo do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Pedologia, Geomorfologia e Geografia Física (PEDOGEO), o mesmo acontece em relação ao fracionamento das areias.

Contudo, atualmente, encontra-se ocupada por cultivos agrícolas, com predominância de lavouras temporárias.

Diante disso, observa-se que nas áreas de topo predominam associações com Latossolos Vermelhos. Ao longo das vertentes, ocorrem associações entre Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Nitossolos. Nos relevos residuais, identificou-se a presença de Neossolos Litólitos nas porções de topo e Cambissolos Háplicos nas vertentes mais íngremes, refletindo diferentes estágios de desenvolvimento pedogenético. Por fim, nas áreas sujeitas ao acúmulo temporário de água, foram observados Gleissolos Háplicos, característicos de ambientes hidromórficos.

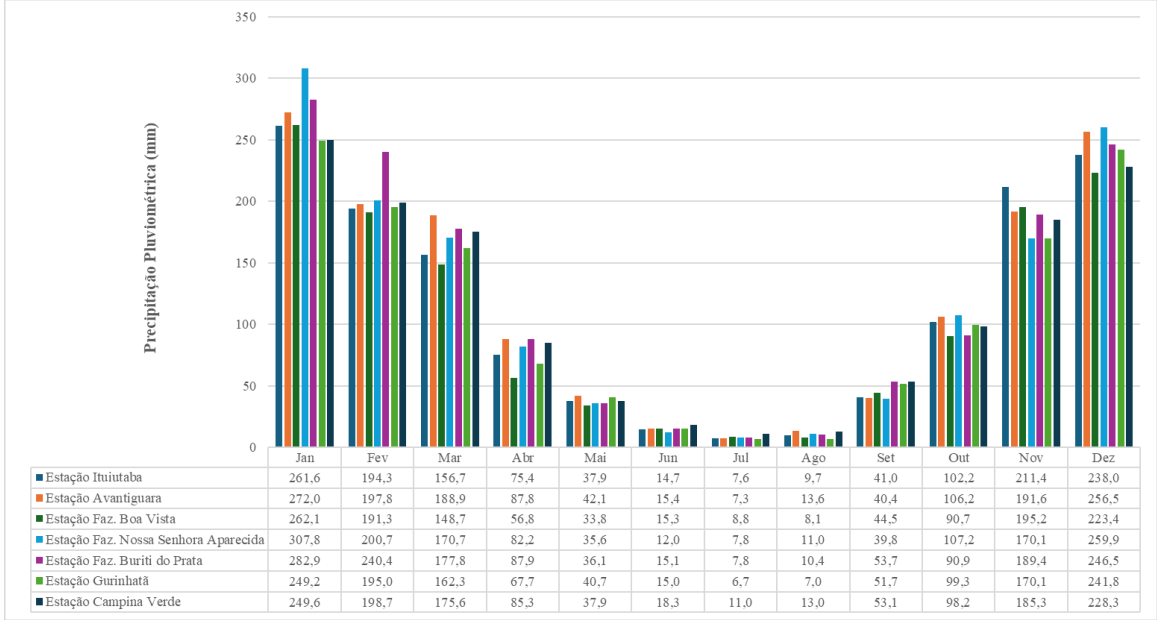
3.5 Precipitação Pluviométrica

A região do Triângulo Mineiro apresenta uma dinâmica atmosférica controlada pela atuação de sistemas de circulação intertropical, resultando em um clima tropical caracterizado por forte sazonalidade, com alternância bem definida entre períodos secos e chuvosos.

A análise das estações pluviométricas indicou que os maiores volumes de precipitação ocorrem entre os meses de outubro e março, o que reflete a sazonalidade típica das regiões tropicais, caracterizadas por duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverso seco. Diante disso, a estação úmida (período chuvoso) contribui com 1169,4 mm (85,69%) de chuva, já a estação seca (período de estiagem) tem um índice de precipitação de 195,2 mm (14,31%).

A precipitação média mensal é de 133,7 mm, sendo que dezembro e janeiro se destacam como os meses mais chuvosos, ultrapassando os 220 mm mensais (Gráfico 1), com a estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida ultrapassando os 300 mm em janeiro. Evidenciando que durante o verão, a precipitação ocorre de forma mais acentuada pelo predomínio das chuvas convectivas, intensas e de curta duração (Pereira, 2014).

Gráfico 1 – Precipitação pluviométrica média mensal



Fonte: ANA (2025). Organizado pela autora (2025)

Dessa forma, verifica-se que o período chuvoso passa a se estabelecer de maneira mais consistente a partir de outubro, quando os totais mensais superam 90 mm. As precipitações intensificam-se em novembro, atingem seus maiores acumulados entre dezembro e janeiro e permanecem elevadas até meados de março, caracterizando a consolidação da estação úmida.

Em contrapartida, entre junho e agosto, os totais mensais de precipitação não ultrapassam 20 mm, evidenciando a consolidação do período seco. Destaca-se que, na estação Gurinhatã, o mês de julho apresenta o menor índice observado, com apenas 6,7 mm. A estação seca passa a se configurar a partir de abril, intensifica-se no trimestre de inverno, quando se registram os menores acumulados mensais, e se estende até setembro.

Conforme discutido anteriormente, o regime pluviométrico da área de estudo caracteriza-se pela concentração das chuvas nos meses de primavera e verão, e por um período de estiagem em outono e inverno. Entretanto, observa-se a ocorrência de variações expressivas nos totais mensais em determinados anos, evidenciando a irregularidade do regime climático.

O mês de janeiro, normalmente identificado como o mais chuvoso, com média de 269,3 mm, apresentou, no ano de 2019, valores significativamente inferiores ao esperado, com apenas 26,4 mm registrados na estação Campina Verde e 48,6 mm na estação Gurinhatã. Esses valores representam menos de 18% da média histórica para o período.

De mesma forma, o mês de julho, normalmente o menos chuvoso, com média de 8,1 mm, apresentou, em determinados anos, totais pluviométricos excepcionalmente elevados. Em 1997, a estação Campina Verde registrou 102,6 mm, enquanto, em 2014, a estação de

Avantiguara registrou 94,1 mm, valores que correspondem a um aumento de aproximadamente 1061% em relação à média esperada para esse mês.

As precipitações médias anuais registradas nas estações variam entre 1.278,3 mm e 1.437,2 mm, com uma média total para todas as estações de 1363,6 mm (Tabela 21).

Tabela 21 – Totais pluviométricos (mm) anuais entre 1993 a 2023

Ano	Ituiutaba	Avantiguara	Faz. Boa Vista	Faz. Nossa Senhora Aparecida	Faz. Buriti do Prata	Gurinhata	Campina Verde	Média
1993	-	1588,5	-	-	1327,2	1554,1	1329,1	1449,7
1994	-	1086,2	-	-	1474,4	1213	1365,4	1284,7
1995	1773,4	1644,8	-	-	1172,5	1506,3	1329,4	1485,2
1996	1408,8	1374,9	1432,7	1167	1427,9	1238,6	1431,1	1354,4
1997	1630,3	1540	1648,7	613,2	1440,9	1362,7	1332,7	1366,9
1998	1575,6	1495,3	1229,7	985,1	1679,5	1292,5	1648,3	1415,1
1999	1147,1	1155,2	976,8	1182,3	1334	1077,6	1061,6	1133,5
2000	1505,8	1530,6	1403,1	1497	1618,1	1635,5	1370,3	1508,6
2001	1319,8	1260,8	1206,6	1495,7	983,9	1052,4	1040,2	1194,2
2002	1065,7	1084,8	1511,9	1167,9	1228,8	1228	1331,5	1231,2
2003	1361	1613,8	1464,5	1515,1	1462,9	1320,6	1259	1428,1
2004	1336	1339	1445,8	1840,4	1698,7	1336	1586,2	1511,7
2005	1384,4	1526,9	1336,2	1599,5	1694,5	1363,8	1290,2	1456,5
2006	1623,5	1732,1	1552	1259,5	1902	1322,6	1503,5	1556,4
2007	1827,1	1302,6	1161,3	1231,1	1373,8	1341,1	1175	1344,5
2008	1544,6	1759	1247,3	2077,9	1802,2	1747,1	1344,3	1646,0
2009	1475,2	1587,7	1421,2	1880,2	1747,8	1842,4	1991,4	1706,5
2010	976,4	1136,5	1131,6	1655,6	1401	1483,4	1240,9	1289,3
2011	1220,4	1398,8	1337,6	1615,9	1841,1	1659,2	1631,1	1529,1
2012	1212	1044,9	1217,7	1242,7	1308,8	1218,7	1427,2	1238,8
2013	1417,7	1543,1	1041,7	1572,4	1649,8	1134,8	1276	1376,5
2014	761,5	1298,3	1063,2	1241	1295,5	963,4	1078,7	1100,2
2015	961,1	1327	1101,7	1610,4	1194	1328,2	981,8	1214,8
2016	1328,6	1427,6	1138	1475,3	1449	1319,8	1483,9	1374,6
2017	1361	1356,5	1461,5	1192,8	1250,5	1127,7	1414,7	1309,2
2018	1397,1	1433,1	1477,8	1327,4	1300,2	1258,4	1330,4	1360,6
2019	1152,5	1228,1	1202,3	1257,4	1317	981,1	1391	1218,4
2020	-	1679,8	974,8	1604,1	1412,7	1099,5	1321,9	1348,8
2021	-	1498,3	1284,1	1233,9	1122,7	1187,3	1013,5	1223,3
2022	-	1459,8	1245,6	1270,8	1034,8	1206,3	1232,7	1241,6
2023	-	1490	1076,5	1495,8	1606	1075,7	1710,5	1409,0
Média	1350,7	1417,5	1278,3	1403,8	1437,2	1305,7	1352,4	1363,6
D.P	247,8	190,3	182,6	290,0	233,0	213,1	212,7	224,2
Cv. (%)	18,3	13,4	14,2	20,6	16,2	16,3	15,7	16,4

Fonte: ANA (2025). Organizado pela autora (2025)

Os valores extremos de precipitação anual foram observados na estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida, com o menor volume registrado em 1997, de apenas 613,2 mm, e o maior em 2008, atingindo 2.077,9 mm, evidenciando uma elevada variabilidade do regime climático na área de estudo.

Para a definição das classes de anos secos, habituais e chuvosos, procedeu-se ao cálculo do desvio-padrão médio da série histórica, obtendo-se o valor de 224,2 mm. A partir da média do período analisado (1363,6 mm), estabeleceu-se o intervalo de normalidade climática por meio da adição e subtração do desvio-padrão.

Dessa forma, o limite superior da faixa considerada habitual foi fixado em 1587,8 mm, sendo classificados como anos chuvosos aqueles com totais pluviométricos superiores a esse valor. Por outro lado, a subtração do desvio-padrão resultou em um limite inferior de 1139,4

mm, a partir do qual os anos com precipitação abaixo desse patamar foram classificados como secos.

Assim, 7,9% dos anos analisados apresentam totais pluviométricos acima da média, sendo classificados como anos chuvosos, enquanto 5,2% registram valores inferiores ao padrão esperado, caracterizando anos secos. Por sua vez, a maior parte dos registros (87,6%) enquadra-se no intervalo de normalidade climática.

Os anos de 2008 e 2009 destacaram-se como os mais chuvosos, com totais anuais de 1.646 mm e 1.706,5 mm, respectivamente. Por outro lado, os anos de 1999 e 2014 apresentaram os menores índices pluviométricos, ambos com volumes inferiores a 1.140 mm. Isso indica uma variabilidade da precipitação anual, com amplitude superior a 500 mm, caracterizada pela alternância entre períodos de maior disponibilidade hídrica e anos de déficit mais acentuado.

Nesse contexto, a estação Fazenda Boa Vista apresentou a menor média anual de precipitação (1.278,3 mm), enquanto a estação Fazenda Buriti do Prata registrou a maior média (1.437,2 mm). Essa diferença evidencia variações significativas na distribuição espacial das chuvas, considerando que a estação Fazenda Boa Vista situa-se a oeste, ao passo que a estação Fazenda Buriti do Prata localiza-se na porção sul da bacia, indicando heterogeneidade pluviométrica associada à posição geográfica das estações.

Isso é reforçado pelos valores de desvios-padrão apresentados na tabela (em geral superiores a 180 mm e chegando a aproximadamente 290 mm em algumas estações) reforçam o elevado grau de dispersão dos dados, reforçando a instabilidade climática ao longo das séries históricas analisadas.

As variações mais significativas observadas nos registros podem ser explicadas por diferentes fatores, além da variabilidade espacial da precipitação entre as localidades, a ocorrência de ciclos climáticos mais secos ou mais úmidos em determinados períodos, possíveis falhas nos registros dos dados ou, ainda, pela combinação desses elementos (Oliveira, 2006).

De modo geral, os coeficientes de variação não indicam diferenças tão expressivas entre as médias anuais de precipitação registradas nas estações analisadas. O maior valor corresponde à Estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida, com 20,6%, enquanto o menor foi observado na Estação Avantiguara, com 13,4%.

Costa e Queiroz (2021), ao analisarem a duração das estações seca e chuvosa no município de Ituiutaba entre 1988 e 2019, identificaram um aumento aproximado de 6,5% no número de dias sem precipitação. Paralelamente, os autores apontam uma tendência de redução da precipitação média anual, especialmente a partir de 2005, associada a maior variabilidade nos totais mensais.

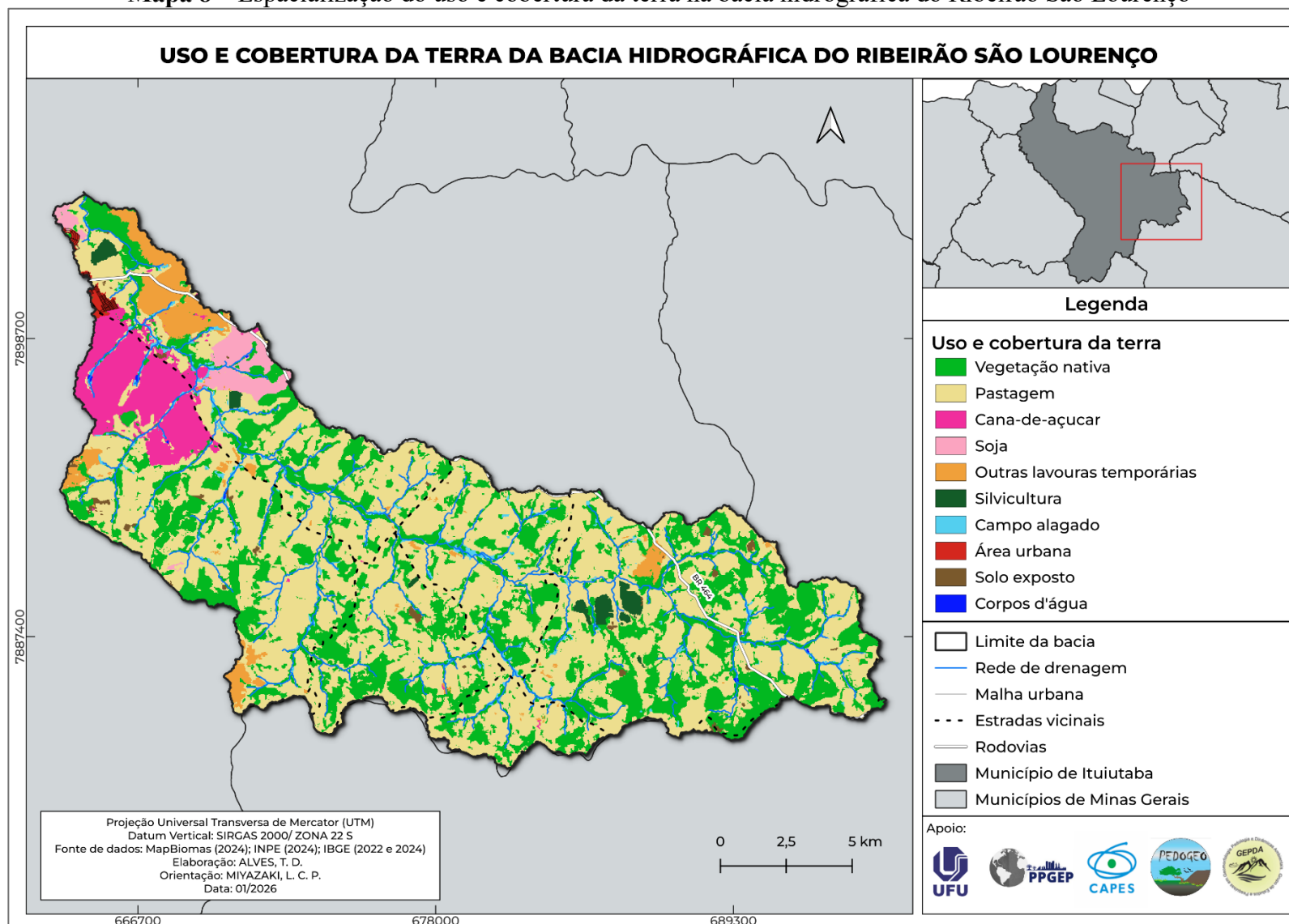
Esse comportamento pode indicar uma possível reconfiguração do regime pluviométrico local, marcada por períodos secos mais prolongados e maior irregularidade anual das chuvas, o que pode repercutir diretamente na dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, influenciando na recarga hídrica, no escoamento superficial e na intensificação de processos erosivos em eventos extremos atrelado ao uso do solo.

3.6 Uso e cobertura da terra

De modo geral, a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço apresenta um padrão de uso e ocupação predominantemente associado às atividades rurais, evidenciado pela presença de áreas destinadas à agropecuária. Entretanto, observa-se também, em determinados locais da bacia, a expansão gradual da malha urbana, indicando um processo de transformação do espaço que tende a modificar a dinâmica de uso ao longo do tempo.

Com o intuito de compreender a distribuição das diferentes classes de uso e cobertura da terra na bacia, foi elaborado um mapa temático a partir da base de dados do MapBiomas e CBERS 4A, disponibilizado pelo INPE (Mapa 8).

Mapa 8 – Espacialização do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: MapBiomass (2024); INPE (2024). Elaborado pela autora (2026)

Ao analisar o uso e a cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, identificaram-se 10 categorias: área urbana, pastagem, vegetação nativa, cana-de-açúcar, soja, outras lavouras temporárias, solo exposto, campo alagado, corpos d’água e silvicultura (Tabela 22), as quais se distribuem ao longo dos 294,11 km² que compõem a área total da bacia.

Tabela 22 – Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Uso e cobertura	Área (km ²)	Área (%)
Pastagem	161,1	54,8
Vegetação nativa	89,6	30,5
Cana-de-açúcar	16,6	5,6
Outras lavouras temporárias	11,2	3,8
Soja	5,3	1,8
Campo alagado	4,5	1,5
Silvicultura	2,8	0,9
Área urbana	1,6	0,5
Solo exposto	1,3	0,4
Corpos d’água	0,3	0,1

Fonte: MapBiomias (2024); INPE (2024). Organizado pela autora (2026)

A classe de uso e cobertura da terra predominante na área de estudo é a pastagem (Figura 37), ocupando aproximadamente 54,8% da área e distribuindo-se de forma abrangente por toda a bacia. Essas áreas são caracterizadas por vegetação rasteira composta por gramíneas, com presença de arbustos e árvores de pequeno porte espaçadas. A maior parte dessas áreas é destinada à atividade pecuária, embora algumas não apresentem, visualmente, um uso claramente definido.

Figura 37 – Área de pastagem observada na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2025)

É importante destacar que embora essa cobertura proporcione alguma proteção superficial ao solo, sua eficiência na contenção de processos erosivos é significativamente inferior à das áreas de vegetação nativa, especialmente quando o manejo é inadequado, sem contar com o uso de práticas conservacionistas.

A segunda classe de maior predominância na área de estudo corresponde à vegetação nativa, que abrange aproximadamente 30,5% da área total da bacia. Essa cobertura é composta por formações florestais e savânicas, refletindo a predominância do bioma Cerrado e sua expressiva heterogeneidade fisionômica.

Grande parte dessa vegetação se concentra nas margens dos cursos d'água (Figura 38) e nas cabeceiras de drenagem, onde exerce funções importantes, como a proteção dos recursos hídricos, a estabilização das vertentes e a manutenção dos processos naturais de escoamento superficial. A presença dessas áreas conservadas é bastante significativa na área de estudo, ainda que os remanescentes de vegetação nativa estejam sob crescente pressão das atividades agropecuárias, o que pode comprometer a continuidade e a integridade desses fragmentos.

Figura 38 – Mata ciliar predominante no curso d'água principal da bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2025)

Alves (2025), ao analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia do Ribeirão São Lourenço entre os anos de 1993 e 2023, identificou um aumento de aproximadamente 18% na vegetação nativa. Esse crescimento pode estar relacionado a diferentes fatores como o abandono de áreas de pastagem, em decorrência da redução da atividade pecuária, o que favoreceu a regeneração natural de trechos antes compostos por mata nativa. Também pode contribuir para esse processo a substituição de grandes propriedades por unidades de agricultura familiar e o possível cumprimento das exigências do Código Florestal Brasileiro, especialmente quanto à proteção de APPs e Reservas Legais, além do reforço na fiscalização ambiental.

As áreas destinadas à agricultura na bacia distribuem-se entre diferentes tipos de cultivo. O plantio de cana-de-açúcar corresponde a aproximadamente 5,6% da área total, enquanto o

cultivo de soja ocupa cerca de 1,8%. Além disso, outras lavouras temporárias abrangem aproximadamente 3,8% da área da bacia (Figura 39).

Figura 39 – Atividades agrícolas observadas na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Plantio de cana-de-açúcar; (B) Cultivo de milho em fase inicial; (C) Plantio de soja



Fonte: Alves (2021; 2025)

A presença dessas atividades agrícolas implica, em muitos casos, na remoção da cobertura vegetal nativa e na modificação das condições superficiais do solo. Essas intervenções podem alterar a estrutura e a proteção natural do solo, favorecendo o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a ocorrência e intensificação de processos erosivos.

Observa-se que, em algumas localidades, são empregadas técnicas mecânicas de conservação do solo, como a construção de terraços em curvas de nível, que contribuem para reduzir o escoamento superficial e conter a formação ou o avanço dos processos erosivos. Essas práticas são importantes pois auxiliam na diminuição da perda de solo e na manutenção da capacidade produtiva, além de favorecer a estabilidade das vertentes e auxiliar na minimização do assoreamento nos cursos d'água.

Os campos alagados correspondem a aproximadamente 1,5% da área total da bacia em estudo (Figura 40). Essas áreas caracterizam-se pela presença de água durante grande parte do ano, resultante de condições de drenagem restrita e do acúmulo de umidade no solo. No bioma Cerrado, esse tipo de ambiente encontra-se frequentemente associado às veredas.

Figura 40 – Campo alagado no médio curso do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2021)

Outro uso observado na bacia do Ribeirão São Lourenço é a silvicultura, que ocupa cerca de 0,9% da bacia, com destaque para o cultivo de eucalipto e seringueira (Figura 41). Essa prática, inexistente na área de estudo até meados de 1993 (Alves, 2025), contribui positivamente para a proteção do solo, uma vez que as copas das árvores interceptam as gotas de chuva, reduzindo seu impacto direto sobre o solo, e suas raízes favorecem a infiltração da água, diminuindo o escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão.

Figura 41 – Plantio de silviculturas na bacia do Ribeirão São Lourenço: (A) Cultivo de eucalipto; (B) Cultivo de seringueira



Fonte: Alves (2021; 2025)

O cultivo de espécies arbóreas, seja em sistemas comerciais ou em plantios de restauração de áreas degradadas, constitui uma prática de manejo sustentável que atua como barreira natural contra a degradação do solo, contribuindo para manutenção da fertilidade e a conservação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

Além de seus benefícios ambientais, a silvicultura desempenha um papel relevante no cenário econômico, considerando que o mercado de produtos madeireiros e não madeireiros apresenta crescimento contínuo (Teixeira; Rodrigues, 2021). Atualmente, cerca de 91% da

madeira utilizada na indústria provém de reflorestamentos, sendo destinada a setores como siderúrgicas, papel e celulose, painéis de madeira e pisos laminados, produtos sólidos de madeira, farmacêuticos, entre outros (IBÁ, 2019).

A área urbana ocupa aproximadamente 0,5% da área total da área de estudo (Figura 42). Observa-se que essa categoria está em processo de expansão, ocupando o baixo curso da bacia, tendo se iniciado a partir de meados de 2011, com a implantação de loteamentos vinculados ao Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida (Fidelis; Miyazaki, 2023). Posteriormente, outros empreendimentos residenciais foram instalados em áreas adjacentes, evidenciando um processo contínuo de expansão urbana na bacia.

Figura 42 – Área urbana na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2025)

Essa ocupação tem gerado alguns impactos socioambientais, como o surgimento de processos erosivos em áreas adjacentes, resultado da concentração do escoamento superficial devido a impermeabilização do solo, bem como o acúmulo de sedimentos e resíduos nos fundos de vale.

A categoria de solos expostos corresponde a aproximadamente 0,4% da área total da bacia (Figura 43). Essa classe representa porções do terreno onde a cobertura vegetal é inexistente ou bastante reduzida, deixando o solo diretamente exposto à ação dos agentes intempéricos.

Figura 43 – Área de solo exposto na bacia do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Alves (2021)

Outro fator que contribui para a exposição do solo ocorre após a colheita, quando o solo é preparado para o novo plantio, permanecendo temporariamente descoberto, o que o torna mais susceptível à ação da chuva. Nessas condições, o escoamento superficial se intensifica, uma vez que o impacto das gotas de chuva, aliado a saturação do solo e ao fluxo concentrado de água, promove a remoção das partículas mais finas, favorecendo a perda das camadas superficiais do solo. Esse processo pode favorecer a formação de sulcos erosivos e contribuir para o transporte de sedimentos para os cursos d'água.

A última classe de uso e cobertura da terra identificada corresponde aos corpos d'água, que ocupam aproximadamente 0,1% da área total da bacia. Esses ambientes estão, em sua maioria, associados à presença de pequenos lagos, represas ou reservatórios distribuídos ao longo da área de estudo. Em muitos casos, esses corpos hídricos estão relacionados tanto a formações naturais quanto a intervenções antrópicas, como barramentos voltados ao armazenamento de água para uso agrícola.

CAPÍTULO 4
DINÂMICA DA PERDA DE SOLOS E SUA RELAÇÃO
COM A APROPRIAÇÃO E OCUPAÇÃO DO RELEVO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO
LOURENÇO

O capítulo sobre a dinâmica da perda de solos e sua relação com a apropriação e ocupação do relevo apresenta uma análise integrada dos principais fatores condicionantes da erosão hídrica na bacia do Ribeirão São Lourenço, considerando tanto os elementos naturais quanto as intervenções antrópicas.

Inicialmente, são discutidos os índices de erosividade das chuvas, destacando a influência da intensidade e da distribuição pluviométrica na desagregação das partículas do solo e no desencadeamento do escoamento superficial. Em seguida, aborda-se a erodibilidade dos solos, enfatizando como as características físicas e químicas dos diferentes tipos de solo condicionam sua maior ou menor suscetibilidade à erosão.

Na sequência, são analisados os fatores topográficos relacionados ao comprimento de rampa e à declividade, uma vez que esses elementos exercem influência direta sobre a velocidade do escoamento superficial e a capacidade de transporte de sedimentos. O capítulo também contempla a análise do uso e manejo da terra e das práticas conservacionistas, evidenciando como as diferentes atividades antrópicas interferem na proteção da cobertura superficial, podendo favorecer a degradação dos solos.

Posteriormente, são apresentadas as estimativas de perdas de solos por erosão laminar, possibilitando a identificação das áreas mais suscetíveis à remoção superficial de partículas de solo e a compreensão da distribuição espacial da degradação dos solos na bacia. Além disso, analisa-se a relação entre a erosão laminar e as erosões lineares, evidenciando como a intensificação do escoamento superficial favorece o desenvolvimento de sulcos, ravinas e voçorocas, ampliando a perda de solos.

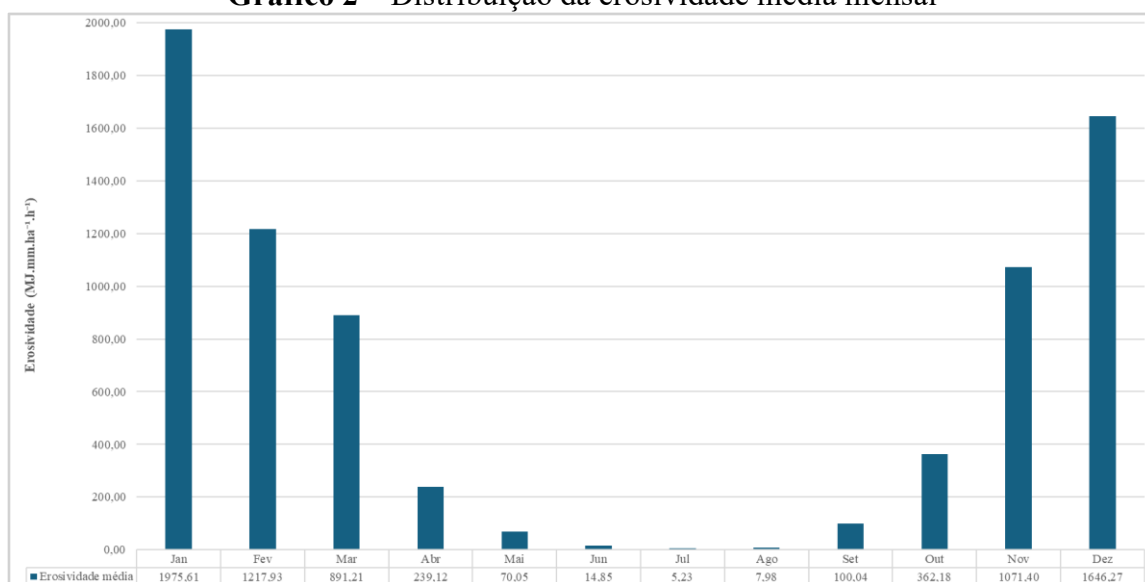
Por fim, discute-se a morfodinâmica atual da área de estudo, relacionando os processos erosivos às formas de apropriação e ocupação do relevo, de modo a compreender como as intervenções antrópicas contribuem para a intensificação da perda de solos e para as transformações da paisagem.

4.1 Erosividade das chuvas (Fator R)

A erosividade das chuvas nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é relativamente elevada, em razão dos altos índices pluviométricos registrados durante o período chuvoso e pela ocorrência frequente de precipitações potencialmente erosivas. Em contrapartida, nos meses mais secos observa-se uma redução significativa da erosividade, uma vez que, nesse período, raramente ocorrem chuvas intensas e consecutivas (Mello *et al.*, 2007).

Como apresentado anteriormente, os dados de precipitação mensal variaram em 8,1 mm a 269,3 mm. Essas variações refletem na erosividade mensal, onde o valor médio mensal nas estações pluviométricas analisadas foi de 633,49 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹, variando entre 5,23 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹ para o mês de julho, devido aos menores índices de precipitação, e 1975,61 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹ para o mês de janeiro, período em que as precipitações são mais intensas (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Distribuição da erosividade média mensal



Fonte: ANA (2025). Organizado pela autora (2025).

Segundo a classificação proposta por Beltrame (1994), os valores mensais de erosividade podem ser agrupados em cinco classes: erosividade débil (<599,04), média (599,04 a 675,48), forte (675,49 a 751,91), muito forte (751,92 a 828,33) e excessiva (>828,33). Com base nessa categorização, verifica-se que 89,48% dos valores registrados (entre 891,21 a 1.975,61 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹) se enquadram na classe de erosividade excessiva, concentrando-se nos meses do período chuvoso (com exceção do mês de outubro com erosividade média de 362,18 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês). Os demais 10,52% dos registros (de 5,23 a 362,18 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹) se enquadram na classe de erosividade débil.

Quanto ao valor médio anual de erosividade (Fator R), foi estimado um total de 7.601,88 MJ.mm·ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, com variação entre 7.283,60 MJ.mm·ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ na estação Gurinhata e 7.979,41 MJ.mm·ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ na estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida, evidenciando elevado potencial erosivo associado ao regime pluviométrico da região (Tabela 23).

Tabela 23 – Erosividade média mensal e anual ($\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) das estações pluviométricas

Mês	Ituiutaba	Avantiguara	Faz. Boa Vista	Faz. Nossa Senhora Aparecida	Faz. Buriti do Prata	Gurinhata	Campina Verde	Média	D.P	C.V (%)
Jan	1894,31	1939,85	1990,78	2415,32	2050,27	1794,34	1744,43	1975,61	204,71	10,36
Fev	1142,54	1128,67	1165,48	1167,28	1554,81	1182,76	1184,01	1217,93	138,79	11,40
Mar	792,83	1043,88	759,90	886,40	931,22	864,97	959,26	891,21	90,38	10,14
Abr	228,35	283,79	147,81	256,00	280,89	195,96	281,04	239,12	47,96	20,06
Mai	70,84	81,39	61,26	61,79	61,91	82,47	70,68	70,05	8,41	12,01
Jun	14,15	14,68	15,83	9,70	14,06	15,06	20,50	14,85	2,94	19,80
Jul	4,62	4,10	6,22	4,65	4,54	3,85	8,66	5,23	1,56	29,87
Ago	7,00	11,97	5,43	8,34	7,50	4,10	11,51	7,98	2,71	33,93
Set	81,04	75,76	97,67	74,44	121,61	123,97	125,83	100,04	21,76	21,75
Out	383,49	392,04	327,52	402,15	297,50	375,11	357,47	362,18	34,88	9,63
Nov	1318,80	1069,18	1205,85	881,28	1036,37	937,03	1051,29	1071,40	138,94	12,97
Dez	1613,16	1756,04	1517,64	1812,07	1621,91	1704,00	1499,06	1646,27	108,74	6,61
Total	7551,13	7801,35	7301,38	7979,41	7982,59	7283,60	7313,74	7601,88	293,86	3,87

Fonte: ANA (2025). Organizado pela autora (2025)

O menor valor de erosividade média mensal encontrado foi de 3,85 $\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$, registrado no mês de julho na estação Gurinhata. Em contrapartida, o maior valor foi de 2415,32 $\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$, observado no mês de janeiro na estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida, local que apresentou um dos maiores índices de precipitação média para esse mês.

Os dados obtidos a partir da análise pluviométrica indicam que os meses de janeiro e dezembro concentram os maiores volumes de precipitação, correspondendo a 43,7% do total de chuvas para o período chuvoso. Nesses meses, predominam chuvas intensas e de curta duração, típicas de regiões tropicais, que apresentam elevada energia cinética e maior capacidade de desagregação das partículas do solo, resultando nos elevados índices de erosividade.

Em contrapartida, os meses de julho e agosto registram valores extremamente baixos de erosividade, caracterizando um período de menor atuação das chuvas erosivas, em função da estação seca. Nesse período, a baixa precipitação e a menor intensidade dos eventos pluviométricos limitam a disponibilidade de energia para o desencadeamento dos processos erosivos, favorecendo condições de maior estabilidade.

Desse modo, as elevadas precipitações registradas na região influenciam diretamente nos altos índices de erosividade. Esse comportamento tem implicações diretas na morfodinâmica da bacia, uma vez que favorece a ocorrência de pulsos erosivos capazes de desencadear processos como a erosão laminar, a formação de sulcos e o desenvolvimento de feições erosivas mais avançadas quando associado a ações antrópicas.

No entanto, destaca-se que a erosividade não depende apenas do volume de precipitação, mas também da intensidade dos eventos pluviométricos. Assim, mesmo volumes semelhantes de chuva podem apresentar diferentes potenciais erosivos, sendo os eventos

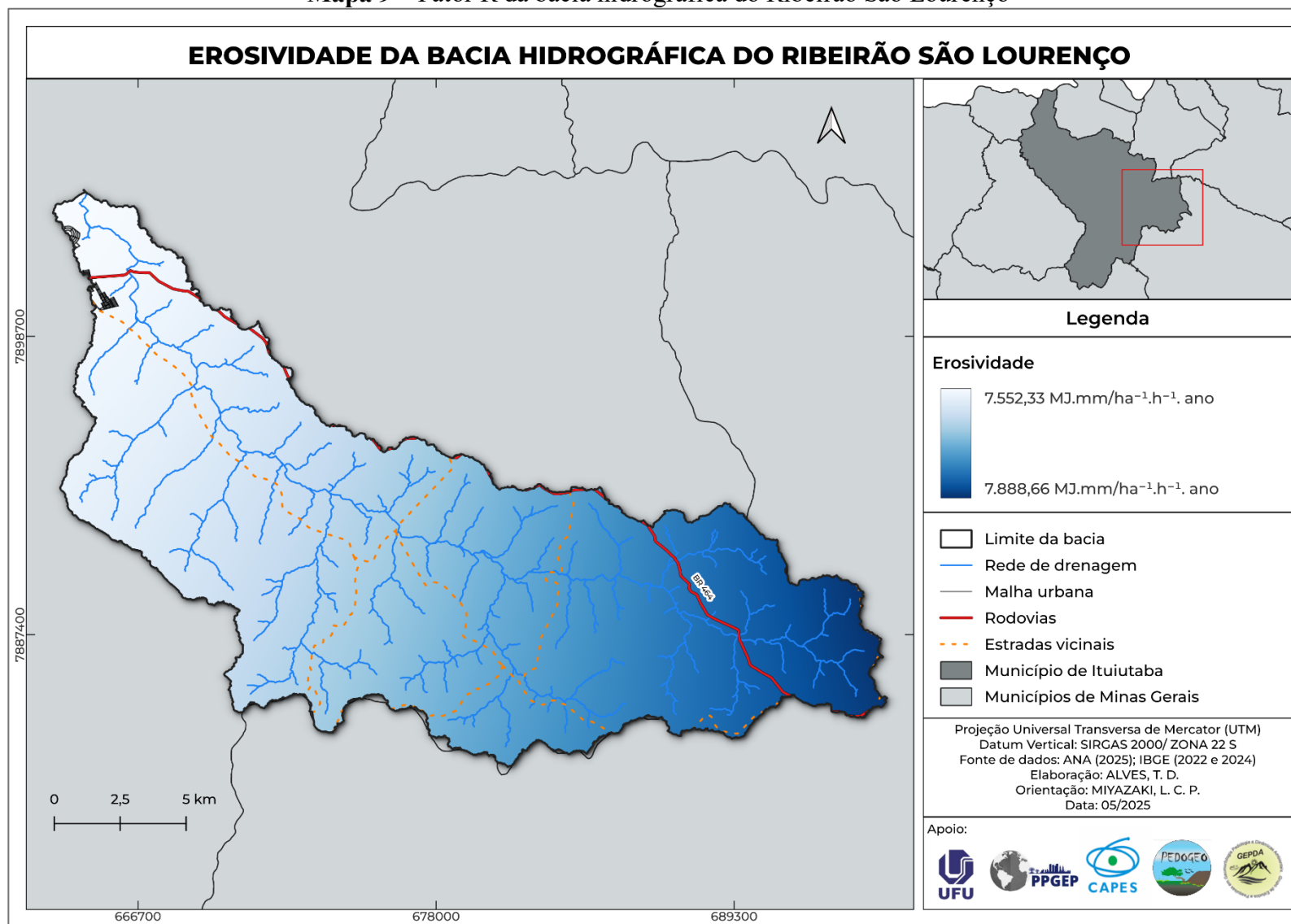
convectivos de verão particularmente relevantes para a geração de processos erosivos, em razão de sua curta duração e elevada intensidade.

Verifica-se ainda que os valores do coeficiente de variação aumentam principalmente durante o período seco, apresentando tendência de elevação à medida que a média de erosividade diminui. Esse comportamento evidencia uma relação inversa entre a erosividade média e sua variabilidade relativa, uma vez que os menores valores médios de erosividade são acompanhados por maior dispersão dos dados.

Segundo Silva *et al.* (2010), essa ampla variação pode estar associada à irregularidade na distribuição das chuvas durante a estação seca, caracterizada pela menor frequência de precipitações e pela ocorrência episódica de eventos de maior intensidade, contribuindo para os elevados coeficientes de variação observados.

O índice de erosividade anual para as áreas do interior da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, obtidos com a interpolação pelo método IDW, resultaram na erosividade média de 7720,49 MJ·mm/ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹, sendo classificado como de forte intensidade, com valores variando de 7552,33 MJ·mm/ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹ a 7888,66 MJ·mm/ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹ (Mapa 9).

Mapa 9 – Fator R da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ANA (2025). Elaborado pela autora (2025)

A erosividade média anual é maior no alto curso da bacia (áreas mais próximas da nascente), e decresce gradativamente até o baixo curso (onde está localizada a foz), que apresenta a menor erosividade média anual da área de estudo. Isto corrobora com os valores de precipitação, uma vez que a média anual de precipitação mais elevada foi registrada na estação Fazenda Buriti do Prata, localizada ao sul da área de estudo.

Em áreas com presença de Latossolos, que correspondem a grande parte da área de estudo, a ação da erosividade das chuvas tende a ser parcialmente atenuada pelas próprias características físicas e estruturais desses solos. De modo geral, os Latossolos são solos profundos, bem desenvolvidos e altamente intemperizados, apresentando elevada estabilidade estrutural, boa porosidade e alta capacidade de infiltração da água.

No entanto, mesmo apresentando maior resistência à erosão, os Latossolos não são totalmente imunes à ação da erosividade da chuva. Em situações em que ocorre remoção da cobertura vegetal, compactação do solo ou manejo inadequado, a infiltração pode ser reduzida e o escoamento superficial intensificado, favorecendo a desagregação das partículas superficiais e o desenvolvimento de processos erosivos (Arraes; Bueno; Pissara, 2010).

Além disso, verifica-se que o período de maior erosividade das chuvas coincide, em parte, ao período de preparo do solo, semeadura e estabelecimento inicial de algumas culturas anuais. Durante a estação chuvosa, compreendida entre outubro e março, concentram-se, em média, 85,69% da precipitação anual (1.169,4 mm), com destaque para dezembro e janeiro, meses que apresentam os maiores valores de erosividade.

Nesse contexto, a concentração das atividades de semeadura, predominantemente entre outubro e dezembro, ocorre durante ao aumento dos índices pluviométricos e da erosividade das chuvas, podendo favorecer a ocorrência de perdas de solo, sobretudo durante os estágios iniciais de estabelecimento das culturas, quando a cobertura do solo ainda é reduzida.

Deste modo, quando o manejo do solo é inadequado, há um risco significativo de perdas por erosão laminar, especialmente porque o solo pode estar exposto justamente durante o período de maior intensidade pluviométrica. Esse cenário reforça a importância da adoção de práticas conservacionistas que visem à redução das perdas de solo.

Com base nos estudos de Foster *et al.* (1981), Mello *et al.* (2007) realizaram um zoneamento do estado de Minas Gerais, distinguindo regiões específicas de acordo com o comportamento anual da erosividade das chuvas. Nesse contexto, o Triângulo Mineiro se destaca por apresentar precipitações intensas, com valores anuais de erosividade variando entre 7.357 e 9.810 MJ·mm/ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹.

Nesse sentido, os resultados deste estudo corroboram os dados obtidos por Mello *et al.* (2007), bem como outros trabalhos desenvolvidos na região do Triângulo Mineiro. Valle Júnior (2008), por exemplo, ao estimar a erosividade na bacia hidrográfica do rio Uberaba (MG), encontrou um valor de $7.846,54 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, com 44,23% da precipitação considerada erosiva.

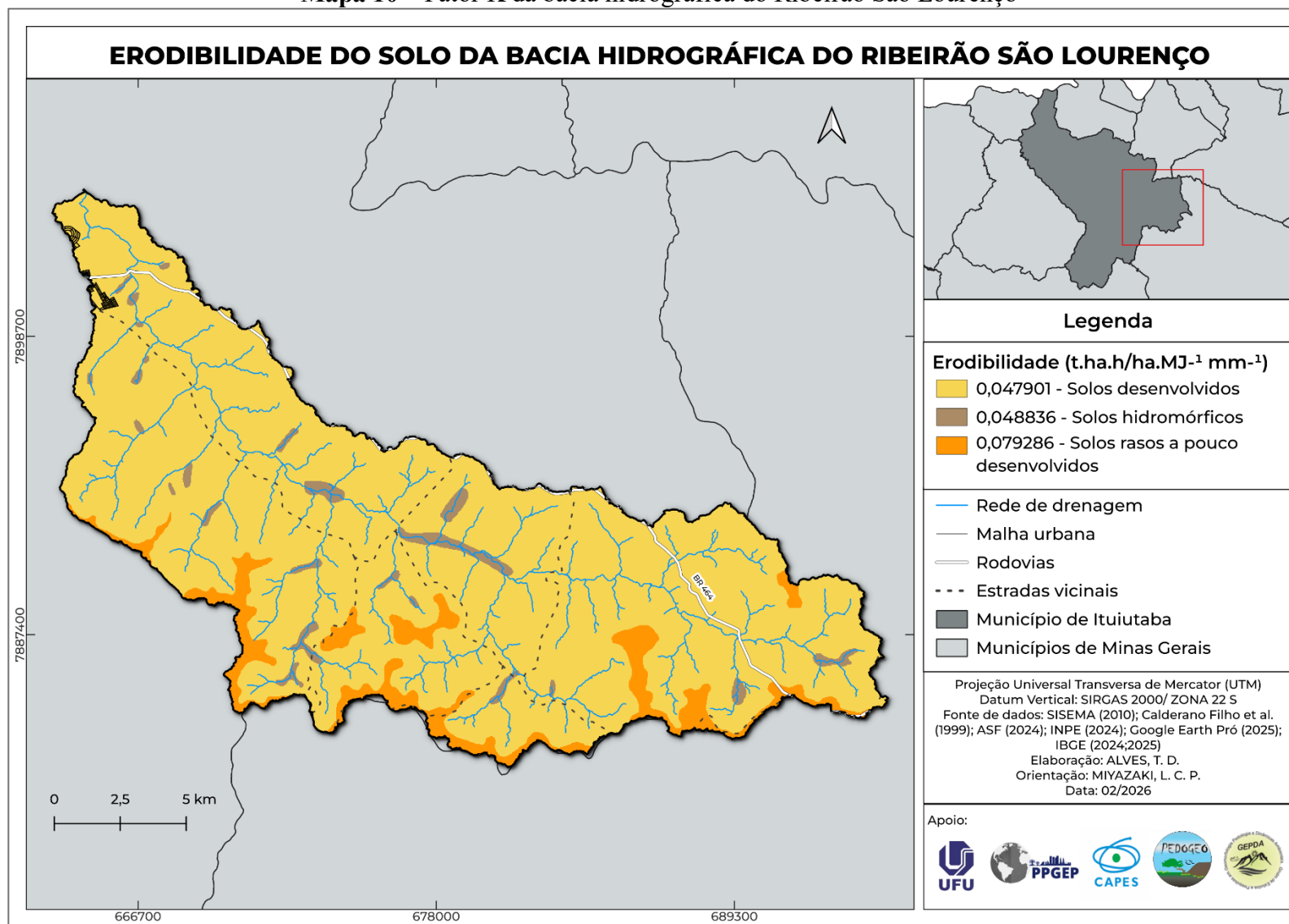
Da mesma forma, Cabral *et al.* (2009) identificaram uma erosividade de $7.416,9 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ na área do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG), com 94% da erosividade concentrada no período chuvoso. Já Pereira (2014) estimou a erosividade na área de influência do reservatório da UHE Amador Aguiar I, pertencente à bacia do rio Araguari (MG), em $8.881,9 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

4.2 Erodibilidade dos solos (Fator K)

A erodibilidade do solo (Fator K) expressa a suscetibilidade do solo à erosão, ou seja, sua menor ou maior capacidade de resistir aos agentes erosivos. Esse fator está diretamente relacionado às características físicas e químicas do solo, como os teores de areia, silte e argila, além da permeabilidade, teor de matéria orgânica, densidade e estrutura.

Na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, os valores de erodibilidade variam de 0,0479 a 0,0792 $\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm}^{-1}$. (Mapa 10), refletindo a influência das diferentes classes de solos e seu grau de desenvolvimento. Esses valores foram obtidos a partir de levantamentos de campo e análises laboratoriais subsequentes, permitindo identificar o grau de susceptibilidade de cada classe de solo aos processos erosivos.

Mapa 10 – Fator K da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: SISEMA (2010); Calderano Filho *et al.* (1999); ASF (2024); INPE (2024); Google Earth Pró (2025); IBGE (2025). Elaborado pela autora (2026)

Os solos classificados como desenvolvidos, tendo associação com os Latossolos, apresentaram o menor valor de erodibilidade para a bacia, correspondente a $0,0479 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$, classificada como erodibilidade muito alta, abrangendo aproximadamente 90% da área de estudo (Tabela 24).

Tabela 24 – Distribuição do Fator K presente na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Classe de solo	Fator K ($\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Classificação	Área (%)
Solos desenvolvidos (Latossolos Vermelhos)	0,0479	Muito alta	90
Solos hidromórficos (Gleissolos Háplicos)	0,0488	Muito alta	2,8
Solos rasos a desenvolvidos (Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos)	0,0792	Extremamente alta	7,2

Organizado pela autora (2026)

Os Latossolos Vermelhos ocorrem predominantemente nas áreas de topo e ao longo das vertentes da bacia, podendo também estar associados aos Nitossolos Vermelhos. Esses solos apresentam, de modo geral, maior resistência aos processos erosivos, em função de suas características físico-estruturais, como grande profundidade, boa drenagem e elevada coesão, além de alta estabilidade estrutural, porosidade e permeabilidade, que favorecem a infiltração da água no perfil de solo.

Entretanto, Latossolos de textura franco-arenosa ou franca, como os identificados em boa parte da área de estudo, apresentam maior suscetibilidade aos processos erosivos em comparação aos de textura mais fina, em função da menor coesão entre as partículas e da maior facilidade de desagregação sob a ação do impacto das gotas de chuva.

Neste sentido, embora os Latossolos Vermelhos apresentem características que podem conferir maior resistência à erosão, especialmente em condições favoráveis, faz-se necessária a adoção de práticas conservacionistas, a fim de reduzir o escoamento superficial e minimizar as perdas de solo.

Os solos hidromórficos apresentam valor de erodibilidade de $0,0488 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ (2,8%), sendo classificados como muito alta. Esses solos ocorrem, em geral, em áreas planas, mal drenadas e com elevada umidade, onde há tendência ao acúmulo de sedimentos. Dessa forma, a perda efetiva de solo tende a ser limitada, predominando condições de deposição em detrimento da remoção.

No caso dos Gleissolos Háplicos identificados na área de estudo, os elevados valores de erodibilidade podem estar associados à presença de materiais pouco estruturados, com maior proporção de frações finas e arenosas em alguns horizontes. As análises granulométricas indicam que os horizontes superficiais apresentam elevado teor de areia, o que contribui para a

menor coesão entre as partículas e justifica os valores elevados de erodibilidade observados nessa classe de solo.

O Fator K mais elevado corresponde aos solos rasos a pouco desenvolvidos, com valor de erodibilidade de $0,0792 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$, classificados como de erodibilidade extremamente alta. Essa classe abrange aproximadamente 7,2% da área da bacia e está associada principalmente aos Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, que ocorrem em áreas de relevo residual, caracterizadas pelo terreno mais acidentado.

Nesses locais, as declividades mais acentuadas, associadas às características do material de origem, favorecem a maior suscetibilidade aos processos erosivos, sobretudo sob a ação direta das chuvas. Além disso, esses solos tendem a apresentar menor estabilidade estrutural, em razão de sua constituição granulométrica, geralmente marcada pela predominância de areia e silte, bem como pelo baixo teor de material cimentante, como a argila (Pereira, 2014).

Com a finalidade de conferir maior credibilidade aos índices de erodibilidade obtidos para a área de estudo, foi realizada uma revisão da literatura a respeito dos valores encontrados para os mesmos tipos de solo em várias regiões do Brasil (Quadro 16).

Quadro 16 – Valores de erodibilidade do solo para diferentes localidades do Brasil

Classe de solo	Erosividade ($\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Localização
Latossolos Vermelhos	0,050	Bacia do Rio Olaria/DF ⁽¹⁾
	0,032	Bacia do Rio Uberaba/MG ⁽²⁾
	0,048	São Miguel do Guamá/PA ⁽³⁾
	0,029	UHE Amador Aguiar I/MG ⁽⁴⁾
	0,015	Bacia do Rio Corumbataí/SP ⁽⁵⁾
Gleissolos Háplicos	0,047	Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas/SP ⁽⁶⁾
	0,014	São Miguel do Guamá/PA ⁽³⁾
	0,036	Bacia do Rio do Peixe/SP ⁽⁷⁾
	0,022	PB ⁽⁸⁾
Neossolos Litólicos + Cambissolos Háplicos	0,042	Bacia do Rio Paraopeba/MG ⁽⁹⁾
	0,050	Silvânia/GO ⁽¹⁰⁾
	0,048	Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas/SP ⁽⁶⁾
	0,072	Bacia do Rio Catu/RN ⁽¹¹⁾

Fonte: ⁽¹⁾ Correa e Sanjos Pinto (2012); ⁽²⁾ Valle Junior (2008); ⁽³⁾ Brabo (2020); ⁽⁴⁾ Pereira (2014); ⁽⁵⁾ Bergamasco (2023); ⁽⁶⁾ Demarchi e Zimback (2014); ⁽⁷⁾ Pereira (2021); ⁽⁸⁾ Francisco *et al.* (2025); ⁽⁹⁾ Lanza (2011); ⁽¹⁰⁾ Rocha, Nunes e Santos (2026); ⁽¹¹⁾ Barros (2025). Organizado pela autora (2026)

O quadro permite comparar os valores de erodibilidade obtidos neste estudo com aqueles apresentados por diferentes autores para as classes de Latossolos, Gleissolos e Neossolos associados a Cambissolos. De modo geral, os resultados encontrados situam-se dentro da faixa de valores estipulados para os solos no contexto brasileiro.

Entretanto, observam-se algumas discrepâncias pontuais, especialmente nos valores atribuídos aos Latossolos, quando comparados aos resultados apresentados por Pereira (2014)

e Bergamasco (2023), bem como nos Gleissolos, em relação aos valores encontrados por Brado (2020) e Francisco *et al.* (2025). Essas diferenças podem estar relacionadas ao maior teor de areia presente nos horizontes superficiais das amostras analisadas neste estudo.

Isso ocorre porque a erodibilidade do solo está diretamente associada à sua composição granulométrica, sobretudo aos teores de areia e silte. Conforme destacado por Wischmeier e Smith (1958), o aumento da proporção de silte tende a elevar a suscetibilidade do solo à erosão, resultando em maiores valores de erodibilidade.

Além disso, Mannigel *et al.* (2002), ao analisarem a erodibilidade dos solos no estado de São Paulo, observaram que o método de cálculo proposto por Bouyoucos (1935), adotado neste estudo, pode não ser o mais adequado para solos com texturas extremamente arenosas ou muito argilosas, pois tende a expressar valores muito altos de erodibilidade. Essa evidência ajuda a explicar os valores mais elevados do Fator K observados na área de estudo, especialmente nas locais em que predominam horizontes superficiais de textura fina e arenosa.

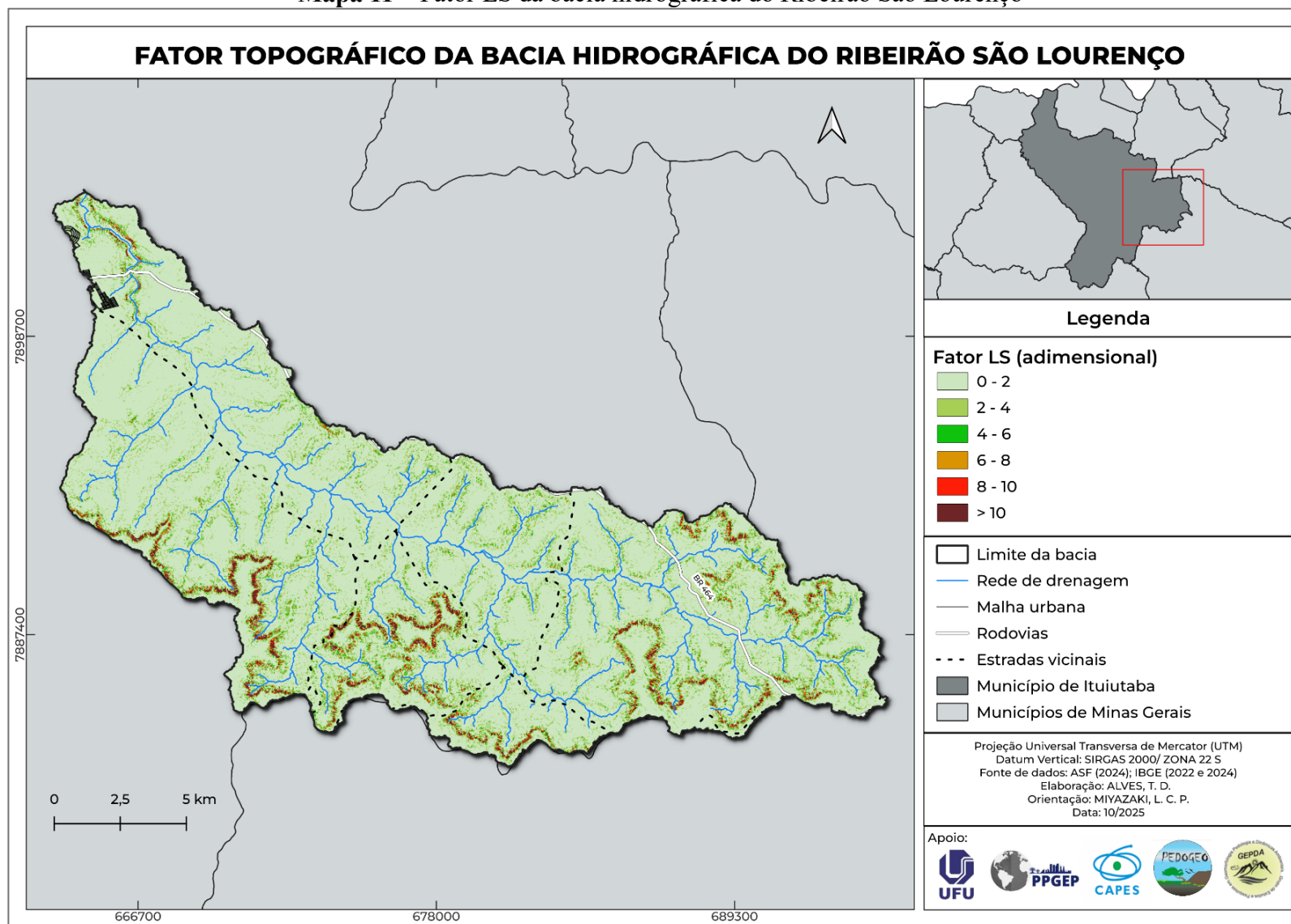
4.3 Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o comprimento de rampa e a declividade (Fator topográfico ou Fator LS) constituem um dos elementos mais importantes da EUPS, pois exercem influência direta sobre o processo erosivo. Uma vez que, a erosão do solo é fortemente condicionada pelas características das encostas, em interação com outros componentes da paisagem, que influenciam na velocidade do escoamento superficial e na intensidade e quantidade de material transportado.

Cabe destacar que os valores do Fator LS podem variar conforme as características do solo, as condições climáticas e as práticas de manejo adotadas em cada região. Dessa forma, sua determinação exige uma análise detalhada das condições locais, a fim de representar adequadamente a dinâmica do relevo e sua influência nos processos erosivos.

Na área de estudo, o Fator LS (Mapa 11) apresentou valores variando de 0 a 12,43 (adimensional). De modo geral, os maiores valores de LS concentram-se nas áreas de maior declividade, indicando trechos com maior potencial de concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior suscetibilidade à erosão.

Mapa 11 – Fator LS da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: ASF (2014). Elaborado pela autora (2025)

Na área de estudo, o Fator LS predominante situa-se no intervalo de 0 a 2, considerado muito baixo, abrangendo aproximadamente 82,3% da área total da bacia hidrográfica (Tabela 25). Observa-se ainda que 96,4% da bacia apresenta valores de fator topográfico entre 0 e 6, enquanto apenas 3,6% correspondem a valores entre 6 e superiores a 10. Esse resultado está em conformidade com a baixa razão de relevo observada na bacia (0,005), a qual indica um relevo mais suave, com baixa amplitude altimétrica.

Tabela 25 – Distribuição do Fator LS para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Classificação	Fator LS (adimensional)	Área (km²)	Área (%)
Muito baixo	0-2	242,14	82,3
Baixo	2-4	31,57	10,7
Moderado	4-6	9,7	3,3
Moderadamente forte	6-8	3,79	1,3
Forte	8-10	2,26	0,8
Muito forte	> 10	4,65	1,6

Organizado pela autora (2026)

De modo geral, os valores mais baixos do Fator LS (0 a 4) estão associados a áreas de relevo plano a suave ondulado. Esse intervalo está relacionado principalmente à predominância de baixas declividades e de vertentes com menor potencial de concentração do escoamento superficial, condições que tendem a reduzir a capacidade erosiva do fluxo hídrico e, consequentemente, a influência da topografia sobre as perdas de solo.

A predominância de baixas declividades na bacia, associada às características do comprimento das vertentes, contribui para a ocorrência de valores reduzidos do Fator LS em grande parte da área. Embora o comprimento médio de escoamento superficial seja de aproximadamente 435 m, as baixas declividades predominantes limitam a influência do comprimento das vertentes sobre o potencial erosivo do escoamento superficial.

Os valores intermediários do Fator LS, entre 4 e 8, classificados como moderados a moderadamente fortes, indicam maior influência da topografia sobre o potencial de erosão hídrica. Essas áreas refletem uma combinação de maior declividade e comprimento de rampa em relação aos locais de relevo mais suave, favorecendo o aumento da velocidade e da capacidade de transporte do escoamento superficial e, consequentemente, maior potencial de erosivo.

Em contrapartida, os valores mais elevados do Fator LS, de 8 a maiores que 10 (forte e muito forte) concentram-se principalmente em áreas de relevo residual, caracterizadas por declividades mais acentuadas (superiores a 20%) e menor comprimento de rampa. Esses valores também ocorrem em locais próximos à foz, onde a dissecação do talvegue é um pouco acentuada, o que reduz a distância entre as vertentes e o comprimento de rampa.

Dessa forma, observa-se que, de modo geral, os valores mais elevados do Fator LS estão associados a relevos mais energéticos, conforme destacado por *Stein et al.* (1987). Nesse contexto, diversos estudos apontam a declividade como um dos principais fatores responsáveis pela elevação dos valores do fator topográfico.

Resultados semelhantes ao desse estudo foram obtidos em outras pesquisas que aplicaram a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2017). Entre elas, destacam-se os trabalhos de Brabo (2020), no município de São Miguel do Guamá/PA, Souza (2021), na bacia hidrográfica do Rio Verde/PR e Francisco (2025), no estado da Paraíba. Nessas investigações, verificou-se que mais de 96% dos valores de LS são inferiores a 10, indicando predominância de áreas com potencial erosivo relativamente baixo associado ao fator topográfico.

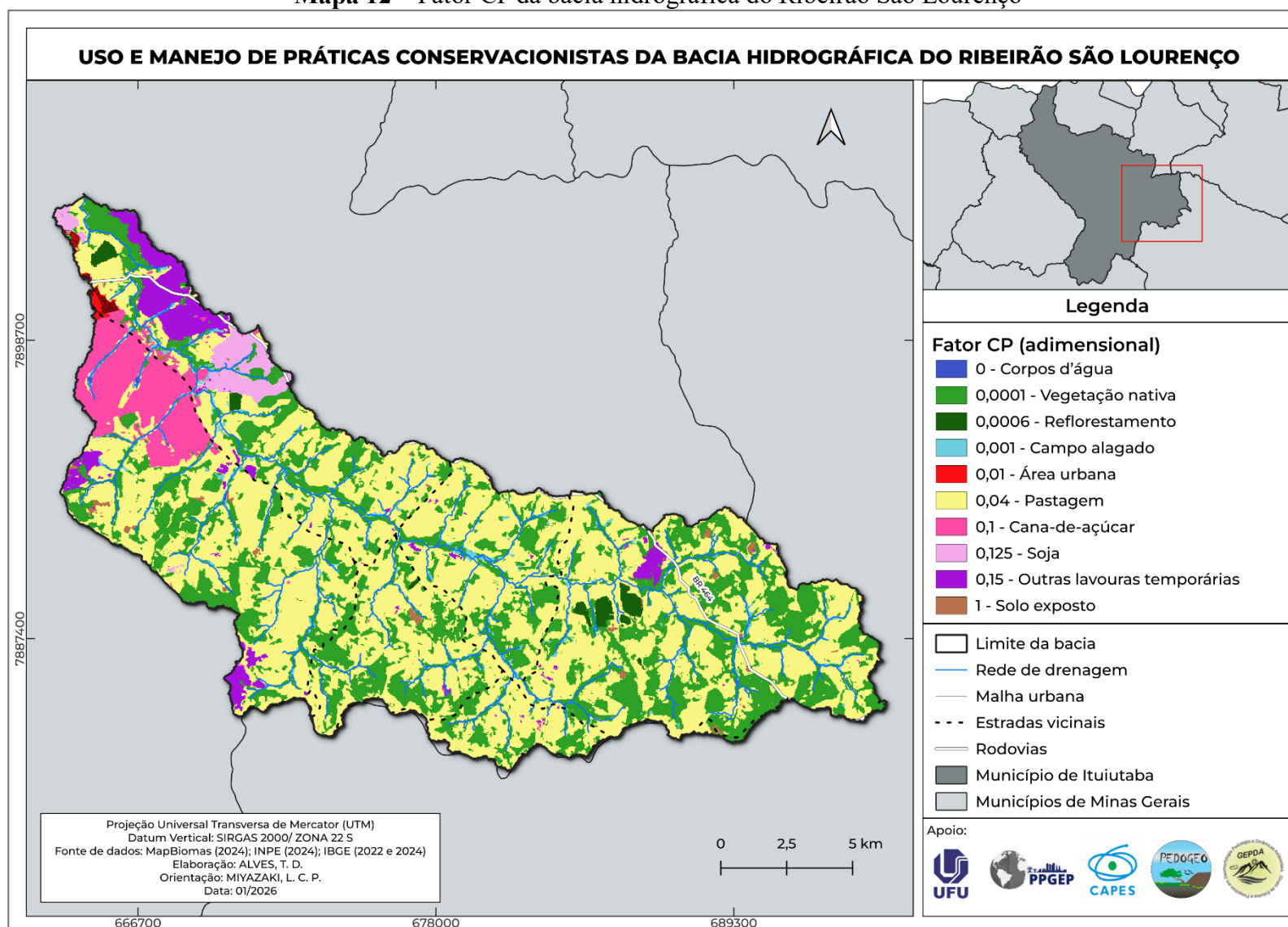
4.4 Uso e manejo de práticas conservacionistas do solo (Fator CP)

A estimativa do Fator CP, que combina o Fator C (uso e manejo do solo) e o Fator P (práticas conservacionistas), está diretamente associada às ações antrópicas. Em outras palavras, reflete como uma determinada área é utilizada e de que maneira esse uso influencia nos processos erosivos.

A análise da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço evidenciou a presença de diferentes formas de ocupação antrópica e de ecossistemas naturais. Para a estimativa da perda de solo, foram atribuídos valores específicos do Fator CP, definidos a partir das características de cada classe de uso e cobertura da terra, com base em referências da literatura científica.

Nesse contexto, o Fator CP da bacia do Ribeirão São Lourenço apresenta valores variando entre 0 e 1 (Mapa 12). Valores mais próximos de 1 indicam menor proteção do solo e, conseqüentemente, maior suscetibilidade aos processos erosivos. Dessa forma, conforme destacado por Barbosa *et al.* (2015), os valores mais elevados de CP estão associados a classes de uso que apresentam baixa ou nenhuma cobertura vegetal, bem como ausência de práticas conservacionistas de manejo do solo.

Mapa 12 – Fator CP da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: MapBiomias (2024); INPE (2024). Elaborado pela autora (2026)

A análise dos dados referentes ao Fator CP revela a contribuição das diferentes classes de uso e cobertura da terra para a erosão hídrica (Tabela 26). Para as classes corpos d'água foi adotado valor nulo de CP (correspondendo a 0,1% da bacia), uma vez que nessa classe predominam processos distintos, como erosão de margens controlados principalmente pela dinâmica da velocidade de fluxo, e não pelo impacto da chuva ou pelo escoamento superficial. Além disso, esses locais atuam frequentemente como áreas de recepção e acumulação de sedimentos provenientes das porções mais elevadas do relevo.

Tabela 26 – Distribuição do Fator CP para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Uso e cobertura	Fator CP (adimensional)	Área (km ²)	Área (%)
Corpos d'água	0	0,3	0,1
Vegetação nativa	0,0001	89,6	30,5
Reflorestamento	0,0006	2,8	0,9
Campo alagado	0,001	4,5	1,2
Área urbana	0,01	1,6	0,5
Pastagem	0,04	161,1	54,8
Cana-de-açúcar	0,1	16,6	5,6
Soja	0,125	5,3	1,8
Outras lavouras temporárias	0,15	11,2	3,8
Solo exposto	1	1,3	0,4

Organizado pela autora (2026)

A vegetação nativa constitui a cobertura que oferece maior proteção ao solo contra a ação dos agentes erosivos, possuindo Fator CP de 0,0001. As florestas nativas favorecem a formação de uma espessa camada de serrapilheira, que atua como barreira natural à erosão, reduzindo o impacto das gotas de chuva e promovendo a infiltração da água. Essa tipologia ocorre em 30,5% da bacia, com maior concentração nas margens dos cursos d'água e nas áreas de relevo residual, onde a conservação da cobertura vegetal é mais evidente.

As áreas de reflorestamento voltadas à silvicultura ocupam 0,9% da bacia hidrográfica (Fator CP de 0,0006) com predominância de plantios de eucalipto e seringueira. De acordo com Cardoso *et al.* (2004), embora essas áreas possuam um bom nível de cobertura do solo, as perdas por erosão tendem a ser maiores em comparação à vegetação nativa. Os autores destacam ainda que ao longo dos anos há uma tendência de redução das perdas de solo em plantios de eucalipto, à medida que as árvores se desenvolvem. Esse efeito é potencializado pelo acúmulo gradual de serrapilheira, que atua na proteção do solo.

Para a classe de campos alagados, foi atribuído valor de CP igual a 0,001, correspondendo a 1,2% da área de estudo. Esse valor reflete a elevada proteção do solo nessas áreas, associada à presença constante ou periódica de saturação hídrica, aliada à cobertura vegetal adaptada a ambientes úmidos, fatores que reduzem a energia do escoamento superficial

e limitam a ocorrência de erosão hídrica. Além disso, os campos alagados frequentemente atuam como áreas de deposição e retenção de sedimentos, recebendo materiais transportados das porções mais elevadas do relevo.

A área urbana do município apresenta características que podem favorecer a ocorrência de erosão laminar em determinados pontos, especialmente em locais com pouca cobertura vegetal e presença de solos expostos. Em função dessas condições, foi adotado valor de CP igual a 0,01, (0,5% da área de estudo). Por outro lado, Stein *et al.* (1987) destacam que áreas urbanizadas podem apresentar potencial de erosão praticamente nulo, uma vez que grande parte da superfície encontra-se impermeabilizada, reduzindo a presença de solo exposto suscetível à erosão. Nesse contexto, os processos de erosão laminar tendem a ocorrer, em sua maioria, nas áreas adjacentes ao perímetro urbano.

As pastagens apresentam um valor de Fator CP de 0,04 e ocupam a maior parte da bacia, com 54,8% da área total. Grande parte dessas áreas é destinada à atividade pecuária, embora existam muitos trechos sem uso definido. Em geral, as pastagens são compostas por gramíneas com presença esparsa de arbustos, frequentemente sem a adoção de práticas adequadas de manejo, o que compromete sua qualidade.

Sendo assim, pastagens bem manejadas, com cobertura vegetal contínua tendem a reduzir o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, contribuindo para menores taxas de erosão. Em contrapartida, pastagens degradadas, marcadas por solo exposto, compactação e cobertura irregular, tendem a reduzir a infiltração e aumentam o escoamento superficial, intensificando os processos de erosão laminar.

Nessas condições, a erosão acelerada pode ocorrer em todas as etapas do ciclo de estabelecimento e uso das pastagens, reforçando a necessidade de manejo correto e da implementação de práticas de conservação do solo, visto que a degradação das pastagens constitui um dos principais problemas enfrentados pela pecuária brasileira.

A atividade agrícola na área de estudo é representada principalmente por lavouras temporárias. Dentre elas, destaca-se o cultivo de cana-de-açúcar, ao qual foi atribuído valor de CP igual a 0,1, correspondendo a 5,6% da área da bacia. Para as lavouras de soja, adotou-se CP de 0,125, abrangendo 1,8% da área, enquanto para as demais lavouras temporárias foi considerado CP de 0,15, que representa 3,8% da área de estudo. As áreas agrícolas demonstram média suscetibilidade à erosão, em razão do porte reduzido da cobertura vegetal, do espaçamento regular entre as plantas e das práticas de preparo e manejo do solo.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2017), as culturas temporárias estão entre as principais responsáveis pelas maiores perdas de solo, estimando-se perdas médias de 12,4

t/ha.ano para a cana-de-açúcar, 20,1 t/ha.ano para a soja e 12 t/ha.ano para o milho. Um dos principais fatores que explicam as maiores perdas de solo nesse sistema de cultivo é o fato de que, em determinados períodos do ano, durante a entressafra, o solo permanece desprotegido, sem nenhuma cobertura vegetal.

Cabe destacar que os procedimentos de preparo do solo para cultivos temporários influenciam significativamente a suscetibilidade à erosão, em razão da frequência das intervenções realizadas na superfície, que podem reduzir sua proteção natural e favorecer a atuação dos processos erosivos (Matos, 2015).

O solo exposto representa a condição mais crítica em relação à erosão hídrica, uma vez que a ausência de cobertura vegetal deixa a superfície do solo diretamente sujeita ao impacto das gotas de chuva e ao escoamento superficial, resultando em elevadas taxas de perda de solo. Na bacia do Ribeirão São Lourenço, essa classe corresponde a 0,4% da área total, sendo atribuído fator CP igual a 1. Esse solo exposto está associado, principalmente, a áreas de pastagem com elevado grau de degradação, nas quais o solo apresenta baixa ou nenhuma cobertura vegetal.

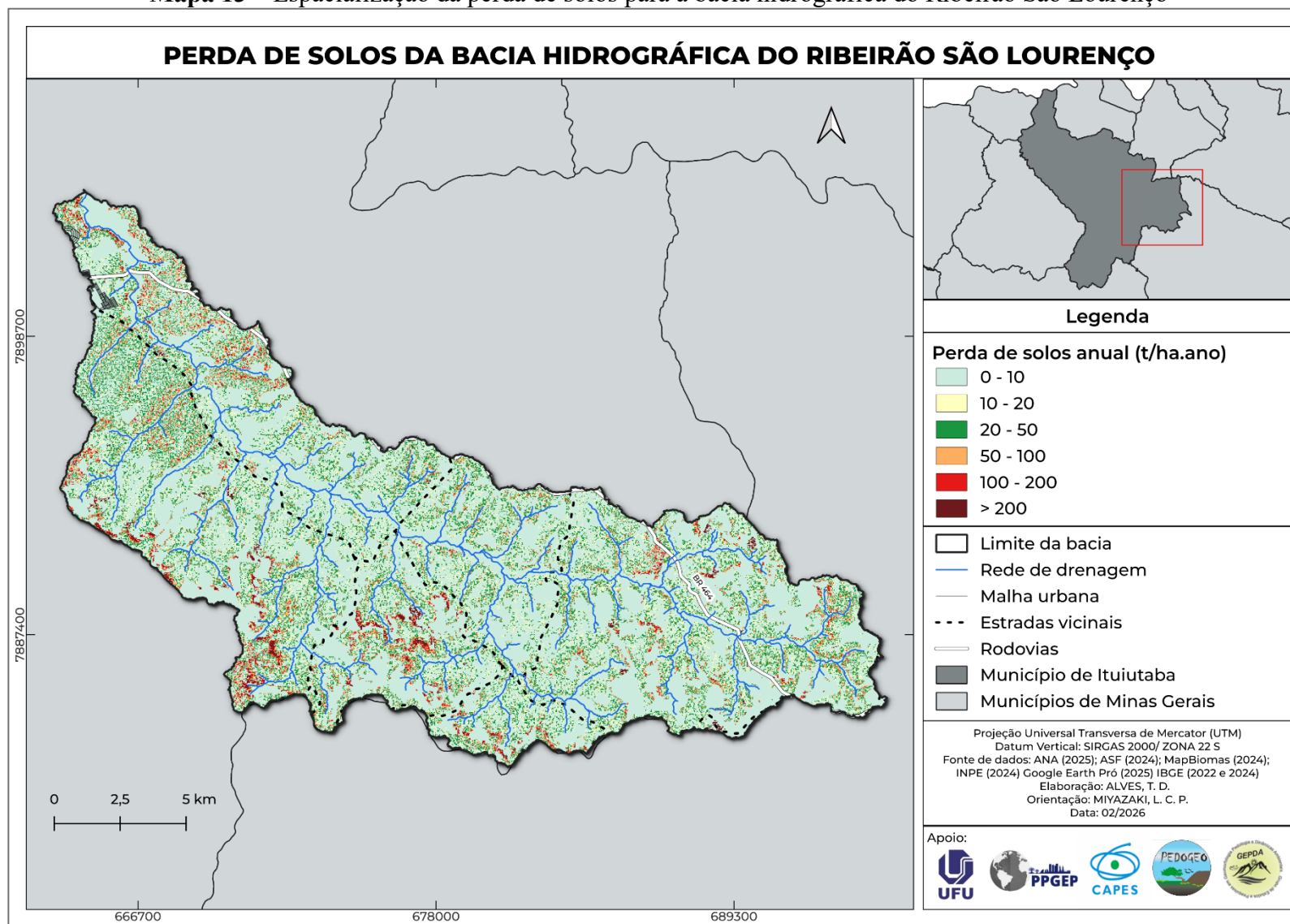
Nesse contexto, observa-se que o uso e manejo da terra constituem fatores determinantes na dinâmica da perda de solos, podendo potencializar ou atenuar os efeitos da erosividade da chuva e da erodibilidade dos solos. Dessa forma, o Fator CP evidencia o papel das ações antrópicas na intensificação ou mitigação da erosão hídrica, sendo fundamental para a compreensão da morfodinâmica atual da bacia.

4.5 Perdas de solo anual por erosão laminar

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, a partir da integração dos fatores R, K, LS e CP, possibilitou a estimativa das perdas anuais de solo na área de estudo. A combinação desses fatores permitiu identificar os locais mais suscetíveis à erosão e compreender quais variáveis exercem maior influência na dinâmica erosiva da bacia.

Os resultados indicaram que a perda de solo por erosão laminar varia entre 0 e 365 t/ha.ano, com média de 37 t/ha.ano (Mapa 13). Diante da ampla variação entre os valores mínimo e máximo, a interpretação dos resultados foi realizada de forma qualitativa, com base na classificação proposta por Carvalho (1994).

Mapa 13 – Espacialização da perda de solos para a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



ANA (2025); ASF (2024); MapBiomass (2024); INPE (2024) Google Earth Pro (2025). Elaborado pela autora (2026)

Os resultados de perda de solo estimados para a área de estudo (Tabela 27) evidenciam a forte influência dos fatores relacionados ao uso e manejo de práticas conservacionistas do solo, representados pelo Fator CP, bem como do Fator LS, na distribuição espacial de perda de solos. Em contrapartida, os demais fatores da equação, Fator R e Fator K, apresentaram influência menos expressiva na variação espacial das perdas de solo na bacia.

Tabela 27 – Distribuição das classes de perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Classes	Perda de solo (t/ha.ano)	Área (km ²)	Área (%)
Nula a pequena	0-10	212,3	72,2
Moderada	10-20	21,8	7,4
Média	20-50	30,2	10,3
Média a forte	50-100	24,8	8,4
Forte	100-200	2,9	1,0
Muito forte	> 200	2,1	0,7

Organizado pela autora (2026)

Os valores mais baixos de erosão laminar, variando entre 0 e 10 t/ha.ano são classificados como nulos a pequena intensidade e abrange 72,2% da área de estudo. Observa-se que essas áreas estão predominantemente associadas a terrenos planos ou suavemente ondulados, com ocorrência de vegetação nativa e reflorestamentos. Nesses locais, os solos tendem a ser mais profundos (Latossolos) ou hidromórficos (Gleissolos), apresentando menor suscetibilidade à erosão devido à erodibilidade mais baixa, além da proteção do solo em razão da cobertura vegetal.

A classe de perda moderada de solo (10 a 20 t/ha.ano) abrange aproximadamente 7,4% da área da bacia. Essa classe ocorre de forma dispersa em diferentes pontos, indicando locais onde os processos erosivos já apresentam uma leve intensidade, o que sugere a necessidade da adoção de algumas medidas de controle, a fim de evitar a intensificação desses processos e o avanço da perda de solo.

Os valores médios de perda de solos (20-50 t/ha.ano), ocupa aproximadamente 10,3% da área de estudo, concentrando-se principalmente em locais de relevo ondulado, com declividades variando entre 8% e 20%, pastagens e em áreas de atividades agrícolas. Nesses locais, o Fator LS apresenta valores estimados entre 2 e 6, indicando condições que favorecem o escoamento superficial. Em função das declividades mais acentuadas, essas áreas apresentam maior suscetibilidade à erosão, uma vez que o aumento da inclinação do terreno contribui para intensificar a velocidade do escoamento e a capacidade de transporte de sedimentos.

Além disso, essa classe indica níveis de erosão que podem comprometer progressivamente a fertilidade do solo e a sustentabilidade das atividades agrícolas, caso

práticas adequadas de manejo e conservação não sejam adotadas. Nesse contexto, destaca-se, por exemplo o plantio direto, considerado uma importante técnica conservacionista, pois reduz a perturbação do solo, mantém a cobertura vegetal na superfície e contribui para o aumento do teor de matéria orgânica, favorecendo a melhoria da estrutura e da proteção do solo (Barros, 2025).

A classe de perda de solo média a forte (50 a 100 t/ha.ano) abrange aproximadamente 8,4% da área da bacia, concentrando-se principalmente em áreas agrícolas, sobretudo nos cultivos de soja e em outras lavouras temporárias. Além disso, essa classe de perda está associada, sobretudo, a locais de relevos forte ondulados, com declividades variando entre 20% e 45%.

Nesses áreas, a perda de solo tende a ser mais intensa em função das declividades acentuadas e acaba sendo agravado, em muitos casos, pela ausência ou insuficiência de práticas conservacionistas de manejo do solo nas áreas agrícolas, bem como pelos períodos de rotação das culturas temporárias, nos quais o solo permanece parcial ou totalmente exposto. Essa condição aumenta a vulnerabilidade do solo à ação das chuvas, elevando as taxas de perda.

As classes de perda de solo forte (50–100 t/ha.ano) e muito forte (> 200 t/ha.ano) correspondem, respectivamente, a cerca de 1,0% e 0,7% da área da bacia. Esses valores concentram-se principalmente em áreas de solo exposto e com declividades elevadas, que variam entre 45% e 75%. Nessas condições, o Fator LS apresenta valores superiores a 8, indicando maior energia do escoamento superficial e, conseqüentemente, condições altamente favoráveis à intensificação dos processos erosivos.

Além disso, as áreas de maior declividade estão relacionadas, em grande parte, aos relevos residuais, nos quais foram classificados os solos com maior erodibilidade, associados à presença de Neossolos e Cambissolos. Essas classes de solo apresentam características físicas, químicas e mineralógicas que favorecerem a ocorrência de processos erosivos, sobretudo quando combinados com declividades elevadas e ausência de cobertura vegetal.

Cabe ainda destacar que valores de perda de solo classificados como forte e muito forte também foram observados próximos à foz do curso d'água principal. Nesses locais, verifica-se um maior aprofundamento do canal, associado ao entalhamento do talvegue promovido pela ação erosiva do próprio curso d'água.

Essa condição favorece o rápida deslocamento do escoamento superficial em direção ao canal fluvial, uma vez que a proximidade com o talvegue reduz a presença de obstáculos naturais capazes de reter ou favorecer a infiltração da água. Como consequência, ocorre maior

transporte e deposição de sedimentos, processo que tende a se intensificar especialmente durante eventos de elevada pluviosidade (Barros, 2025).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017), a tolerância média de perda de solo⁵⁰ para classes de solos típicas do Brasil possuem em torno de 10 t/ha.ano. Esse valor médio é frequentemente adotado como referência em diversos estudos, servindo como parâmetro para análises comparativas. Nesse contexto, verifica-se que 27,8% da área de estudo apresenta taxas de perda de solo superiores ao limite médio de tolerância, indicando a necessidade de maior atenção quanto ao manejo e conservação dos solos nesses.

Em comparação com outros estudos realizados em bacias hidrográficas da região do Triângulo Mineiro, os resultados de perda de solos obtidos neste trabalho apresentam padrões semelhantes. Valle Junior (2008) estimou, para a bacia hidrográfica do Rio Uberaba/MG, perdas de solo que podem atingir até 200 t/ha.ano, sendo que 37,42% da área analisada apresentou valores acima do limite de tolerância. De forma semelhante, Pereira *et al.* (2008) estimaram, para a bacia hidrográfica do Rio Araguari/MG, taxas de perda de solo acima de 100 t/ha.ano.

Por outro lado, Pereira (2014), ao avaliar a perda de solos na área da UHE Amador Aguiar I/MG, encontrou taxas anuais máximas de 23,5 t/ha.ano, valor inferior aos observados em outras áreas da região. Essas diferenças podem estar relacionadas tanto às características físicas e ambientais específicas de cada bacia quanto às abordagens metodológicas empregadas na estimativa dos fatores utilizados no cálculo da perda de solo.

Além disso, Almeida (1981) estimou que, no estado de Minas Gerais, a taxa anual de perda de solo atinge aproximadamente 68 mil toneladas. Nesse contexto, os estudos mencionados contribuem para evidenciar a magnitude das perdas de solo na região, reforçando que os valores estimados para a área de estudo estão em concordância com as taxas observadas em outros locais.

Comparando com resultados obtidos em outras regiões do país, observa-se a ocorrência de valores relativamente semelhantes de perda de solo. Lanza (2011) estimou, para a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba/MG, perdas de solo superiores a 200 t/ha.ano. Resultados semelhantes foram apresentados por Rocha, Nunes e Santos (2026), que estimaram, para o município de Silvânia/GO, taxas de perda de solo de até 232 t/ha.ano. Outros estudos indicam valores mais moderados, como os obtidos por Teixeira (2018), na APA do rio Descoberto/DF–GO, e por Degrande (2023), nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe/SP, que estimaram perdas de solo de até 100 t/ha.ano para essas áreas.

⁵⁰ A tolerância de perda de solo corresponde a um indicador que expressa a quantidade máxima de solo que pode ser perdida por processos erosivos sem comprometer a manutenção da sua produtividade ao longo do tempo.

Por sua vez, Brabo (2020), ao avaliar o município de São Miguel do Guamá/PA, identificou valores de perda de solo variando entre 0 e 1031,9 t/ha.ano, evidenciando elevada amplitude nos índices de erosão em função das características ambientais e do uso da terra em diferentes regiões do território brasileiro.

Considerando que a bacia do Ribeirão São Lourenço constitui fonte de captação de água para abastecimento público, a perda de solos pode favorecer o aporte de sedimentos aos cursos d'água, contribuindo para processos de assoreamento, aumento da turbidez e redução da profundidade dos canais. Essas alterações podem comprometer a qualidade da água e a capacidade de armazenamento e condução dos cursos d'água, além de aumentar a demanda por processos de tratamento.

Ademais, durante os períodos de estiagem, a redução sazonal da vazão dos canais (Figura 44), associada à menor disponibilidade hídrica, reforça a necessidade de atenção à segurança do abastecimento, especialmente diante da necessidade da utilização de fontes alternativas, como o rio Tijuco.

Figura 44 – (A) Período chuvoso e (B) Período de estiagem em trecho encachoeirado; (C) Sedimentos dispostos em trecho do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Marcondes (2024); Gazeta do Pontal (2022)

Nesse contexto, os resultados obtidos a partir da estimativa da perda de solos pela EUPS evidenciam a estreita relação entre a processos erosivos e dinâmica hídrica na bacia hidrográfica. A intensificação da perda de solos contribui para o aumento do aporte de sedimentos aos canais fluviais, comprometendo a qualidade da água, favorecendo o assoreamento e contribuindo para a redução da vazão.

Dessa forma, os resultados reforçam a necessidade de incorporar a análise da perda de solos nos instrumentos de gestão de recursos hídricos, uma vez que a degradação dos solos impacta diretamente a disponibilidade hídrica, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. A abordagem integrada entre solo, relevo, uso da terra, dinâmica hídrica e processos erosivos mostra-se fundamental para subsidiar estratégias de planejamento e manejo em bacias hidrográficas, especialmente no âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (CBH PN3), contribuindo para a conservação dos recursos naturais e para a mitigação dos impactos socioambientais.

A análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço reforça essa interpretação, ao permitir compreender aspectos relevantes da dinâmica hidrológica. Os índices relacionados à forma da bacia indicam um padrão predominantemente alongado, característica que tende a proporcionar maior tempo de concentração do escoamento, uma vez que a água proveniente das diferentes porções da bacia não chega simultaneamente ao exutório.

Como consequência, o escoamento ocorre de maneira mais distribuída ao longo do tempo, reduzindo a formação de fluxos concentrados e, conseqüentemente, atenuando picos de cheia e processos erosivos mais intensos (Schumm, 1956 *apud* Schmitt; Moreira, 2015; Hirata; Burkert, 2020). Assim, o formato alongado da bacia constitui um fator que contribui para a ocorrência de menores taxas de perda de solo.

A densidade de drenagem relativamente baixa, associada à densidade hidrográfica também reduzida, indica um sistema de drenagem pouco denso e um relevo com menor grau de dissecação. Valores baixos desses parâmetros costumam estar associados a áreas onde predominam rochas mais friáveis e solos mais permeáveis e profundos, como os Latossolos e Nitossolos presentes na área de estudo. Nessas condições, a infiltração da água no solo tende a ser favorecida, contribuindo para reduzir o transporte de sedimentos e a intensidade dos processos erosivos (Christofolletti, 1980; Moura; Oliveira; Nascimento, 2022).

Os parâmetros altimétricos também reforçam essa interpretação. A amplitude altimétrica de 267 m, associada à baixa razão de relevo e gradiente dos canais, indica a predominância de declividades suaves a onduladas. Em tais condições, a velocidade do escoamento tende a ser menor, diminuindo a capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo.

Contudo, embora os parâmetros morfométricos indiquem condições que tendem a atenuar a concentração do escoamento superficial, como sua forma alongada e a predominância de declividades suaves a suavemente onduladas, os resultados da EUPS evidenciam a ocorrência de perdas de solo elevadas em alguns locais da bacia.

Esse comportamento demonstra que, apesar da morfometria ser um importante parâmetro para descrever a dinâmica hidrológica, os processos erosivos são condicionados também por outros fatores, como a erosividade das chuvas, as características físicas e químicas dos solos e o uso e cobertura da terra.

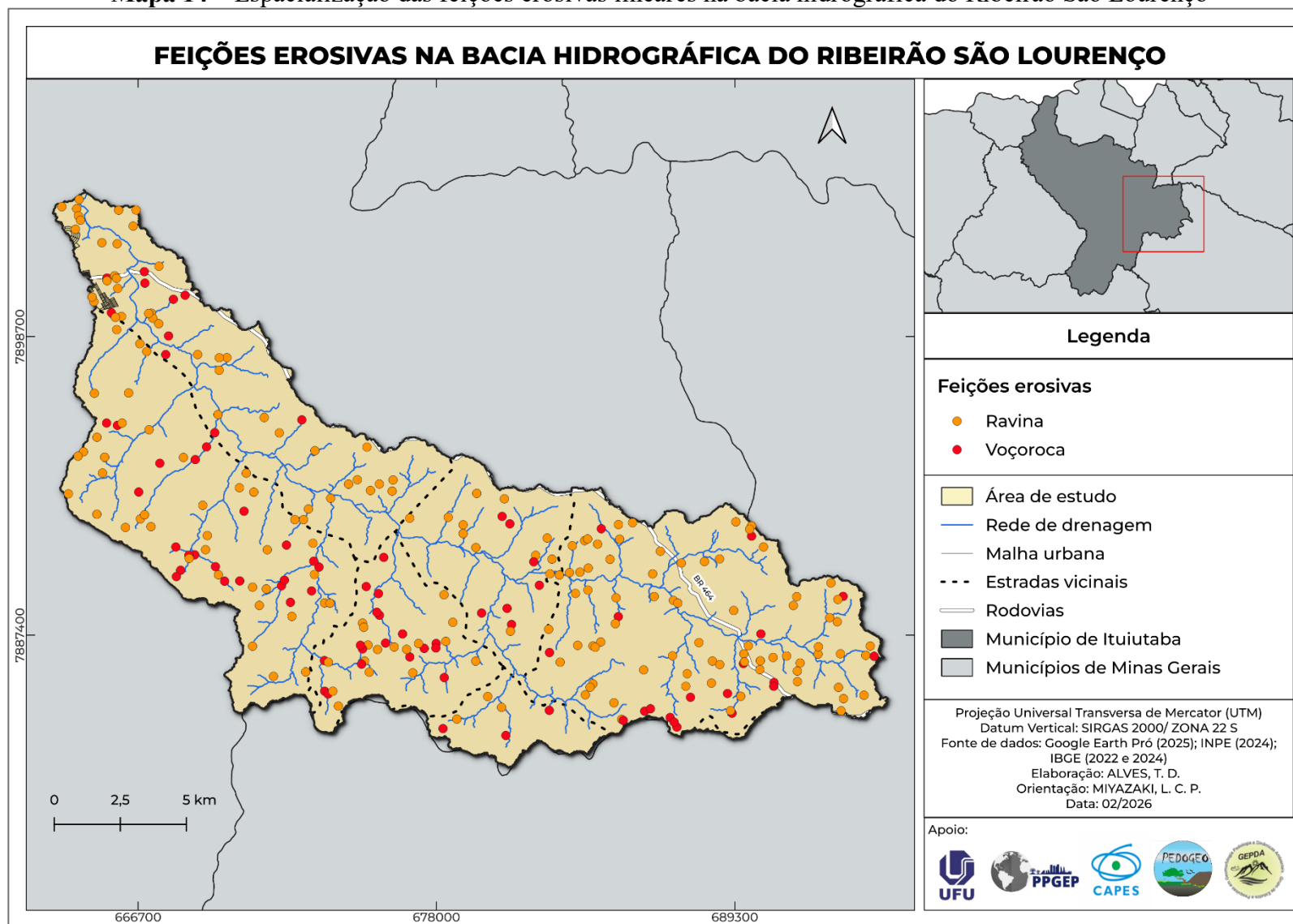
4.6 Interação entre a perda de solos por erosão laminar e o desenvolvimento de erosões lineares

Atualmente, as principais causas da erosão do solo por ação hídrica estão, em grande parte, associadas ao uso intensivo da terra e a expansão urbana, muitas vezes conduzidos no sentido do escoamento superficial (Teixeira, 2018). Nesse contexto, a cobertura da terra exerce influência direta sobre a dinâmica erosiva, uma vez que influencia na interceptação das gotas de chuva, na redução da velocidade do escoamento superficial e na proteção do solo contra o desprendimento e transporte de sedimentos. Assim, a supressão ou redução da cobertura vegetal, ocasionado pela ação antrópica, tende a intensificar os processos erosivos, favorecendo o surgimento e evolução das feições erosivas.

Os processos erosivos associados à formação de ravinas e voçorocas demandam monitoramento rigoroso devido aos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes de sua evolução. Embora as erosões laminares e lineares correspondam a processos distintos, sem relação direta de causa e efeito (Guerra, 2018), a ocorrência de erosões lineares se destaca na paisagem, além de contribuir para o aumento dos índices de perda de solos.

Sendo assim, apesar da EUPS constituir importante ferramenta para estimar as perdas de solo associadas à erosão laminar, essa metodologia não contempla os processos erosivos lineares, como ravinas e voçorocas. Nesse sentido, realizou-se o mapeamento das feições erosivas lineares, com ênfase nas formas do tipo ravina e voçoroca (Mapa 14), visando ampliar a compreensão da dinâmica de perda de solos e da evolução dos processos erosivos na bacia hidrográfica.

Mapa 14 – Espacialização das feições erosivas lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Fonte: Google Earth Pró (2025); INPE (2024). Elaborado pela autora (2026)

O mapeamento das feições erosivas lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço identificou 268 ocorrências, sendo 76 voçorocas e 192 ravinas, distribuídas por toda a bacia. Em estudo anterior na mesma área, Silva (2014), utilizando metodologia diferenciada e maior nível de detalhamento, registrou 1.773 ravinas e 104 voçorocas.

As ravinas são observadas predominantemente nos setores de alto e baixo curso da bacia. A maior parte dessas feições ocorre em áreas destinadas à pastagem, associadas tanto a trilhas formadas pelo pisoteio do gado quanto a proximidades de canais de drenagem e locais onde não são adotadas práticas adequadas de manejo. Além disso, também são identificadas nas proximidades da zona urbana e em áreas destinadas ao cultivo de lavouras temporárias.

Isso indica que, embora a erosividade das chuvas não tenha se mostrado um fator de grande influência no cálculo da EUPS para a área de estudo, a concentração de ravinas no alto curso da bacia pode estar relacionada aos elevados índices de precipitação registrados nessas áreas. Tal interpretação se reforça pelo fato de que, nessa área, a intensidade do uso antrópico é menos expressiva quando comparada ao baixo curso.

Por sua vez, as voçorocas são encontradas em áreas de pastagem, principalmente em locais de relevo mais acidentado e próximas as cabeceiras de drenagem, embora algumas também tenham sido observadas próximas a áreas agrícolas. As cabeceiras de drenagem concentram-se, em sua maioria, nos relevos residuais tabuliformes, locais que influenciam na evolução dos processos erosivos. Nas bordas desses relevos, observa-se uma maior tendência ao fluxo rápido do escoamento superficial, condição que favorece o desencadeamento e a intensificação da erosão, contribuindo para a evolução das feições erosivas (Silva, 2014).

Sendo assim, a distribuição das feições erosivas em relação do uso e da cobertura da terra pode ser observada na Tabela 28.

Tabela 28 – Quantidade de feições erosivas em relação ao uso e cobertura da terra e ao Fator CP na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Uso e cobertura	Fator CP (adimensional)	Feições erosivas (un)	Feições erosivas (%)
Corpos d'água	0	0	0
Vegetação nativa	0,0001	20	7,4
Reflorestamento	0,0006	2	0,8
Campo alagado	0,001	0	0
Área urbana	0,01	4	1,5
Pastagem	0,04	212	79,1
Agricultura	0,1 a 0,15	22	8,2
Solo exposto	1	8	3,0

Organizado pela autora (2026)

A alta ocorrência de feições erosivas em áreas de vegetação nativa (Fator CP 0,0001) chamaram atenção, uma vez que se pressupõe que esse tipo de cobertura exerce função protetora sobre o solo. No entanto, é importante destacar que a eficácia dessa proteção depende da extensão e da densidade da cobertura vegetal (Pereira, 2021). Em diversos pontos, essas formações apresentam-se de maneira fragmentada e pouco densa, o que reduz sua capacidade de proteger o solo de forma efetiva.

Conforme observado na tabela, as áreas classificadas como solo exposto (Fator CP 1) apresentam apenas oito feições erosivas, apesar da elevada suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos associada ao alto valor do Fator CP. Esse resultado pode ser explicado pela baixa representatividade dessa classe na área de estudo, uma vez que ela corresponde a apenas 0,4% da área total da bacia hidrográfica.

Na área urbana (Fator CP 0,01), foram identificadas quatro feições erosivas, todas classificadas como ravinas, associadas a terrenos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Já nas áreas próximas ao perímetro urbano, observa-se uma maior concentração de processos erosivos, possivelmente vinculados à dinâmica de apropriação e ocupação do relevo como às intervenções antrópicas características do ambiente urbano.

A Tabela 29 evidencia que a maior densidade de erosões ocorre no domínio das vertentes (70,2%), seguida pelos topos suavemente onduladas (22,4%). Observa-se que as ravinas apresentam maior predominância entre as áreas de topos das colinas e vertentes, enquanto as voçorocas ocorrem principalmente ao longo das vertentes próximas as cabeceiras de drenagem. Nessas áreas predomina a classe dos Latossolos, embora ao longo das vertentes também ocorram associações com Nitossolos.

Tabela 29 – Quantidade de feições erosivas em relação aos elementos das formas de relevo, classes de solos e Fator K na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Elementos das formas de relevo	Classes de solo	Fator K ($t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1}$)	Feições erosivas (un)	Feições erosivas (%)
Topo das colinas	Solos desenvolvidos (associação de Latossolos)		60	22,4
Domínio das vertentes	Solos pouco desenvolvidos a desenvolvidos (associação de Latossolos e Nitossolos)	0,0479	188	70,2
Topos dos relevos residuais	Solos rasos a pouco desenvolvidos (associação de Neossolos e Cambissolos)	0,0792	16	5,9
Planícies aluviais	Solos hidromórficos (associação de Gleissolos)	0,0488	4	1,5

Organizado pela autora (2026)

Embora essas classes de solo apresentem os menores índices de erodibilidade da bacia e boa resistência à erosão, concentram o maior número de feições erosivas. Esse padrão está relacionado, principalmente, às formas de uso e manejo da terra, que podem intensificar os processos erosivos, além da ampla distribuição dessas classes na bacia.

Por sua vez, nos topos dos relevos residuais, associados principalmente aos Neossolos e Cambissolos, foram identificadas 16 feições erosivas, a maioria localizada nas áreas de transição entre topo e vertente, onde se formam as cabeceiras de drenagem, com maior incidência de voçorocas.

Oliveira (2011) destaca que as cabeceiras de drenagem constituem áreas de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo, estabelecendo uma interação sinérgica que favorece o entalhamento do talvegue. Essa condição aumenta a suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, principalmente voçorocas, evidenciando o elevado risco de degradação nessas áreas e a necessidade de priorizar práticas de manejo conservacionista. Isso é corroborado pela relação de bifurcação entre os canais de 1ª e 2ª ordem (4,19), indicando um relevo mais dissecado, associado ao maior entalhamento e aprofundamento dos canais de drenagem.

Em relação a geologia, Silva (2014) analisou que mesmo estando distribuídas por boa parte da área de estudo, as voçorocas possuem uma maior concentração sobre os materiais residuais e transportados de natureza arenosa associados à Formação Marília, e apenas 2% ocorrem em material residual associado a Formação Serra Geral.

Com base nos resultados, verificou-se que as voçorocas e ravinas concentram-se principalmente nas classes de declividade correspondentes ao relevo suave ondulado (3–8%) e ondulado (8–20%), conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 – Quantidade de feições erosivas em relação a declividade e ao Fator LS na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Declividade	Fator LS	Feições erosivas (un)	Feições erosivas (%)
0-3%	0-2	22	8,2
3-8%	2-4	164	61,2
8-20%	4-6	63	23,5
20-45%	6-8	15	5,6
45-75%	8 a >10	4	1,5

Organizado pela autora (2026)

Esse padrão indica que a maior incidência de erosões lineares não está necessariamente associada às maiores declividades, mas sim às declividades de suave a onduladas, que correspondem a locais utilizados para atividades agropecuárias na bacia. Contudo, nas áreas de

maior declividade, a perda de solo tende a ser mais expressiva, uma vez que o escoamento superficial se intensifica. Nessas condições, quando os processos erosivos se iniciam, sua evolução costuma ocorrer de forma mais rápida, resultando em feições mais desenvolvidas, como voçorocas de maior profundidade e extensão.

Esse resultado também apresenta relação com Fator LS, uma vez que mesmo em locais onde os valores de LS não são extremamente elevados, a combinação entre a apropriação e ocupação do relevo, declividade e dinâmica do escoamento superficial contribui para a formação de ravinas e, em alguns casos, para a evolução de voçorocas, uma vez que rompe o equilíbrio dinâmico dos processos naturais.

Por fim, ao comparar os valores de perda de solos por erosão laminar com os pontos de ocorrência de feições erosivas lineares é observado que a maioria ocorre entre a faixa de 0 a 10 t/ha.ano (Tabela 31).

Tabela 31 – Quantidade de feições erosivas relacionado com a perda de solos na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

Perda de solos (t/ha.ano)	Feições erosivas (un)	Feições erosivas (%)
0-10	124	46,2
10-20	27	10,1
20-50	51	19,0
50-100	34	12,7
100-200	22	8,3
> 200	10	3,7

Organizado pela autora (2026)

Esses resultados evidenciam que parte expressiva das feições erosivas lineares ocorre em áreas classificadas com baixa a média perda de solo. Tal comportamento, além de ser justificado pela maior expressividade dessas áreas na bacia, também pode estar associado ao estágio evolutivo desses processos erosivos, visto que muitas das feições identificadas correspondem a ravinas em estágios intermediários de desenvolvimento.

Por outro lado, as classes que representam perdas de solo mais elevadas apresentam menor número de ocorrências. Contudo, embora menos frequentes, essas áreas tendem a concentrar processos erosivos mais intensos e desenvolvidos, frequentemente associados à presença de voçorocas e a condições de maior declividade e maior concentração do escoamento superficial, fatores que potencializam a remoção e o transporte de material ao longo das vertentes.

Esse padrão demonstra que a presença de feições erosivas não está necessariamente restrita às áreas com maiores estimativas de perda de solo, uma vez que as erosões lineares podem se desenvolver mesmo em áreas classificados com menores taxas de perda,

especialmente quando associados ao uso inadequado do solo, à ausência de cobertura vegetal ou à declividade elevada.

Dessa forma, a análise integrada entre perda de solo estimada pela EUPS e a ocorrência de feições erosivas lineares mapeadas contribui para uma compreensão mais ampla da dinâmica erosiva na bacia. Além disso, essa abordagem possibilita compreender de maneira mais consistente a atuação conjunta da erosão laminar e linear no comprometimento da estabilidade das vertentes, na redução da capacidade produtiva dos solos e no aumento dos problemas ambientais associados ao assoreamento dos cursos d'água, que eleva os custos da manutenção e tratamento da água.

4.7 Morfodinâmica atual e a apropriação e ocupação do relevo associadas à perda de solos

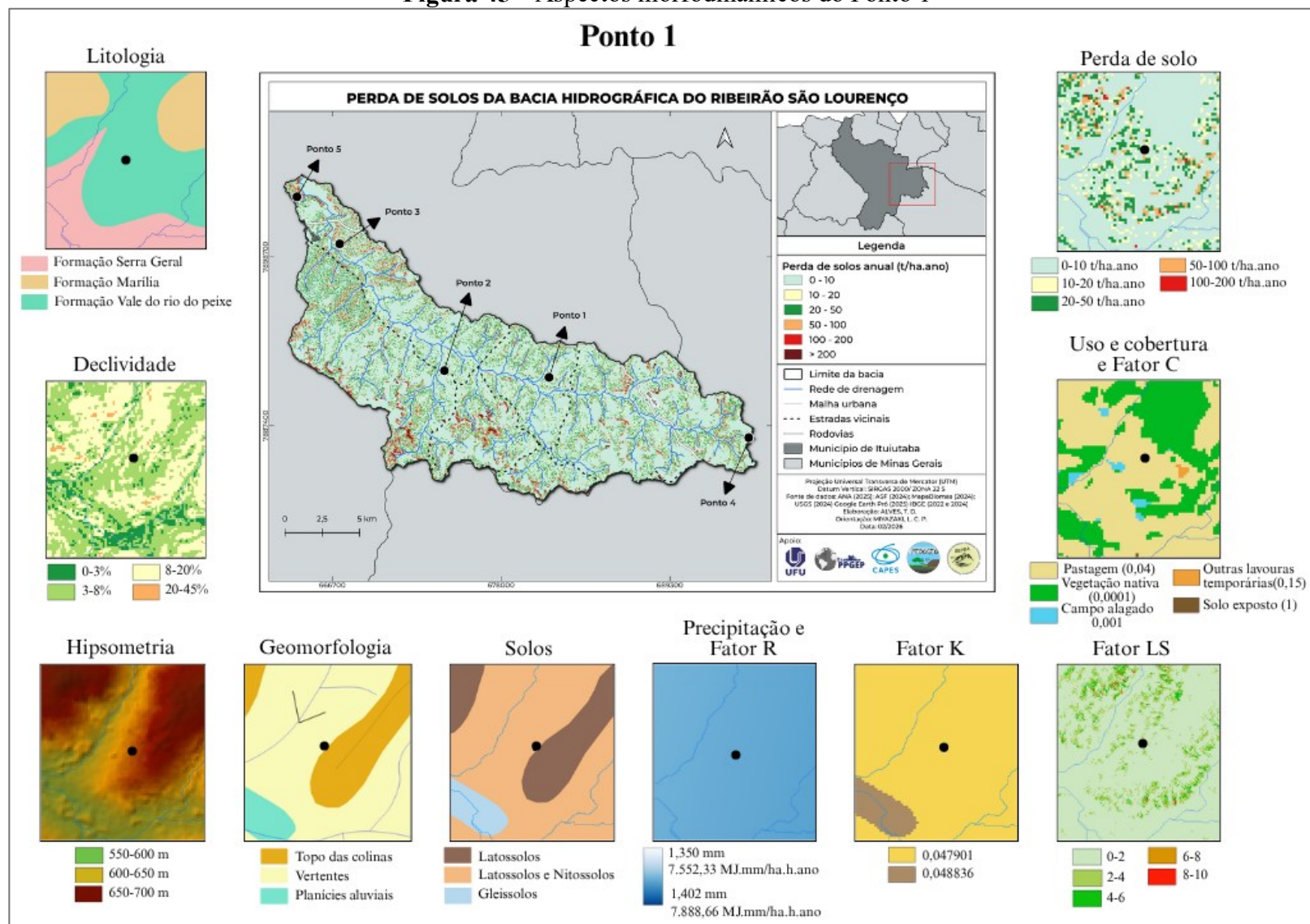
O rompimento do equilíbrio dinâmico dos processos naturais está diretamente associado à morfodinâmica atual, uma vez que as ações antrópicas favorecem a intensificação dos processos erosivos. Nesse contexto, a modelagem do relevo passa a se manifestar por meio do surgimento e da evolução de feições erosivas, bem como pela deposição de sedimentos em diferentes pontos da paisagem, evidenciando a atuação contínua dos agentes erosivos.

Dessa forma, compreender a interação entre a remoção das camadas superficiais do solo (especialmente em áreas onde características do relevo, como declividade e comprimento de vertente, favorecem a concentração do escoamento superficial) e os processos de apropriação e ocupação do relevo torna-se essencial para uma análise mais aprofundada da dinâmica de perda de solos.

Sendo assim, com o objetivo de complementar a análise espacial da perda de solos e dos processos morfodinâmicos, foram definidos alguns pontos amostrais na área de estudo. A observação direta nesses locais possibilitou validar e complementar as informações obtidas nas análises espaciais, contribuindo para uma interpretação mais detalhada e consistente dos processos erosivos em razão da apropriação e ocupação do relevo na bacia.

O primeiro ponto (Figura 45) localiza-se no médio curso da bacia, em posição de alta vertente, condição que tende a favorecer a ocorrência de processos erosivos devido à ação da gravidade. As vertentes constituem áreas de transferência de materiais na paisagem, nas quais a água das chuvas escoar em direção aos canais de drenagem, contribuindo para o transporte de sedimentos.

Figura 45 – Aspectos morfodinâmicos do Ponto 1



Em termos hipsométricos, o Ponto 1 apresenta altitudes entre 600 e 650 metros, com declividades variando entre 3% e 8% e baixo Fator LS. Nessas condições de declividade, há tendência de menor atuação dos processos morfogênicos, favorecendo o desenvolvimento dos processos pedogênicos, uma vez que a infiltração da água no solo geralmente supera o escoamento superficial (Costa, 2024). Entretanto, a apropriação e o uso do relevo podem modificar essa dinâmica, uma vez que a remoção da cobertura vegetal, a compactação do solo e a alteração das condições de superfície podem favorecer o aumento do escoamento superficial, mesmo em áreas de declividade suave ondulada.

No que se refere à litologia, o Ponto 1 está inserido na Formação Vale do Rio do Peixe, composta por unidades sedimentares que apresentam materiais relativamente friáveis e suscetíveis ao intemperismo. Essa condição favorece o fornecimento de sedimentos e contribui para a formação de solos profundos, como Latossolos e Nitossolos presentes na área de estudo, com menor erodibilidade.

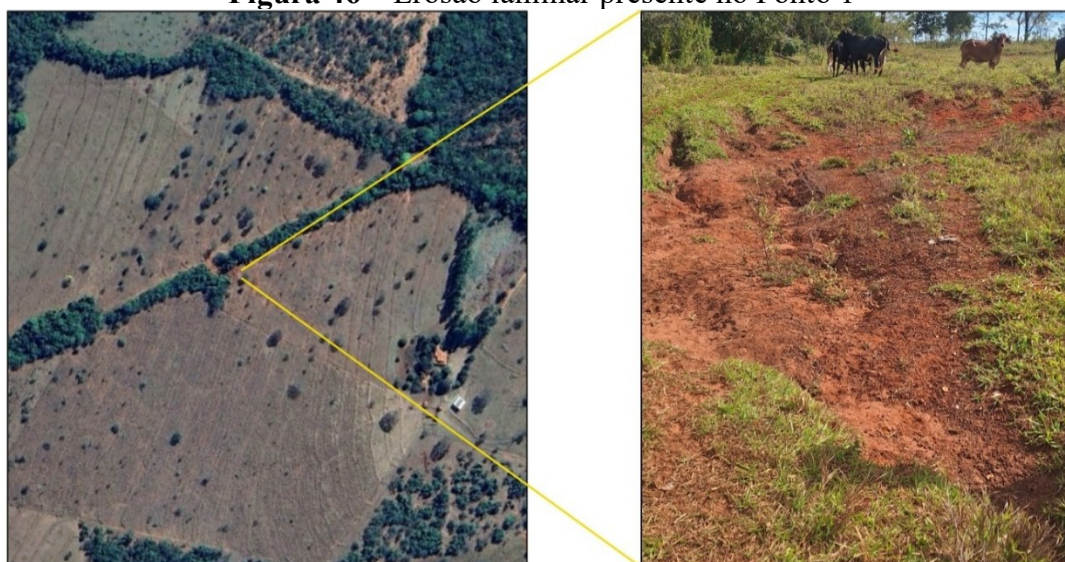
Em relação aos fatores climáticos, observa-se que o índice de precipitação anual na área é relativamente elevado, indicando um potencial expressivo de erosividade das chuvas (Fator R). Nesse contexto, eventos pluviométricos intensos e concentrados em determinados períodos do ano tendem a intensificar os processos erosivos nesse local.

De modo geral, essas características naturais tendem a configurar um ambiente relativamente equilibrado, no qual os processos erosivos ocorrem de forma lenta, em escala de tempo adequada. Sendo assim, em condições naturais, há um maior favorecimento da infiltração da água no solo e maior estabilidade da cobertura pedológica, o que contribui para reduzir a suscetibilidade à erosão.

No que se refere ao uso e ocupação da terra, o local corresponde a uma área de pastagem destinada à atividade pecuária. Esse tipo de uso pode favorecer a compactação do solo em decorrência do pisoteio do gado, além de proporcionar menor proteção da superfície quando comparado à vegetação nativa. Quando a pastagem se encontra degradada, essa condição tende a aumentar a vulnerabilidade do solo à erosão, uma vez que ocorre o rompimento do equilíbrio dinâmico.

Esse processo pode ser observado no Ponto 1, onde se verifica a ocorrência de erosão laminar (Figura 46) sobre a área de pastagem, com presença de sulcos em alguns pontos, demonstrando a evolução dessa feição. Em áreas de pastagem quando há compactação do solo causada pelo pisoteio do gado, a capacidade de infiltração da água tende a diminuir, o que favorece o aumento do escoamento superficial.

Figura 46 – Erosão laminar presente no Ponto 1



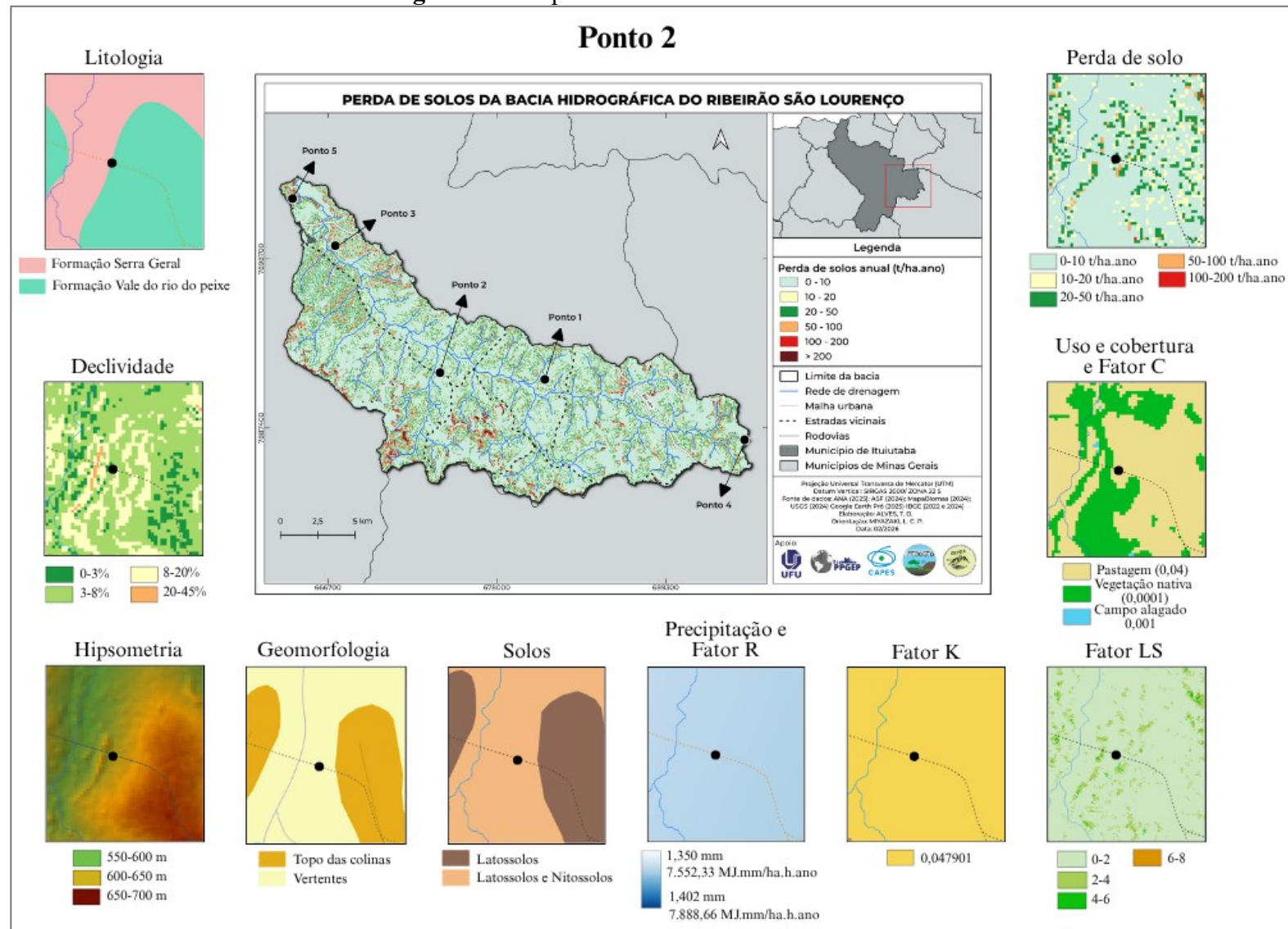
Fonte: Google Earth Pró (2025); Alves (2025). Elaborado pela autora (2026)

A distribuição espacial da perda de solo indica que o ponto analisado está inserido em uma área onde predominam classes de perda de solo de baixa a moderada intensidade. Contudo, observam-se manchas localizadas com valores mais elevados nas proximidades, o que sugere a ocorrência pontual de condições mais favoráveis à intensificação da perda de solos.

Nesse sentido, observa-se que os processos erosivos identificados no Ponto 1 estão diretamente relacionados às formas de apropriação e ocupação do relevo, marcadas pelo predomínio de áreas de pastagem destinadas à pecuária. Soma-se a isso a atuação da precipitação sobre solos que, apesar de apresentarem características físicas favoráveis, tornam-se mais suscetíveis à erosão quando submetidos a mudanças no uso da terra sem práticas adequadas de manejo. A interação entre esses fatores favorece o desencadeamento e o aumento dos processos erosivos, configurando meios morfodinâmicos intermediários e contribuindo para explicar os padrões de perda de solo observados nesse parte da bacia.

O segundo ponto (Figura 47) localiza-se no médio curso da bacia, em posição de média vertente convexa. Essa morfologia resulta do processo de dissecação do relevo e influencia diretamente a dinâmica do escoamento, uma vez que essa forma tende a promover a dispersão das águas pluviais ao longo da encosta.

Figura 47 – Aspectos morfodinâmicos do Ponto 2



Elaborado pela autora (2026)

A área apresenta declividades variando entre 3% e 8%, caracterizando um relevo suave ondulado com baixo fator topográfico e altitudes situadas entre 600 e 650 metros, condições parecidas como as observadas no Ponto 1.

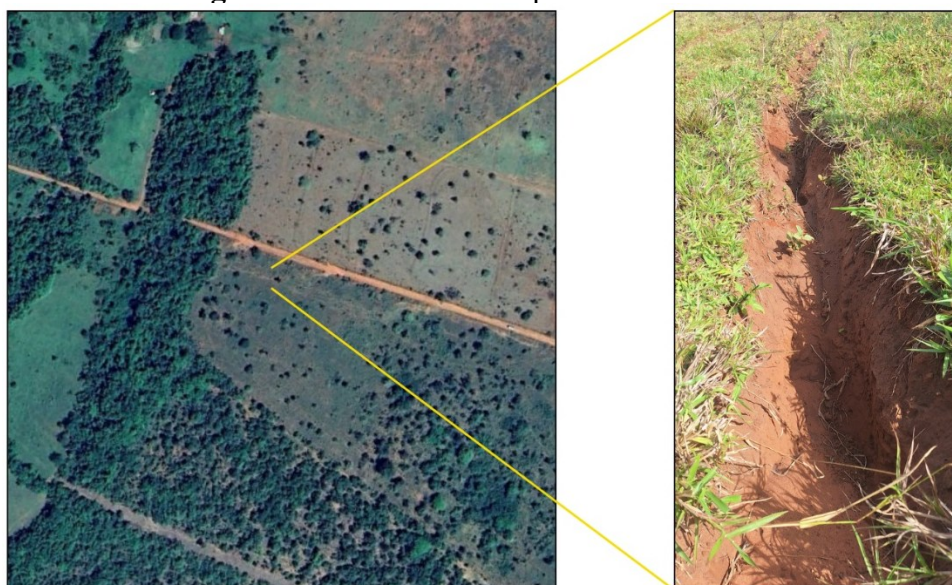
A litologia do Ponto 2 corresponde a uma zona de transição entre as Formações Serra Geral e Vale do Rio do Peixe. A interação entre essas unidades litológicas pode influenciar o desenvolvimento dos solos, contribuindo para a formação de perfis pedológicos com características distintas, uma vez que os solos derivados da Formação Serra Geral, em geral, apresentam uma concentração de argila mais elevada (Costa, 2024).

Nessa área, assim como no Ponto 1, predominam Latossolos e Nitossolos, que apresentam a erodibilidade mais baixa. Essa condição, como já dita anteriormente, quando associada à erosividade média das chuvas e baixa declividade, tende a favorecer a predominância dos processos pedogenéticos, contribuindo para a manutenção do equilíbrio dinâmico.

A análise do uso e cobertura da terra indica a ocorrência de áreas de pastagem, muito embora no ponto observado não se identifique um uso direto aparente. Destaca-se ainda a proximidade com um fragmento de vegetação nativa relativamente preservado, que pode contribuir para a manutenção de condições ambientais mais estáveis no entorno.

Apesar disso, observa-se a presença de sulcos erosivos (Figura 48) sobre a área de pastagem, caracterizando o estágio inicial da erosão linear. Essa feição evidencia a intensificação do escoamento superficial, que passa a se concentrar em pequenos caminhos preferenciais.

Figura 48 – Sulco erosivo presente no Ponto 2



Fonte: Google Earth Pró (2025); Alves (2025). Elaborado pela autora (2026)

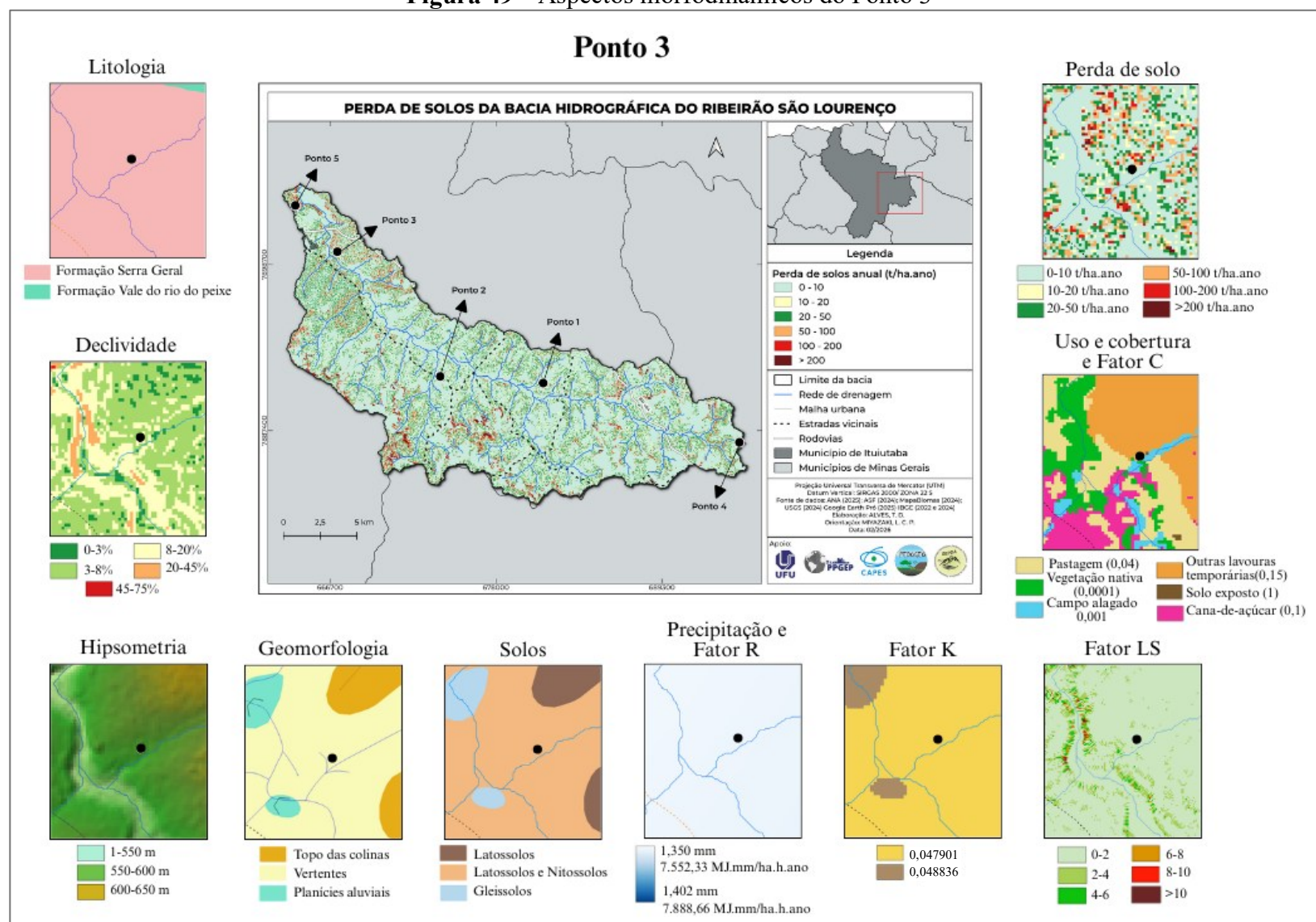
A distribuição espacial da perda de solo no Ponto 2 indica que a área está inserida predominantemente na classe de nula a pequena perda de solo (0–10 t/ha.ano). Ainda assim, os processos erosivos observados nesse local são mais intensos resultado da interação entre a declividade da vertente e a degradação das áreas de pastagem.

Mesmo sem evidências claras de uso direto no Ponto 2, é possível que a área esteja sendo influenciada por fluxos provenientes das porções mais altas da vertente que formam caminhos preferenciais. Caso esse processo não seja controlado, há potencial para a evolução dessas feições erosivas para estágios mais avançados, como ravinas.

Diante disso, evidencia-se que a morfodinâmica atual da área apresenta caráter intermediário, uma vez que, apesar de manter relativo equilíbrio dinâmico por não apresentar um uso específico, manifesta sinais pontuais de instabilidade. Esses aspectos podem contribuir, ao longo do tempo, para a intensificação das taxas de perda de solo, ressaltando a importância da adoção de práticas adequadas de manejo no entorno para reduzir a concentração do escoamento e contribuir para a manutenção da estabilidade da área.

O terceiro ponto (Figura 49) localiza-se no baixo curso da bacia, em posição de baixa vertente. Essa área corresponde a uma zona de transição entre as porções médias da encosta e os fundos de vale, caracterizando-se por declividades reduzidas. Nessas porções inferiores das encostas, ocorre frequentemente a convergência de fluxos hídricos e de sedimentos, favorecendo a concentração de materiais transportados ao longo da vertente (Christofoletti, 1980; Guerra; Cunha, 2018).

Figura 49 – Aspectos morfodinâmicos do Ponto 3



Elaborado pela autora (2026)

Assim como nos pontos anteriormente analisados, o Ponto 3 apresenta declividades variando entre 3% e 8%, embora nas proximidades do curso d'água esses valores possam alcançar até 20% demonstrando um leve entalhamento do talvegue. Assim, a predominância de um relevo suave ondulado implica em valores mais baixos do Fator LS, diminuindo a velocidade do escoamento e a capacidade de transporte de sedimentos. Em termos hipsométricos, essa área situa-se em cotas altimétricas relativamente mais baixas da bacia, devido à sua proximidade com a foz, apresentando altitudes que variam entre 550 e 600 metros.

A geologia da área está associada aos basaltos da Formação Serra Geral, que apresentam maior resistência ao intemperismo. Nesse contexto, a base litológica contribui para a compreensão da morfogênese local, uma vez que o processo de esculturação do relevo ocorre de forma relativamente lenta sobre um substrato rochoso mais resistente (Costa, 2024). Além disso, a baixa declividade contribui para o desenvolvimento de solos mais profundos.

Nesse sentido, assim como nos demais pontos analisados, observa-se a predominância de Latossolos e Nitossolos, apresentando erodibilidade baixa para a bacia. Nas áreas situadas próximas à foz, em função das características litológicas, verifica-se uma maior associação de Nitossolos e de Latossolos com um maior teor de argila.

Em relação à precipitação, essa área apresenta menores índices pluviométricos quando comparada ao alto curso da bacia. Dessa forma, a erosividade das chuvas tende a ser menor, uma vez que a ocorrência de eventos pluviométricos intensos, responsáveis por maior energia cinética das gotas de chuva, é relativamente reduzida (Guerra, 2018).

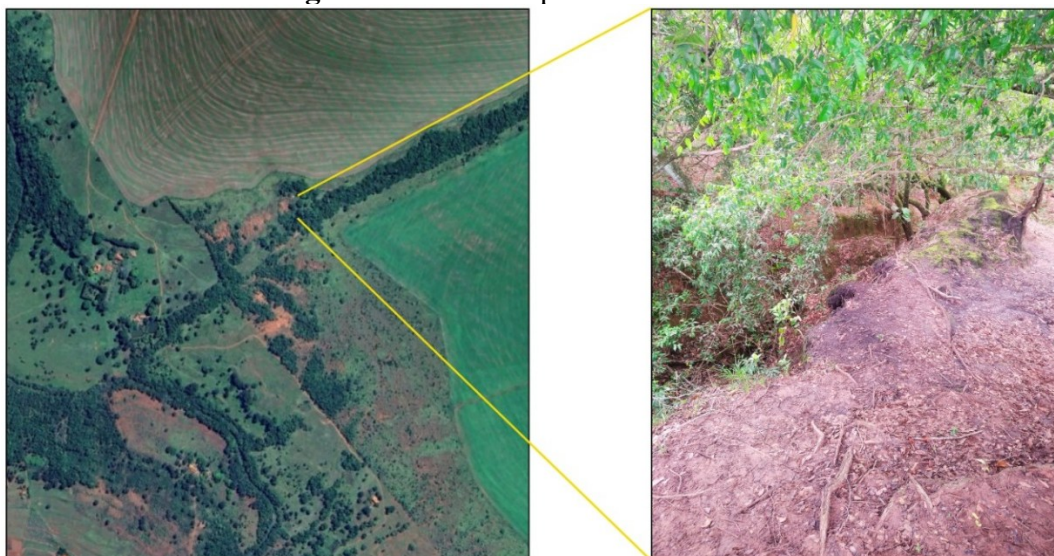
Considerando as características naturais dessa área, a combinação entre menor erosividade das chuvas, baixa erodibilidade dos solos, geologia mais resistente e relevo com declividades mais suaves contribui para a manutenção de uma morfodinâmica mais estável nessa porção da bacia. Nessas condições, o desencadeamento e a intensificação dos processos erosivos tendem a ser menor, contribuindo para a conservação dos solos.

Todavia, o uso e a cobertura da terra associados às lavouras temporárias, observadas no entorno do Ponto 3, podem elevar a suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Isso ocorre porque as formas de uso da terra exercem influência direta sobre a proteção superficial do solo, e práticas agrícolas que favorecem a sua exposição tendem a intensificar o escoamento superficial e, conseqüentemente, levando o desencadeamento de processos erosivos (Costa, 2024), que pode ser associado aos elevados índices de perda de solos nessas áreas.

Esta situação pode ser observado no Ponto 3, com a ocorrência de ravinas ao longo da vertente (Figura 50), além da incidência de solo exposto. Essas feições indicam a concentração

do escoamento superficial em determinados pontos da vertente, favorecendo o aprofundamento dos sulcos e a evolução das formas erosivas.

Figura 50 – Ravina presente no Ponto 3



Fonte: Google Earth Pró (2025); Alves (2021). Elaborado pela autora (2026)

Essas feições erosivas são marcadas pela exposição de raízes e margens instáveis, demonstrando que estão em processo evolutivo. O escoamento superficial proveniente das áreas de lavoura temporária tende a convergir para a rede de drenagem, de modo que a presença dessas feições na baixa vertente favorece o transporte direto de sedimentos para o sistema fluvial.

Outro aspecto observado na área é o acúmulo de cascalhos, seixos e fragmentos lateríticos (conhecidos popularmente como tapiocanga)⁵¹ em determinados pontos da baixa vertente (Figura 51). Segundo Nishiyama (1989), os sedimentos presentes na região são de idade cenozoica (Terciário e Quaternário) e são compostos predominantemente por seixos de quartzo e quartzito, além de fragmentos de crostas lateríticas.

⁵¹ As lateritas correspondem a materiais endurecidos ricos em óxidos de ferro e alumínio, formados pelo intenso intemperismo químico em ambientes tropicais.

Figura 51 – (A) Presença de cascalhos e seixos; (B) Fragmentos lateríticos observados no Ponto 3



Fonte: Alves (2021)

O acúmulo de cascalhos e seixos nas porções mais baixas das vertentes pode estar associado à prática de cascalhamento das estradas rurais nas áreas de topo. Com o uso contínuo e a compactação dessas vias, parte desse material pode ser transportada pelo escoamento superficial ao longo das encostas, sendo posteriormente depositada em áreas de menor declividade (Costa, 2024).

Observa-se também a presença de afloramentos de quartzo (Figura 52). Esses quartzos se formam em rochas basálticas, onde cavidades formadas pela liberação de gases durante o resfriamento da lava podem posteriormente ser preenchidas por minerais secundários precipitados a partir de fluidos hidrotermais. Esses preenchimentos, conhecidos como amígdalas, podem conter minerais como zeólitas, ágata, calcedônia e quartzo (Frank, 2008).

Figura 52 – (A) Afloramento de quartzo; (B) Fragmento de quartzo derivado do afloramento no Ponto 3



Fonte: Alves (2021)

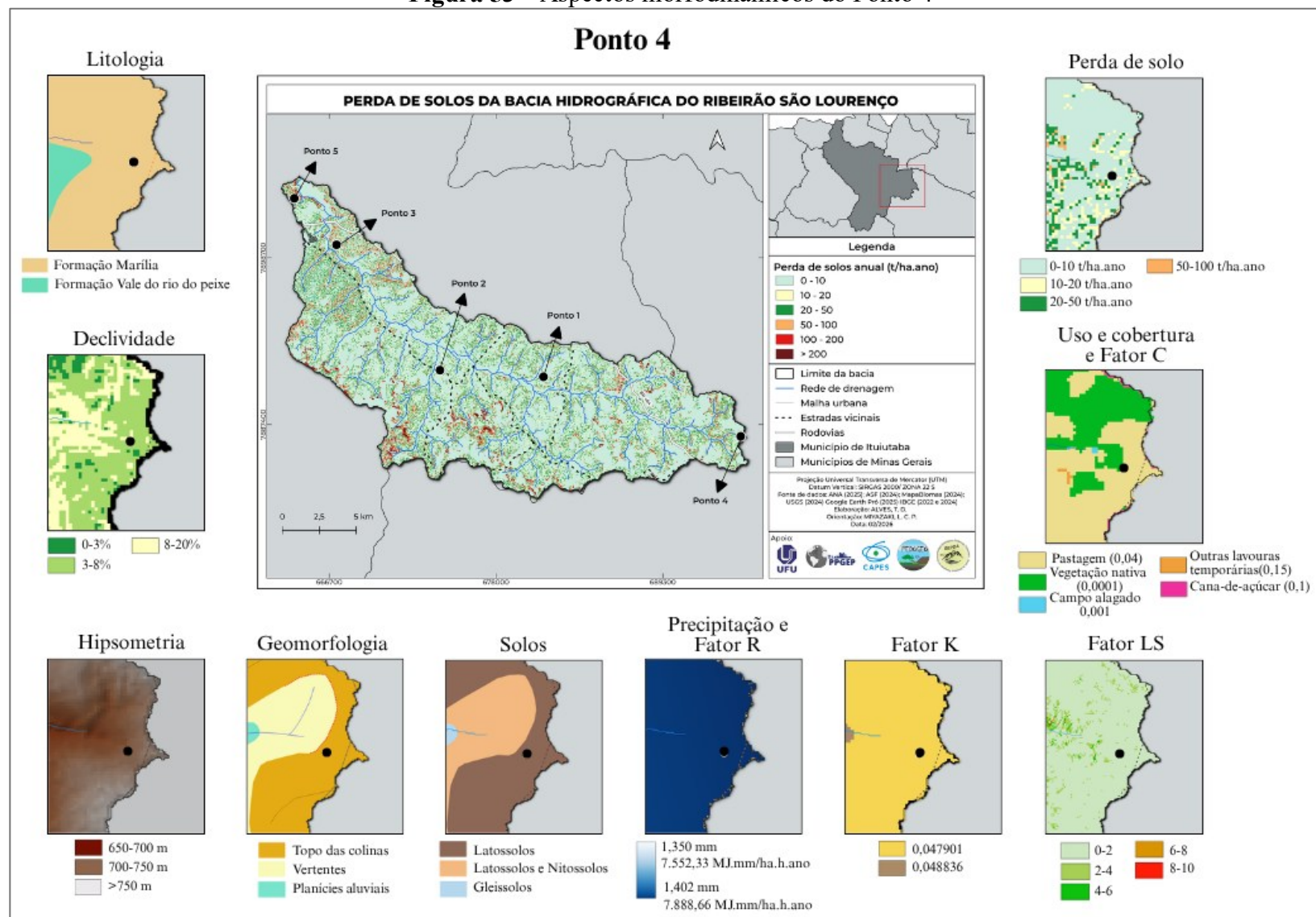
Com o avanço do intemperismo, o basalto tende a sofrer processos de alteração e fragmentação, expondo os minerais presentes em sua estrutura. Nesse contexto, minerais como o quartzo apresentam maior estabilidade frente aos processos intempéricos, permanecendo preservados mesmo após a decomposição da rocha matriz, podendo aflorar na superfície e/ou ser liberados ao longo das vertentes.

De modo geral, é perceptível que o equilíbrio dinâmico neste local foi rompido, caracterizando meios morfodinâmicos instáveis, resultando em processos mais intensos de perda de solo. Esse cenário pode estar associado à dinâmica de apropriação e ocupação do relevo por práticas agrícolas voltadas às lavouras temporárias, que, mesmo adotando determinadas técnicas de manejo, podem favorecer a exposição do solo em certos períodos o que intensifica o escoamento superficial.

Associado a esse processo, observa-se o acúmulo de materiais mais grosseiros na baixa vertente, cuja presença pode representar um indicativo indireto de perda de solo nas áreas situadas a montante.

O quarto ponto localiza-se no alto curso da bacia (Figura 53), em área de topo de colinas convexas. Os topos dessas colinas, em função de sua posição na paisagem, tendem a apresentar condições relativamente mais estáveis, favorecendo a atuação de processos pedogenéticos e o desenvolvimento de solos mais profundos. Em decorrência disso, essas áreas apresentam superfícies relativamente planas e com certo grau de uniformidade.

Figura 53 – Aspectos morfodinâmicos do Ponto 4



Elaborado pela autora (2026)

As declividades são predominantemente baixas, variando entre aproximadamente 3% e 8%, o que caracteriza um relevo suave ondulado. Nessa condição, os valores do Fator LS tendem a ser baixos, refletindo a presença de vertentes pouco inclinadas e um menor potencial erosivo. A hipsometria da área varia entre 650 e 750 m, indicando altitudes relativamente mais elevadas no contexto da bacia.

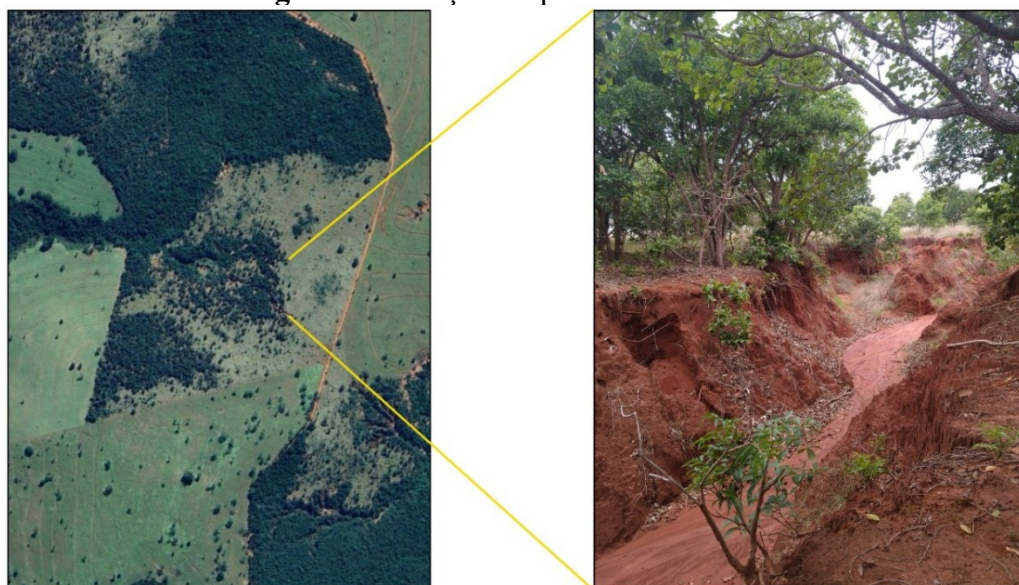
O topo amplo e suavemente ondulado apresenta predominância de solos profundos, associados principalmente aos Latossolos, resultantes do intenso intemperismo dos arenitos da Formação Marília. Silva (2014) relaciona os solos observados nesse ponto ao resultado do transporte de sedimentos provenientes da Formação Marília, associados também a materiais residuais da Formação Vale do Rio do Peixe.

A base litológica contribui para a compreensão da morfogênese local, uma vez que os processos de esculturação do relevo ocorrem sobre sedimentos com diferentes graus de resistência ao intemperismo. Associado a isso, as baixas declividades reduzem a energia do escoamento superficial, favorecendo a predominância de processos pedogenéticos em detrimento dos morfogenéticos.

Essa interpretação é corroborada pelos valores relativamente baixos do Fator K na bacia, que indicam menor suscetibilidade do solo à erosão. Por outro lado, observa-se elevado potencial de erosividade das chuvas na área, uma vez que no alto curso da bacia são registrados os maiores índices pluviométricos. Dessa forma, embora os solos apresentem menor erodibilidade natural, a elevada erosividade pode favorecer o desprendimento de partículas do solo.

No que se refere ao uso e cobertura da terra, observa-se a predominância de áreas de pastagem nas porções de topo, enquanto ao longo da vertente ocorre a presença de vegetação nativa, sendo destinada à reserva legal. A presença dessa cobertura vegetal, aliada ao fato de ser uma área de conservação, contribui para a proteção do solo.

Apesar dessas características indicarem uma tendência a baixos índices de perda de solo, no local observa-se a presença de uma feição erosiva do tipo voçoroca, sendo uma das maiores identificadas na área de estudo (Figura 54). Além disso, é possível observar outras voçorocas no entorno, associadas a bacias hidrográficas adjacentes, demonstrando um desequilíbrio dinâmico nessas áreas.

Figura 54 – Voçoroca presente no Ponto 4

Fonte: Google Earth Pró (2025); Alves (2021). Elaborado pela autora (2026)

Segundo Silva (2014), os materiais inconsolidados transportados nesses locais apresentam variações de permeabilidade entre suas camadas, em função das diferenças granulométricas e do grau de cimentação. As camadas menos permeáveis atuam como verdadeiros assoalhos, condicionando o nível de água subsuperficial. Nessas condições, o afloramento da água, frequentemente associada à formação de cabeceiras de drenagem, ocorre devido à presença desses níveis menos permeáveis subjacentes, favorecendo o desenvolvimento de processos erosivos relacionados ao fluxo subsuperficial.

Embora as voçorocas estejam distribuídas por grande parte da área de estudo, é perceptível maiores ocorrências sobre materiais residuais e transportados de natureza arenosa associados à Formação Marília. Em contraste, são menos frequentes sobre os materiais residuais da Formação Serra Geral, como também observado por Silva (2014). Esse contexto tem relação com os solos desenvolvidos nessa litologia, que apresentam maior coesão e maior teor de argila, características que tendem a conferir mais resistência aos processos erosivos (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

Observam-se, em alguns trechos, indícios de estabilização do processo erosivo, entretanto, em outros locais a feição ainda apresenta sinais de evolução, com possíveis processos de aprofundamento e avanço da erosão. Nesse contexto, mesmo com a presença de vegetação nativa, a cobertura vegetal não tem se mostrado totalmente eficiente na contenção do escoamento superficial concentrado. Essa condição pode ser evidenciada pela presença de rotas preferenciais de fluxo hídrico (Pereira, 2021), que favorecem a continuidade dos processos erosivos e a evolução da voçoroca.

Foram identificadas no interior da voçoroca diversas formas erosivas, entre elas as alcovas de regressão e os filetes subverticais (Figura 55). De acordo com Oliveira (2015), as alcovas constituem formas resultantes da ação do escoamento superficial concentrado na forma de filetes subverticais ou da exfiltração do lençol freático⁵², podendo ainda originar-se da interação entre esses dois mecanismos. Esses filetes subverticais desenvolvem-se predominantemente em materiais pouco coesos, embora também possam ocorrer, com menor frequência, em materiais que apresentam maior grau de coesão.

Figura 55 – (A) Presença de alcova de regressão; (B) Filetes subverticais no Ponto 4



Fonte: Alves (2021)

Outras formas identificadas são os *demoiselles*, também denominados pedestais ou pirâmides de fada, e os dutos, frequentemente chamados de pipes (Figura 56). As *demoiselles* correspondem a formas resultantes da erosão diferencial condicionada pelo escoamento superficial. Nesse processo, o fluxo hídrico ao transportar os detritos superficiais não consegue remover por completo as estruturas protegidas por fragmentos de rocha mais resistentes, o que favorece a permanência de pequenas pirâmides residuais (Guerra, 2015). Segundo Oliveira (2015), essas feições são comuns no interior de ravinas e voçorocas e podem, inclusive, servir como indicadores da intensidade do escoamento superficial nas superfícies onde foram esculpidas.

⁵² Ponto de afloramento do lençol freático.

Figura 56 – (A) Registro de *demoiselles* (pedestais); (B) Presença de pipes na parede da voçoroca no Ponto 4



Fonte: Alves (2021)

Já os pipes correspondem a canais desenvolvidos em subsuperfície, com diâmetros variados, formados em decorrência da dissolução e do carreamento de minerais no interior do solo. Esses canais podem evoluir progressivamente e são capazes de transportar grandes quantidades de material, contribuindo para a ampliação dos processos erosivos (Guerra, 2015)⁵³.

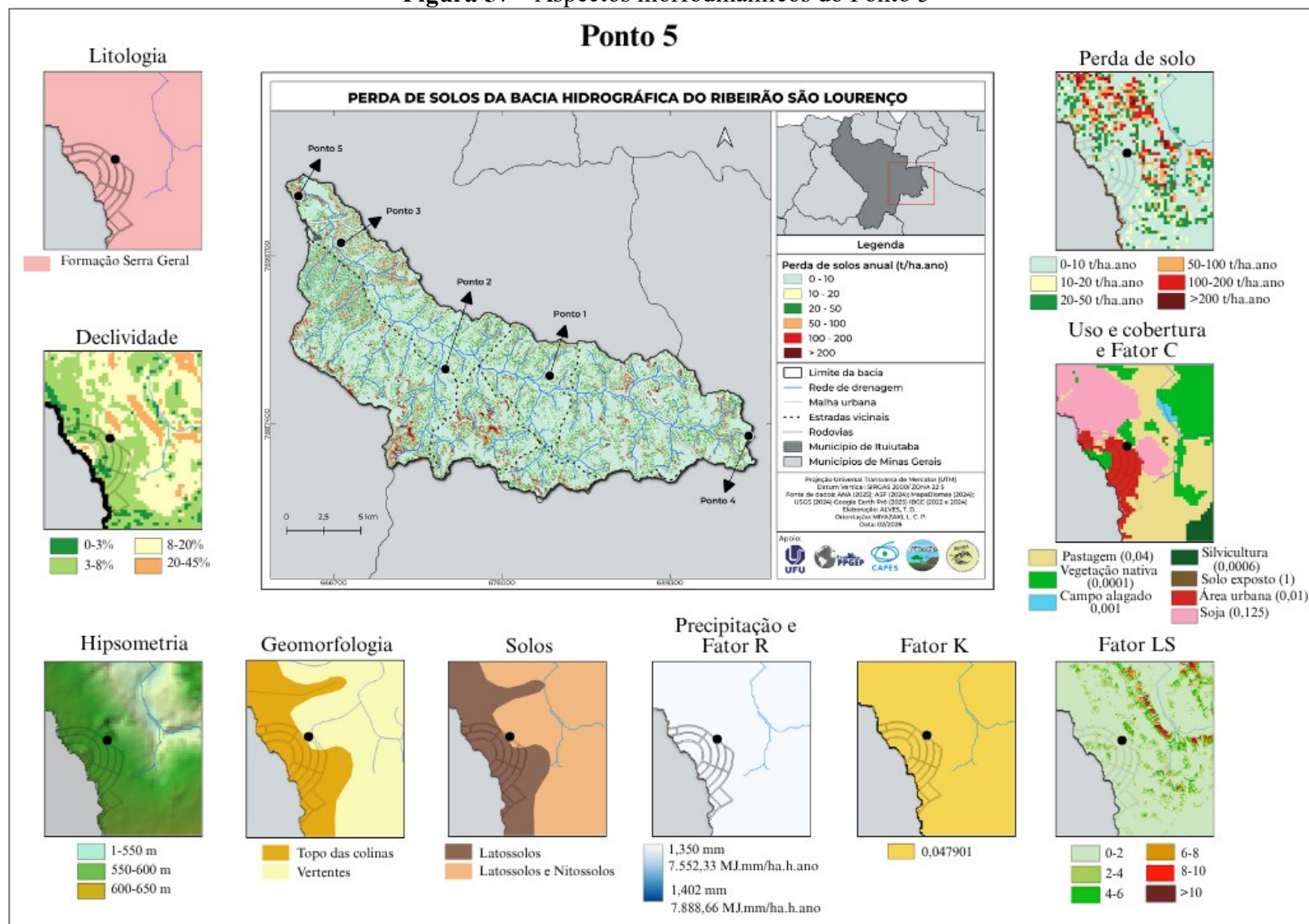
Nesse sentido, observa-se que o Ponto 4 apresenta um desequilíbrio dinâmico, caracterizando um meio morfodinâmico instável, evidenciado pelo avanço da voçoroca, considerada o estágio mais avançado da erosão linear. A evolução dessa feição pode estar associada à intensificação do escoamento superficial, possivelmente relacionada aos maiores índices pluviométricos registrados na área de estudo, que ampliam o potencial erosivo das chuvas.

Soma-se a isso a natureza do material de origem, proveniente das Formações Marília e Vale do Rio do Peixe, caracterizadas por variações granulométricas e diferentes graus de cimentação, favorecendo a formação de solos mais arenosos, aumentando a suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos relacionados ao fluxo subsuperficial (Silva, 2014).

O último ponto analisado está localizado no baixo curso da bacia e situa-se em alta vertente de uma área urbanizada (Figura 57). Essa posição na vertente corresponde a uma zona próxima ao divisor topográfico, onde predominam os processos de infiltração e geração inicial do escoamento superficial.

⁵³ Vale ressaltar que existem também muitas cavidades semelhantes que são formadas pela ação de animais.

Figura 57 – Aspectos morfodinâmicos do Ponto 5



Elaborado pela autora (2026)

A declividade varia entre 3 e 8%, semelhante aos demais pontos analisados, podendo alcançar até 20% em áreas próximas. Essas condições refletem em baixos valores do Fator LS, associados às pequenas declividades e ao comprimento das vertentes. A hipsometria, assim como no Ponto 3, varia entre 550 e 600 m, sendo que as cotas mais baixas estão associadas às áreas próximas à foz da bacia.

O Ponto 5 encontra-se inserido sobre litologias da Formação Serra Geral, como já dito anteriormente, essas litologias são constituídas por basaltos, rochas que apresentam elevada resistência ao intemperismo físico e químico. Essa base litológica influencia diretamente a formação dos solos na área, predominando Latossolos e Nitossolos, que se caracterizam por serem solos profundos, bem desenvolvidos e, nesse caso, com maior teor de argila.

Associado a essas características, observa-se também menor erosividade das chuvas nos setores de baixo curso da bacia, uma vez que essas áreas apresentam os menores índices pluviométricos da área de estudo, o que contribui para reduzir o desencadeamento dos processos erosivos.

No que se refere ao uso e à cobertura da terra, o Ponto 5 encontra-se inserido em área urbana, com presença de vegetação nativa e cultivo de soja no entorno. Esse tipo de cultivo, quando associado a práticas adequadas de manejo, pode contribuir para a conservação do solo.

Embora a cobertura vegetal representada pela soja não ofereça proteção constante ao solo ao longo de todo o ciclo da cultura, durante as fases mais desenvolvidas da planta ocorre maior recobrimento da superfície, o que reduz o impacto direto das gotas de chuva e a intensidade dos processos erosivos (Costa, 2024). Além disso, a presença de cobertura vegetal favorece a incorporação de matéria orgânica ao solo, contribuindo para a manutenção da estrutura e da agregação das partículas, tanto pela ação da vegetação quanto pela atividade dos organismos presentes no solo.

Entretanto, a ocupação urbana tende a favorecer o desenvolvimento de processos erosivos nas áreas adjacentes. As vertentes, quando submetidas aos processos de apropriação e ocupação do relevo, passam por modificações significativas em sua morfologia original, principalmente em função das obras de terraplanagem realizadas para o nivelamento do terreno. Essas intervenções envolvem cortes e aterros destinados a viabilizar a implantação de edificações e da infraestrutura urbana, sendo que, quanto maior a declividade do terreno, mais intensas tendem a ser as transformações antrópicas nessas áreas (Alves, 2023).

Além disso, a ocupação urbana promove a impermeabilização do solo, reduzindo de forma significativa a infiltração das águas pluviais. Diante da limitada capacidade dos sistemas de drenagem urbana em suportar grandes volumes de água, ocorrem frequentemente

alagamentos nas vias públicas e o direcionamento do escoamento superficial concentrado para as áreas de fundo de vale, o que pode agravar os processos de inundação (Alves; Pedro Miyazaki, 2023).

Nessas condições, o fluxo hídrico passa a se concentrar nas ruas, que, em função de seu traçado e declividade, passam a atuar como verdadeiros “rios artificiais”, promovendo o transporte de sedimentos e materiais para as porções mais baixas da bacia. Essa dinâmica pode ser observada no Ponto 5, onde se identifica o início de um processo erosivo associado ao direcionamento concentrado do fluxo superficial (Figura 58).

Figura 58 – Sulco erosivo presente no Ponto 5



Fonte: Google Earth Pró (2025); Marcondes (2025). Elaborado pela autora (2026)

Observa-se que a erosão identificada está relacionada ao fluxo concentrado de água proveniente de duas vias urbanas, cujos escoamentos superficiais convergem para esse ponto, aumentando gradativamente o volume e a velocidade da água. Esse escoamento concentrado passa a atuar como agente erosivo, favorecendo o desgaste e a degradação de trechos pavimentados, sobretudo em áreas mais suscetíveis, como pode ser observado no Ponto 5 (Figura 59).

Figura 59: Destruição de parte do pavimento devido ao escoamento superficial concentrado



Fonte: Alves (2025)

Dessa forma, o escoamento superficial passa a carrear diferentes tipos de materiais, incluindo sedimentos, resíduos sólidos e diversos artefatos de origem antrópica, desencadeando uma série de impactos socioambientais. Esses materiais podem ser depositados nas porções mais baixas das vertentes, contribuir para a formação de depressões e buracos nas vias urbanas, além de provocar o entupimento das redes de drenagem (Pedro Miyazaki, 2014).

A impermeabilização das vias urbanas e a expansão dos bairros evidenciam a necessidade de um planejamento urbano mais efetivo, sobretudo por se tratar de uma unidade sistêmica como a bacia hidrográfica. Torna-se fundamental a adoção de uma gestão territorial mais eficiente e sustentável, que considere as características físicas da bacia e busque mitigar os impactos decorrentes da ocupação desordenada.

Nesse sentido, observa-se que o Ponto 5 apresenta um quadro de desequilíbrio dinâmico associado à apropriação e ocupação do relevo urbano, caracterizando uma morfodinâmica instável. Embora a perda de solo nas áreas impermeabilizadas tenda a ser baixa, em função da limitação da infiltração e da proteção superficial, os impactos são transferidos para as áreas adjacentes, evidenciando que a dinâmica urbana altera significativamente a perda de solos.

Em suma, a perda de solo associada à apropriação e ocupação do relevo modificam as condições naturais das vertentes e alteram a dinâmica natural da bacia. No meio rural, práticas como preparo do solo, cultivo intensivo e remoção da cobertura vegetal podem favorecer a desagregação das partículas e o aumento do escoamento superficial, enquanto nas áreas urbanas a impermeabilização reduz a infiltração e intensifica o fluxo concentrado. Em ambos os contextos, essas alterações ampliam a capacidade de transporte de sedimentos e resíduos sólidos, intensificando os processos erosivos e promovendo a deposição desses materiais nos fundos de vale, podendo alcançar os cursos d'água e contribuir para o seu assoreamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo central analisar a perda de solos decorrente da erosão hídrica, bem como compreender as formas de apropriação e ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, no município de Ituiutaba/MG, e as respostas do ambiente frente a essas intervenções. A área de estudo foi escolhida por se tratar do principal ponto de captação de água para o abastecimento urbano, o qual vem sendo submetido a um intenso processo antrópico.

A análise dos parâmetros morfométricos evidenciou que a bacia apresenta forma alongada, condição que contribui para o aumento do tempo de concentração do escoamento superficial. Essa configuração favorece uma resposta hidrológica mais distribuída ao longo da rede de drenagem, reduzindo a concentração simultânea dos fluxos no exutório e, consequentemente, atenuando a ocorrência de picos de cheia, uma vez que o escoamento ocorre de forma mais distribuída.

Associada a esse contexto, a baixa densidade de drenagem e a reduzida densidade hidrográfica indicam um sistema de drenagem pouco desenvolvido, geralmente relacionado à maior capacidade de infiltração e à presença de solos mais profundos e rochas permeáveis. A baixa amplitude altimétrica, associada ao escoamento superficial moderado, à menor razão de relevo e gradiente de canais, evidencia a predominância de declividades suaves a suavemente onduladas ao longo da bacia.

Entretanto, embora os parâmetros morfométricos apontem para um contexto naturalmente menos favorável à concentração do escoamento superficial e ao desenvolvimento de processos erosivos intensos, os resultados obtidos por meio da Equação de Perda de Solos (EUPS) evidenciam a ocorrência de perdas elevadas em áreas pontuais da bacia, indicando a influência significativa das formas de uso, apropriação e ocupação do relevo na dinâmica da perda de solos.

Os resultados evidenciam que os fatores relacionados ao uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP), associados ao fator topográfico (LS), exercem maior influência na distribuição espacial das perdas de solo na bacia hidrográfica. Tal comportamento demonstra que, embora as características naturais constituam importante condicionante da dinâmica erosiva, a forma como o relevo é apropriado e utilizado potencializa significativamente os processos de degradação.

Em áreas onde usos antrópicos mais intensivos coincidem com vertentes mais inclinadas e maiores comprimentos de rampa, observa-se um aumento expressivo da energia do escoamento superficial e da capacidade de remoção e transporte de sedimentos. Em

contrapartida, os demais componentes da equação, Fator R e Fator K apresentaram influência menos significativa na variabilidade espacial das perdas de solo na bacia.

Os menores valores de perda de solo, observados em grande parte da bacia, enquadrando-se nas classes de perda nula a baixa. Essas áreas estão predominantemente associadas a terrenos planos a suavemente ondulados, com baixos valores do Fator LS e presença de vegetação nativa, reflorestamentos e parte das pastagens, além de solos mais profundos com erodibilidade relativamente mais baixa, como os Latossolos e Nitossolos, distribuídos nas áreas de topo e ao longo das vertentes.

Por outro lado, as maiores perdas de solo concentram-se em áreas com solo exposto, maiores declividades e elevada erodibilidade, geralmente associadas à ocorrência de solos mais rasos a pouco desenvolvidos em locais de relevo residual da Formação Marília, como os Neossolos e Cambissolos. Nessas condições, o Fator LS é mais elevado, indicando maior energia do escoamento superficial e, conseqüentemente, ambiente altamente favorável à intensificação dos processos erosivos.

As áreas de uso agrícola e parte das pastagens, quando associadas a relevos ondulados e valores intermediários do Fator LS, apresentam perdas de solo de magnitude média. Observa-se que os cultivos de soja e outras lavouras temporárias registram perdas de solo mais elevadas em comparação aos cultivos de cana-de-açúcar, mesmo submetidos a práticas de manejo, o que está relacionado aos valores ligeiramente mais altos do Fator CP nesses sistemas. Esse comportamento decorre, principalmente, pela maior exposição do solo ao longo do ciclo de cultivo, enquanto a cana-de-açúcar proporciona cobertura mais contínua e duradoura, contribuindo para menor suscetibilidade aos processos erosivos.

A distribuição das feições erosivas lineares evidencia que a dinâmica erosiva da bacia não pode ser compreendida apenas a partir das estimativas de erosão laminar obtidas pela EUPS. A ocorrência predominante de ravinas e voçorocas em áreas de pastagem, agricultura e proximidades da expansão urbana demonstra que a concentração do escoamento superficial, associada à remoção da cobertura vegetal e às modificações impostas pela ocupação antrópica, constitui importante elemento de instabilidade morfodinâmica.

Além disso, a ocorrência de ravinas no alto curso pode estar relacionada à influência da erosividade das chuvas que, embora não tenha apresentado grande destaque nos resultados da EUPS, está associada aos maiores índices pluviométricos registrados nesses locais, uma vez que a atuação antrópica é menos expressiva.

Por sua vez, as voçorocas identificadas próximas às cabeceiras de drenagem indicam locais de elevada susceptibilidade a erosão, onde a atuação contínua do fluxo concentrado

favorece o aprofundamento das incisões e o aumento do transporte de sedimentos que chega ao canal principal.

A análise integrada dos pontos amostrais evidenciou que a apropriação e ocupação do relevo impactam na intensificação dos processos erosivos, refletindo a morfodinâmica atual da bacia. Em áreas rurais, práticas inadequadas de manejo do solo e a remoção da cobertura vegetal favorecem o aumento do escoamento superficial e a desagregação das partículas de solo.

Nas áreas urbanas, a impermeabilização do solo, associada às alterações na morfologia original das vertentes e à insuficiência dos sistemas de drenagem, favorece a concentração do fluxo superficial, alterando significativamente a dinâmica hidrológica. Como consequência, observa-se a formação de depressões e buracos nas vias urbanas, o que leva a um aumento do assoreamento e da obstrução das redes de drenagem, além do aumento de processos erosivos em áreas adjacentes.

Diante desses resultados, podem ser propostas medidas mitigadoras voltadas à minimização dos impactos decorrentes do uso antrópico. Nas áreas rurais, recomenda-se a adoção de práticas conservacionistas, como terraceamento, plantio em curva de nível, sistema de plantio direto, rotação e diversificação de culturas, manutenção da cobertura vegetal e manejo adequado das pastagens, incluindo a implementação do pastoreio rotativo. Também se destacam ações de proteção das cabeceiras de drenagem, recuperação de matas ciliares e restauração de áreas degradadas, visando reduzir o escoamento superficial, controlar os processos erosivos e minimizar as perdas de solo.

Nas áreas urbanas, destaca-se a necessidade de aprimoramento dos sistemas de drenagem pluvial, associado à implementação de soluções que favoreçam a infiltração da água no solo, como pavimentos permeáveis e infraestrutura verde, a fim de reduzir a concentração e a velocidade do escoamento superficial. Além disso, torna-se fundamental o fortalecimento do planejamento e da regularização urbana, promovendo o ordenamento territorial, bem como a ampliação das redes de coleta e tratamento de esgoto e o combate ao descarte irregular de resíduos sólidos, medidas essenciais para prevenir a contaminação do solo e evitar a obstrução dos sistemas de drenagem.

Para as áreas com ocorrência de ravinas e voçorocas, recomenda-se a adoção integrada de medidas estruturais, vegetativas e de controle do escoamento superficial. Entre as ações de contenção destacam-se a implantação de barraginhas, bacias de dissipação, paliçadas e terraceamento, além da readequação de estradas vicinais que favorecem a concentração do escoamento. Como medidas de recuperação, ressaltam-se o reflorestamento com espécies nativas, o isolamento das áreas degradadas para regeneração da vegetação e a utilização de

cobertura morta para proteção do solo exposto. Além disso, o monitoramento contínuo das feições erosivas é fundamental para garantir a efetividade das ações de recuperação e conservação ambiental.

Dessa forma, evidencia-se a necessidade de um planejamento territorial integrado, pautado na compreensão da bacia hidrográfica como unidade sistêmica de análise e gestão, orientando o uso e a ocupação do solo de acordo com suas potencialidades e limitações ambientais. Tal abordagem favorece a redução dos impactos socioambientais, a conservação dos recursos naturais e a manutenção da qualidade dos recursos hídricos destinados ao abastecimento público.

Nesse contexto, a metodologia adotada mostrou-se fundamental para a obtenção dos resultados, uma vez que a aplicação da EUPS possibilitou a identificação das áreas mais suscetíveis aos processos erosivos, configurando-se como uma abordagem inicial para a compreensão da dinâmica erosiva na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Ao associar a perda de solo às formas de apropriação e ocupação do relevo, tornou-se possível analisar como a morfodinâmica atual contribui para o rompimento do equilíbrio dos processos naturais, intensificando a erosão laminar, que pode favorecer a evolução para formas mais concentradas de erosão, como ravinas e voçorocas.

Contudo, é importante reconhecer as limitações enfrentadas ao longo da pesquisa. Uma delas é a escassez de dados climáticos, com séries temporais incompletas e pela limitada disponibilidade de informações, o que pode introduzir incertezas nas estimativas de erosividade. Soma-se a isso as restrições das escalas cartográficas disponíveis, especialmente no que se refere aos dados pedológicos, dificultando a delimitação mais precisa das classes de solos e, conseqüentemente, comprometendo o nível de detalhamento das análises e a representação espacial mais refinada das variáveis.

Apesar dessas dificuldades, a aplicação da EUPS tem sido significativamente ampliada pelo avanço das geotecnologias e pela integração com Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Diferentemente de sua concepção inicial, baseada em parcelas experimentais e medições predominantemente analógicas, a utilização atual da metodologia permite análises espacializadas da perda de solo em escala de bacia hidrográfica.

Nesse contexto, o uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de dados de sensoriamento remoto possibilita representar com maior precisão a variabilidade espacial dos fatores topográficos e do uso e cobertura da terra. Além disso, a álgebra de mapas em ambiente SIG permite a multiplicação célula a célula dos fatores da equação, gerando estimativas

especializadas de perda de solo e possibilitando a identificação de áreas mais suscetíveis aos processos erosivos.

Entretanto, devem ser consideradas as próprias limitações metodológicas da EUPS que, por sua natureza empírica, permanece voltada predominantemente à estimativa da erosão laminar. Mesmo com os avanços associados à modelagem espacial pixel a pixel, o modelo não permite identificar áreas de deposição de sedimentos nem simular a perda de solos em processos erosivos mais complexos e avançados, como ravinas e voçorocas. Dessa forma, a EUPS não deve ser compreendida como um instrumento analítico isolado ou conclusivo, mas como uma abordagem inicial de caráter quantitativo para estimativa das perdas de solo.

Os resultados obtidos na bacia do Ribeirão São Lourenço evidenciam, portanto, a necessidade de uma análise integrada quali-quantitativa da dinâmica erosiva, na qual o modelo matemático indica a suscetibilidade potencial à perda de solo, enquanto a análise espacial e os trabalhos de campo possibilitam compreender a morfodinâmica atual e identificar as marcas efetivas da apropriação e ocupação humana sobre o relevo. Deste modo, a validação em campo torna-se essencial para confrontar os dados obtidos por sensoriamento remoto e pelos modelos espaciais com as condições reais observadas na bacia hidrográfica, permitindo uma interpretação mais consistente dos processos erosivos e de suas implicações ambientais.

Pensando em perspectivas futuras, sugerem-se possibilidades de aprofundamento de pesquisas na área, especialmente no que se refere a investigações voltadas ao monitoramento da evolução das feições erosivas e à compreensão dos processos de transição entre a erosão laminar e as formas lineares, contribuindo para uma análise mais abrangente da dinâmica erosiva na bacia. Além disso, ressalta-se a importância da realização de estudos em escala mais detalhada sobre os solos da bacia, uma vez que o mapa de classes de solos elaborado neste trabalho é mais simplificado.

Destaca-se ainda a importância de estudos voltados à quantificação do transporte de sedimentos e à avaliação de seus impactos nos cursos d'água. Por fim, a incorporação de cenários de mudanças climáticas, bem como a intensificação de eventos extremos, configura-se como um campo promissor, capaz de ampliar a compreensão dos impactos futuros sobre a dinâmica ambiental da bacia.

Portanto, a presente pesquisa evidencia que a dinâmica de perda de solo na bacia do Ribeirão São Lourenço resulta da interação contínua entre os condicionantes naturais e as formas de apropriação e ocupação do relevo pelo ser humano que modifica a dinâmica ambiental, refletindo diretamente na morfodinâmica atual da bacia. Ao integrar análises morfométricas, modelagem espacial da erosão, mapeamento de feições erosivas e observações

em campo, o estudo demonstra que a intensificação dos processos erosivos está fortemente relacionada às transformações impostas pelo uso da terra, especialmente em áreas ambientalmente mais frágeis.

Nesse sentido, a pesquisa reforça a importância de abordagens integradas no planejamento territorial e na gestão ambiental, podendo auxiliar o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (CBH PN3), no qual a bacia está inserida. Ademais, contribui não apenas para o avanço das discussões no campo da Geografia Física e da análise ambiental, mas também para a formulação de estratégias voltadas à conservação dos solos e dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Contribuição à Geomorfologia da área dos cerrados. IN: FERRI, M. G. (coord) **Simpósio sobre o cerrado: uso e manejo**. São Paulo: EPUSP, 1971. p-97-103.
- ALMEIDA, N. V. *et al.* Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Riacho Desterro no Cariri e Alto Sertão Paraibano. In: VIII Simpósio Nacional De Geomorfologia, 8, 2010, Recife. **Anais [...]**. São Paulo: UGB, 2010. p. 1-12.
- ALVES, T. D. **Análise dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do córrego São José, município de Ituiutaba/MG**. 2023. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2023.
- ALVES, T. D.; PEDRO MIYAZAKI, L. C. Utilização do método do anáglifo aplicado ao mapeamento geomorfológico: o caso da bacia hidrográfica do Córrego São José, município de Ituiutaba – MG. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v. 14, 2023. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/70859>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- ALVES, T. D. Aplicação de parâmetros morfométricos para o estudo do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, município de Ituiutaba/MG. In: Congresso Brasileiro de Geógrafas e Geógrafos, 8, 2024. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: Diretoria Executiva Nacional, 2024. p. 1- 13.
- ALVES, T. D.; PEDRO MIYAZAKI, L. C. Dinâmicas do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, município de Ituiutaba/MG. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 15, 2025. Natal. **Anais...**, Campina Grande: Realize Editora, 2025. <https://doi.org/10.14393/BGJ-v16n2-a2025-78422>.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Viçosa, 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- ARRAES, L. C.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia do Córrego do Tijucu, SP. **Bioscience Journal**. v. 26. n. 6. Uberlândia, 2010. p. 849-857.
- BARBOSA, C. C. *et al.* Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico Econômico. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais ...**, INPE: São José dos Campos, 1998, p. 487- 500.
- BARROS, L. de H. V. **Análise da expansão urbana e das práticas agrícolas nas perdas de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catu – RN**. 2025. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025.
- BATEZZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. Rio Claro, 2003. 183 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2003.
- BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.
- BENTO, L. C. M. Alguns apontamentos sobre os aspectos geológicos da Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba (Minas Gerais). In: PORTUGUEZ, A. P.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. **Inquietações Geográficas**. Ituiutaba: Barlavento, 2018. p. 63-89.

BERGAMASCO, M. J. D. E. **Estimativa de perda de solos por erosão na Bacia do Rio Corumbataí**: influenciadas mudanças climáticas e do uso e ocupação da terra. 2023. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

BERNARDES, J.A.; FERREIRA, F.P.M. Sociedade e natureza. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). **A questão ambiental**: diferentes abordagens. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017. 392 p.

BERRY, J.K. Catographic Modeling: The Analytical Capabilities of GIS. In: Goodchild, M.; Parks, B.O., Steyaert, L.T., **Environmental Modeling with GIS**. Oxford, Oxford University Press, 1993, p. 58-74

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2007. 2ª edição.

BISTRICHI, C. A. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: SICCT/ PróMinério/ DCET - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1981. Escala 1:500.000, v. 1 e 2, 126 p.

BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap. 6. p. 153 –192.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 3. p. 71-116.

BRABO, L. S. **Potencial erosivo de São Miguel do Guamá, nordeste paraense**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

BRAGHIROLI, T. L. de P. **Análise e caracterização de processos erosivos no município de Ituiutaba- MG: o caso da voçoroca no rio São Lourenço**. Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura e bacharelado em Geografia), Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Ituiutaba, 2015.

BRAGHIROLI, T. L. P. **Implicações naturais e antrópicas responsáveis pelo desencadeamento de feições erosivas no Parque do Goiabal em Ituiutaba (MG)**. 2017. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017.

BRIENZA, A. C. **Caracterização de Paleossolos da Formação Marília: Serra de Echaporã/SP**. Campinas, 2008. 90 p. Dissertação (Mestrado). - Programa de Pós- Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, Universidade de Campinas- São Paulo, 2008.

CABRAL, J. B. P, et al. Erosividade na bacia de drenagem do reservatório de Cachoeira Dourada - Go/MG. **Geofocus** (Artículos), nº 9, p. 290-316, 2009. ISSN: 1578-5157.

CALDERANO FILHO, B. et al. Levantamento pedológico do Município de Ituiutaba, Estado de Minas Gerais. In: *VIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, 1999, Temuco, Chile. **Anais [...]**. Temuco: S/L, 1999. p. 247-254.

- CAMPOS, H. L. Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas**. Recife: Editora Universitária, p. 91-111, 2006.
- CARDOSO, D. P. *et al.*, J.J.G.S.M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Sci. For.**, v. 66 p. 25-37, 2004.
- CARPI JUNIOR, S.C. **Processos Erosivos, Recursos Hídricos e Riscos Ambientais na Bacia do Rio Mogiguaçu**. 2001. 171 f. Tese (Doutorado em Geociências e meio ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2001.
- CARVALHO, N. Erosão Crescente na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia**. Caderno de Recursos Hídricos. v. 13, p. 5-19, 1994.
- CARVALHO, N. O. *et al.* **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000. 95p.
- CARVALHO, J. C. *et al.* **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília. Editora Finatec, 2006, 464p.
- CARVALHO, A. C. B. de. **Avaliação da perda de solo por fluxo superficial em cultivos puro e consorciado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012. 91 f.
- CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G. da; CABRAL, J. J. da S. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do rio Arrombados - PE. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 76-88, jan. 2017. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12294>.
- CARVALHO, H. S. M. de; CASTRO, S. S. de. Mapeamento e identificação de áreas críticas à erosão hídrica linear: o exemplo do bioma Cerrado no estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l], v. 24, p. 1-30, jan. 2023. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.237>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2373/386386855>. Acesso em: 14 set. 2024.
- CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto, 1995. 147p.
- CHECCHIA, T. **Avaliação de Perda de Solo por Erosão Hídrica e Estudo de Emergia na Bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner – Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 166 p.
- CHORLEY, R. Geomorphology and general systems theory. U.S. **Geological Survey Professional Paper**, v. 500-B, p. 1-10, 1962. <https://doi.org/10.3133/pp500B>.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC: Universidade de São Paulo, 1979. 106p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 189p.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encostas na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2018.
- COOK, H. I. The Nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, p. 487-496, 1936. <https://doi.org/10.2136/sssaj1937.03615995000100000085x>.

CORREA, E. A.; PINTO, S. A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do Córrego Monjolo Grande (Ipeúna-SP). **Revista Geonorte**. Manaus, v. 2, n. 4, p. 1356-1367, 2012.

CORSI, A. C. **Compartimentação Morfoestrutural da Região do Triângulo Mineiro (MG): Aplicado A exploração de Recurso Hídrico Subterrâneos**. Rio Claro – SP: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2003. 254 p.

COSTA, T. C. C. *et al.* **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 42p.

COSTA, R. A. Análise Biogeográfica do Parque Municipal do Goiabal em Ituiutaba-MG. **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, n.33, v.1, p. 68-83, jan./jul. 2011. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2042/1932>. Acesso em: 10 jul. 2022.

COSTA, R. A.; MARTINS, F. P. Impactos e riscos ambientais urbanos em Ituiutaba-MG. In: PORTUGUEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Org) **Geografia do Brasil Central: Enfoque Teórico e Particularidades Regionais**. Uberlândia: Assis, 2011. p. 355-378.

COSTA, H. R. de O. **O risco ambiental em uma cidade pequena: análise da morfodinâmica atual e sua relação com as áreas de risco à enchentes, inundações e alagamentos na cidade de Capinópolis/MG**. 2019. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

COSTA, H. R. de O. **Vulnerabilidade ambiental no município de Capinópolis-MG: da apropriação e ocupação do relevo a produção do espaço geográfico**. 2024. 223 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2024.

COSTA, R. A.; QUEIROZ, A. T. Definição da duração da estação seca e estação chuvosa e sua influência na agricultura no município de Ituiutaba –MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. Paraná, n. 17, v. 28, p. 391-405, jan./jul. 2021. DOI: 10.5380/rbclima.v29i0.72461. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14572/7715>. Acesso em: 09 jan. 2026

CURI, N.; et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, 1993. 90p.

DEGRANDE, E. J. S. **Vulnerabilidade à contaminação ambiental por agrotóxicos nas bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe- SP: uma análise associada a expansão da cana-de-açúcar**. 2023. 261f. Tese (Doutorado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. Presidente Prudente, 2023.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, n. 2, v. 29, p. 108-114, abr./jun., 2014. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/841/973>. Acesso em: 09 jan. 2026

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro:1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Agência de informação Embrapa: **Bioma Cerrado**. Latossolos, 2019. Disponível http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_101120051019_56.html. Acesso em 12 abr. 2025

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soil erosion**: the greatest challenge to sustainable soil management. Roma: Global soil partnership, 2015, 100p

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. 2011. 127f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, 2011.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1992.

FIDELIS, W. B. M.; MIYAZAKI, V. K. Produção do espaço urbano em Ituiutaba-MG: análise da expansão territorial e dinâmica demográfica no período 2010-2019. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 21, n. 01, p. 42-74, 2023. <https://doi.org/10.46551/rc24482692202303>.

FIERZ, M. M. A teoria do equilíbrio dinâmico em geomorfologia. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 605-629, 2016. https://doi.org/10.11606/issn.2179_0892.geosp.2015.107614.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In.: Florenzano, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 11 – 30.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. da S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, 2009. DOI: 10.14393/rbcv59n1-43962.

FOSTER, G.R., *et al.* Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v.36, p.355-359, 1981.

FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T., JOHNSON, H. P., BRAKENSIEK, D. L. (eds.). **Hydrologic modelling of small watersheds**. Michigam: ASAE, 1982. p. 296-380.

FRANCISCO, P. R. M. *et al.* **Estimativa da Perdas de Solos do Estado da Paraíba e Modelagem da Vulnerabilidade**. Campina Grande: EPTEC, 2025. 130 p.

FRANK, H. T. **Gênese e padrões de distribuição de minerais secundárias na formação serra geral (Bacia do Paraná)**. 2008. 324 f. Tese (Doutorado em Geociências) Programa de Pós-Graduação em Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. 2016. 199 P. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. de. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **Geographia**, Niterói, v. 23, n. 51, p. 1-17, 25 ago. 2021. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2021.v23i51.a27667>.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

GUERRA, A. J. T. A erosão dos solos no contexto social. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 14-23, 1994. https://doi.org/10.11137/1994_0_14-23. Disponível em: <https://revistas.ufjf.br/index.php/aigeo/article/view/6147>. Acesso em: 16 abr. 2025.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 6 ed., 2012. 190p.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da C. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização e bases e conceitos**. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018. p. 149-210.

HACK, J. T. Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions. **American Journal Science**, New Haven, v. 258-A, p. 80-97, 1960.

HIRATA, A. A.; BURKERT, D. Morfometria da Bacia do Ribeirão Lajeado-SP. **Formação (Online)**, v. 27, n. 50, p.175-199, 2020. <https://doi.org/10.33081/formacao.v27i50.6449>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/download/6449/5606/27664>. Acesso em: 03 fev. 2026

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2019** - Ano Base 2018. São Paulo: IBÁ, 2019. 80p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.182 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Município de Ituiutaba**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ituiutaba/panorama>. Acesso em: 30 abr. 2025.

LACOSTE, Y. A pesquisa e o trabalho de campo: um problema político para pesquisadores, estudante e cidadãos. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 84, p. 77-82, jul. 1985. Disponível em: http://www.uel.br/cce/geo/didatico/omar/pesquisa_geografia_fisica/BPG84_Pesquisa.pdf. Acesso em: 21 mar. 2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAL, R. **Soil Erosion Research Methods**. 2. ed. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, 1994. p. 1-9.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. de T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, jun. 2001. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>.

LANZA, D. S. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do Rio Paraopeba**. 2011. 151f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca – Campinas/SP**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, UNESP, 1995.

- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 216 p.
- LIMA, H. M. **Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica**. Funchal (Portugal), 2010.
- LIMA, P. Q. **Viabilidades de restauração das fitofisionomias em paisagens fragmentadas na bacia do Rio São Bento, Sudeste Goiano**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão, Catalão, 2014.
- LOPES, J. R. F. *et al.* Explorando dados de uso e cobertura do solo na região geográfica imediata de Ituiutaba, MG: um estudo integrado com dados de censo agrícola e de sensoriamento remoto. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 10, p. 1-22, 11 out. 2024. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n10-097>. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7165/4490>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus - Editora da UESC, 2002. p. 37-65
- MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178 p.
- MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, tipos e formas de controle. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., 2001. Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sn, 2001. p. 1 – 11.
- MANNIGEL, A. R. *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 4, pág. 793-804, 2011. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232714>
- MARTIN NETO, L.; VAZ, M. P.; CRESTANA, S. **Instrumentação avançada em ciência do solo. Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos- SP, 2007.
- MARTINS, F. P.; COSTA, R. A. A Compartimentação do relevo como subsídio aos estudos ambientais no município de Ituiutaba-MG. **Revista Sociedade e Natureza**. v. 26. n. 2. Uberlândia, 2014. p. 317-331. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140209>.
- MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. R. Chapadas do Brasil: abordagem científica e conceitual. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 163-175, 29 mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i1.806>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/806/526>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- MATOS, T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- MCCOOL, D. R. *et al.* **The Revised Universal Soil Loss Equation**. Estados Unidos. Jun. 1995
- MELLO, C. R. de. *et al.* Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>.

- MENDES, P. C.; QUEIROZ, A. T. de. Caracterização climática do Município de Ituiutaba/MG. In: PROTUGEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Org) **Geografia do Brasil Central: Enfoque Teórico e Particularidades Regionais**. Uberlândia: Assis, 2011. p. 333-354.
- MILANI, E. J. *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov. 2007.
- MINELLA, J. P. G. *et al.* Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1637-1646, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600039>.
- MINELLA, J. P. G. *et al.* Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1455-1462, ago. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000400041>.
- MOLLE, François. River-basin planning and management: the social life of a concept. **Geoforum**, v. 40, n. 3, p. 484-494, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.03.004>.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3ª ed. Oxford – UK: Blackwell Publishing Ltd, 2005.
- MOURA, D. M. B. de; OLIVEIRA, I. J. de; NASCIMENTO, D. T. F. Análise morfométrica comparativa das altas bacias hidrográficas dos ribeirões Santo Antônio e Santa Marta (Iporá-GO) como suporte à avaliação do comportamento hidrológico. **Revista da Anpege**, v. 18, n. 36, p. 98-135, 2022. ANPEGE - Revista. <http://dx.doi.org/10.5418/ra2022.v18i36.16166>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/16166>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- NEARING, M. A.; LANE, L. J.; LOPES, V. L. Modeling Soil Erosion. In: LAL, R. (ed.). **Soil Erosion Research Methods**. 2. ed. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, 1994. p. 127-156
- NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia. In: **Sociedade e Natureza**. Uberlândia: Edufu, v. 1, p. 9- 16, 1989.
- NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Estimativa de erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2839-2845, 2008. Número Especial. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700030>.
- OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Parapanema**. SP/PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. São Paulo, 1994.
- OLIVEIRA, B. S. de. **Ituiutaba (MG) na rede urbana tijucana: (re)configurações socioespaciais no período de 1950 a 2003**. 204f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- OLIVEIRA, P. M. de. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006, 155 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- OLIVEIRA, P. T. S. de *et al.* Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. **Ambi-Água**. Taubaté, v.5, n.2, 2010. p. 217-225. DOI:10.4136/1980-993X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92815026019.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2025

OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica e seus componentes na sub-bacia hidrográfica do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul (RS)**. 2011. 179f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. cap. 2, p. 57-99.

PASSOS, M. M. A. **Raia Divisória: geossistema, paisagem e eco-história**. v. 1. Maringá: Eduem, 2006.

PARANAIBA, L. C. **Mapeamento dos Compartimentos Geomorfológicos do município de Ituiutaba/MG como auxílio para o planejamento ambiental**. 2023. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

PEDRO MIYAZAKI, L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de presidente prudente/SP**. 2014. 265 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014

PEDRO MIYAZAKI, L. C. Caracterização do relevo da área urbana do município de Ituiutaba/MG. In: PORTUGUEZ, A. P.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. **Inquietações Geográficas**. Ituiutaba: Barlavento, 2018. p. 90-121

PEDRO MIYAZAKI, L. C.; VENCESLAU, F. R. Caracterização geomorfométrica aplicadas aos estudos sobre a morfodinâmica da bacia hidrográfica do córrego São José- Município de Ituiutaba-MG. Revista Caminhos de Geografia. Uberlândia, v. 21, n. 76, p. 285-305, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217653838>.

PEREIRA, L. A. *et al.* Estimativa de produção de resíduos nos cenários. Diagnóstico e prognóstico de demandas hídricas na bacia do Rio Araguari. **Plano diretor da bacia do Rio Araguari**. Monte Carmelo, Monte Plan Ltda, 2008. Disponível em: <https://www.cbharaguari.org.br/doc/7/plano-diretor-da-bacia>. Acesso em: 01 Mar. 2026

PEREIRA, J. S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PEREIRA, G. S. **Análise dos processos erosivos: aplicação de modelos preditivos na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, São Paulo – Brasil**. 2021. 129f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2021.

PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, 2017. 69 p.

PETRI *et al.* Guia de nomenclatura estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, Volume 16, 1986. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/directbitstream/3ddc36d1-3e35-43a7-9a81-c06aaae686aa/0768685.pdf> > Acesso em: 18 abr. 2025.

PIEIDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 1980. 161f. Tese (Livro Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 1980.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 44-60, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Disponível em: https://revistas.usp.br/eav/pt_BR/article/view/10292. Acesso em: 11 mar. 2025

RADAMBRASIL. 1983. **Levantamento de recursos naturais**, Folha SE. 22 Goiânia. Projeto RADAMBRASIL, v. 31, Rio de Janeiro, 768p.

ROCHA, G. M.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. dos. Modelagem da perda de solos no município de Silvânia -Goiás. **Para Onde?**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 82-106, 2026. <https://doi.org/10.22456/1982-0003.149763>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/paraonde/article/view/149763/98455>. Acesso em: 24 fev. 2026.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9. ed. São Paulo: Contexto, 2012. 89 p

ROSS, J. L. S. Bacia Hidrográfica: unidade de análise integrada. In: MORATO, R. G. et al (org.). **Análise Integrada em bacias hidrográficas: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. São Paulo: FFLCH/ USP, 2019. Cap. 1. p. 27-44.

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O Y. Erosão e a ocupação rural e urbana In: BITAR, O Y. (Coord.) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente** (Série Meio Ambiente). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e preservação dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10^a ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2015.

SANTOS, M. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. 4^a ed. São Paulo: USP, 2006.

SANTOS, L. J. C. *et al.* Gênese das linhas de pedra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 103-108, 2010. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i2.157>.

SANTOS, R. D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Revisão ampliada. Viçosa: SBCS, 2015. 101 p.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2025. 355 p.

SCHMITT, A.; MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando O Saber**, Paraná, v. 8, Edição Especial, p. 119-131, 2015.

SILVA, A. M. *et al.* **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 140 p.

SILVA, D. F., *et al.* Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.324-332, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/zxx35tmMhFj5bFXpG6CCxwt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 04 mai. 2025

SILVA, G. A. da. **Mapeamento e caracterização do meio físico como indicativo de susceptibilidade erosiva na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço - Ituiutaba/MG**. 2014. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

- SILVA, A. S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. Cap. 3. p. 101-126.
- SILVA, M. de O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, Paraná, v. 1, pág. 6853–6875, 2021.
<https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>. Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 944p.
- SIRQUEIRA, E. S. *et al.* Avaliação das Perdas de Solo pela MUSLE na Microbacia do rio Caiabi. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2430–2447, 2022.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2430-2447>. Disponível em:
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253911>. Acesso em: 2 set. 2025.
- SISEMA. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mapa de solos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SISEMA, 2010.
- SOARES, P. C. *et al.* Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.10, p. 177-185, 1980.
- SOUZA, M. L. de. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 556 p.
- SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, 2012. DOI: 10.4215/RM2012.1125.0011.
- SOUZA, A. R. C de. **Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos Revisada (RUSLE) na quantificação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio Verde - Região Oeste do Paraná**. 2021. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.
- STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na Bacia do Peixe- Paranapanema. **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, v. 4, p. 105–135, 1987.
- STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, Washington, v.38, n. 6, p. 913-920, 1957.
- SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Terra: feições ilustradas**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. 264 p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. Pesquisa de Campo em Geografia. **GEOgraphia**, v. 4, n. 7, p. 1- 4, 2009.
<https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2002.v4i7.a13423>. Disponível em:
<https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13423>. Acesso em: 30 abr. 2022
- TEIXEIRA, I. I. L. **Evolução do uso da terra, erosão dos solos e fragmentação da vegetação na APA do Rio Descoberto no Distrito Federal e Goiás**. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2018
- TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 577 p

TEIXEIRA, G.; RODRIGUES, G. S. de S. C. Trajetória geográfica da silvicultura em Minas Gerais. **Mercator**, Fortaleza, v. 20, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.4215/rm2021.e20004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/KBQgMYrBw3XyrvmbQcYk64j/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2025

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

TRICART, Jean. **Mise au point: l'évolution de versants**. L'Information Géographique. Paris. V.21, 1957. <https://doi.org/10.3406/ingeo.1957.1708>.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 57, n. 3, 2009. DOI: 10.14393/rbcv57n3-43539.

TOMLIN, D. **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHON, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: Carlos E. M. Tucci; David Motta Marques. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1 ed. Porto Alegre, 2000, v. 1, p. 119-127.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, IEA-USP, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>.

VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 233f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VENCESLAU, F. R. **Caracterização dos meios morfodinâmicos na bacia hidrográfica do córrego São José - Ituiutaba/MG**. 2020. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Ciências Humanas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2020.

WEILL, M. de A. M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do índice do tempo de vida**. 1999. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

WILLIAMS, J.R. Sediment yield predictin with universal equatin using runoff energy factor. In: USDA-ARS (ed.). **Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources**, Washington, Handbook S-40, 1975. p.244-252

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide do conservation planning. United States Department of Agriculture, **Agriculture Handbook**. n. 282, 1978. 67 p.

ZIA-UR-REHMAN, M. et al. Degraded Soils: Origin, Types and Management. In: HAKEEM, K. R.; AKHTAR, J.; SABIR, M. (ed.). **Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives**. Springer, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5_2.

APÊNDICES

Apêndice A – Erodibilidade dos solos dos horizontes superficiais de cada ponto de coleta

	Horizontes	Areia	Silte	Argila	Erodibilidade
		(%)			
Ponto 1	A	85,8	1,2	13,0	0,0668
	AB	85,0	2,0	13,0	0,0668
	Média	85,4	1,6	13,0	0,0668
Ponto 2	A1	79,6	3,7	16,7	0,0499
	A2	77,7	4,4	17,9	0,0457
	Média	78,6	4,0	17,3	0,0477
Ponto 3	A1	75,1	5,6	19,3	0,0417
	A2	79,5	4,5	16,0	0,0525
	A/C	78,8	5,9	15,3	0,0552
	Média	77,8	5,3	16,9	0,0492
Ponto 4	A1	83,8	5,1	11,1	0,0806
	A2	84,0	4,7	11,3	0,0782
	Média	83,9	4,9	11,2	0,7928
Ponto 5	A1	79,6	2,4	18,0	0,0455
	A2	74,3	2,4	23,3	0,0328
	Média	76,9	2,4	20,7	0,0383
Ponto 6	A1	74,1	8,6	17,3	0,0476
	A2	74,4	7,0	18,7	0,0435
	Média	74,2	7,8	18,0	0,0455
Ponto 7	A1	79,1	2,9	18,0	0,0455
	A2	76,4	4,3	19,3	0,0417
	Média	77,7	3,6	18,7	0,0435
Ponto 8	A1	84,2	1,8	14,0	0,0614
	A2	81,1	2,9	16,0	0,0525
	A/B	73,5	5,2	21,3	0,3690
	Média	79,6	3,3	17,1	0,0484
Ponto 9	A1	42,6	47,4	10,0	0,0900
	A2	78,8	13,9	7,3	0,1263
	A/B	65,9	21,4	12,7	0,0689
	Média	62,4	27,6	10,0	0,0899
Ponto 10	A1	51,9	22,7	25,3	0,0294
Ponto 11	A	72,8	4,0	23,2	0,0331
	A/B	70,6	2,6	26,8	0,0273
	Média	71,7	3,3	25,0	0,0300

Apêndice B - DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Durante a elaboração desta dissertação, foi utilizada a ferramenta de inteligência artificial generativa ChatGPT (OpenAI) como recurso auxiliar na revisão linguística, no aprimoramento da clareza e da coesão textual e na identificação de aspectos relacionados à organização da redação. A ferramenta não foi utilizada para geração de dados, realização de análises, interpretação dos resultados ou elaboração das conclusões da pesquisa. As sugestões fornecidas foram avaliadas criticamente e revisadas pela autora, que permanece integralmente responsável pelo conteúdo apresentados nesta dissertação, em conformidade com a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq (Portaria nº 2.664/2026).

ANEXOS

Anexo A – Totais pluviométricos (mm) da estação Ituiutaba (Cód. 1849000)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1995	352,9	517,2	170,6	94,6	168,3	29,1	0	0	47,0	70,0	143,6	180,1	1773,4
1996	354,8	169,7	184,7	41,2	91,2	27,8	2,2	7,8	85,9	93,0	255,0	95,5	1408,8
1997	382,4	64,6	128,6	65,8	51,6	142,6	0	0	124,9	119,8	247,8	302,2	1630,3
1998	197,8	262,4	248,8	96,2	47,4	1,4	0	94,2	13,8	290,0	124,2	199,4	1575,6
1999	321,0	212,8	173,1	45,8	5,2	13,2	0,2	0	96,4	16,2	122,6	140,6	1147,1
2000	247,4	378,6	104,9	68,4	1,9	0	9,4	7,6	61,2	38,8	342,6	245,0	1505,8
2001	188,4	69,2	173,1	113,2	121,6	3,2	0	9,1	38,6	154,9	179,8	248,3	1319,8
2002	139,3	317,9	145,4	9,3	32,9	0	2,7	20,0	56,5	97,3	97,6	146,8	1065,7
2003	309,7	161,1	187,4	63,8	16,5	32,6	2,0	26,1	19,9	53,9	250,8	237,2	1361,0
2004	16,6	136,1	87,5	201,5	2,5	6,7	34,6	0	0	103,7	184,3	418,5	1336,0
2005	233,0	68,9	147,9	33,1	3,7	25,2	0,2	0,2	55,9	162,2	310,6	343,5	1384,4
2006	296,5	260,4	307,5	60,5	2,8	6,7	0	12,7	79,0	274,7	120,9	201,8	1623,5
2007	426,2	205,6	98,2	47,9	12,1	8,6	58,0	0	11,2	176,3	442,5	340,5	1827,1
2008	518,6	211,4	91,7	86,2	1,1	0,3	0	0,4	6,4	189,2	138,9	300,4	1544,6
2009	352,0	219,7	221,0	45,4	7,8	6	2,3	2,0	15,7	91,0	146,1	366,2	1475,2
2010	212,5	110,3	152,5	17,3	4,3	6,1	5,0	0,2	19,2	75,3	173,6	200,1	976,4
2011	225,0	86,9	295,6	46,5	0	2,0	0	0	6,4	121,4	187,7	248,9	1220,4
2012	311,4	277,8	123,0	46,7	26,8	12,0	4,8	0	39,3	39,0	79,2	252,0	1212,0
2013	160,5	186,8	249,0	158,4	6,7	11,0	3,0	0	36,5	75,4	203,2	327,2	1417,7
2014	209,8	130,3	113,7	74,3	0,3	1,2	57,6	0	38,5	13,2	81,1	41,5	761,5
2015	75,3	163,0	86,1	73,6	201,5	0	8,0	0	34,9	36,5	119,5	157,7	956,1
2016	248,2	170,5	83,1	0	24,0	31,2	0	33,5	0	88,2	315,4	334,5	1328,6
2017	205,4	183,1	134,2	122,6	53,3	0	0	0	0	37,5	344,9	280,0	1361,0
2018	348,0	155,9	85,7	112,2	14,8	0	0	19,1	66,2	66,2	456,2	72,8	1397,1
2019	63,9	137,3	124,4	139,5	48,1	0	0	9,7	70,9	72,0	217,1	269,6	1152,5
Média	261,6	194,3	156,7	75,4	37,9	14,7	7,6	9,7	41,0	102,2	211,4	238,0	1350,5

Fonte: ANA (2025)

Anexo B – Totais pluviométricos (mm) da estação Avantiguara (Cód. 1949006)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1993	141,5	347,7	112,9	51,1	26,3	41,4	0	67,7	116,7	31,5	156,4	495,3	1588,5
1994	426,2	132,2	155,0	26,2	12,6	6,2	17,3	0	0	36,8	172,6	101,1	1086,2
1995	435,9	399,9	159,6	79,6	112,2	12,5	0	0	17,1	117,6	107,0	193,4	1644,8
1996	165,8	151,1	240,2	19,3	60,7	11,5	15,3	6,8	127,6	53,3	353,1	170,2	1374,9
1997	459,9	115,8	88,1	91,3	21,2	179,9	0	0	54,7	120,6	263,0	145,5	1540,0
1998	158,2	142,6	267,0	146,4	28,8	0	0	86,2	23,5	206,5	244,0	192,1	1495,3
1999	303,1	189,8	143,6	19,4	17,9	4,3	4,4	0	79,1	29,8	146,5	217,3	1155,2
2000	384,6	170,7	316,5	106,7	0	0	5,8	10,8	62,7	44,1	166,2	262,5	1530,6
2001	131,1	99,5	184,0	69,0	93,4	2,6	2,7	37,6	45,7	126,0	162,0	307,2	1260,8
2002	212,1	297,5	117,7	3,4	47,8	0	5,2	4,1	30,7	39,3	76,7	250,3	1084,8
2003	403,5	144,0	322,8	166,9	18,9	0	0	4,4	33,6	138,8	195,7	185,2	1613,8
2004	193,3	325,0	91,1	85,1	15,6	4,2	26,1	0	0	74,5	176,9	347,2	1339,0
2005	298,9	90,4	240,8	52,0	67,1	15,9	0	32,5	46,7	62,3	244,5	375,8	1526,9
2006	242,9	143,3	212,6	155,6	33,8	2,5	0	16,7	29,4	214,9	300,9	379,5	1732,1
2007	323,5	191,3	101,9	94,6	29,3	9,3	17,7	0	0	112,0	132,8	290,2	1302,6
2008	381,7	409,3	163,0	155,6	9,1	11,1	0	0	18,9	166,7	197,5	246,1	1759,0
2009	194,4	200,3	153,6	62,8	63,6	16,9	21,1	42,5	122,2	180,7	108,8	420,8	1587,7
2010	235,2	89,0	80,4	86,5	13,3	21,3	0	0	31,8	75,8	243,3	259,9	1136,5
2011	183,2	150,1	440,7	112,4	32,1	15,5	0	0	0	168,1	143,0	153,7	1398,8
2012	199,5	145,0	176,9	117,3	22,9	49,3	0	0	29,5	38,2	77,0	189,3	1044,9
2013	405,6	172,6	218,7	143,7	114,1	3,3	0	0	17,9	91,7	146,7	228,8	1543,1
2014	64,4	233,5	268,4	116,6	0	1,2	94,1	0	42,4	64,8	184,3	228,6	1298,3
2015	163,6	168,4	279,1	103,8	120,9	4,4	14,8	1,0	33,0	64,4	257,3	116,3	1327,0
2016	330,5	140,1	192,8	17,9	20,0	42,3	0	28,4	0,7	139,5	344,0	171,4	1427,6
2017	202,1	69,6	134,5	160,1	62,3	7,8	0	0	18,0	65,3	235,9	400,9	1356,5
2018	354,4	261,2	84,8	41,2	12,6	0	0	31,6	73,2	96,5	357,3	120,3	1433,1
2019	73,4	279,9	182,0	62,4	46,7	0	0,2	11,7	42,2	55,5	114,6	359,5	1228,1
2020	324,5	259,9	240,7	64,7	105,2	0	0	25,5	6,2	96,4	98,9	480,8	1679,8
2021	128,7	182,9	84,1	127,5	8,9	5,9	0	12,2	15,7	312,6	318,1	335,5	1498,3
2022	267,8	293,5	102,6	64,0	49,1	4,1	0	1,9	114,2	171,4	150,7	242,4	1459,8
2023	641,8	135,0	299,6	119,0	29,1	3,2	0,5	24,2	18,2	96,0	63,3	84,8	1490,0
Média	272,0	197,8	188,9	87,8	42,1	15,4	7,3	13,6	40,4	106,2	191,6	256,5	1417,5

Fonte: ANA (2025)

Anexo C – Totais pluviométricos (mm) da estação Fazenda Boa Vista (Cód. 1849026)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1996	236,4	216,8	178,1	91,4	48,0	20,8	0	6,4	58,0	70,3	360,2	146,3	1432,7
1997	343,0	116,9	169,2	81,2	29,0	123,8	1,0	0,2	58,3	67,5	413,3	245,3	1648,7
1998	125,8	367,4	108,8	43,8	42,6	1,6	1,0	46,4	48,3	80,3	87,4	276,3	1229,7
1999	245,1	188,1	96,5	20,4	7,3	10,2	2,6	0	81,1	53,5	19,6	252,4	976,8
2000	304,1	273,4	187,1	33,5	1,9	0	17,8	10,1	49,8	43,2	188,0	294,2	1403,1
2001	187,4	107,2	173,7	9,0	163,0	8,6	0,4	10,6	56,8	84,9	185,7	219,3	1206,6
2002	329,1	463,8	152,	4,3	21,7	0	5,0	7,2	82,7	26,0	176,0	243,2	1511,9
2003	535,9	149,7	199,9	91,5	22,4	18,3	0	30,2	24,4	37,0	190,0	165,2	1464,5
2004	320,7	301,0	51,5	108,5	18,9	0,9	22,5	0,6	0	242,4	167,3	211,5	1445,8
2005	285,7	31,4	290,1	18,9	83,1	36,6	1,0	0	30,9	33,8	248,9	275,8	1336,2
2006	135,0	282,6	148,5	73,6	20,0	0	0	12,0	45,7	128,1	248,6	457,9	1552,0
2007	352,1	179,0	89,0	17,6	18,1	1,0	74,6	0	8,0	135,1	84,1	202,7	1161,3
2008	418,0	326,5	57,7	88,8	3,8	0	0	0	4,4	129,0	86,7	132,4	1247,3
2009	189,4	137,3	221,4	44,1	18,5	18,3	0	19,3	160,0	186,8	177,5	248,6	1421,2
2010	314,3	85,8	132,4	75,3	7,1	18,0	4,1	0	32,6	78,0	221,4	162,6	1131,6
2011	284,7	115,5	367,6	38,7	5,1	17,0	0	6,0	7,0	157,3	124,3	214,4	1337,6
2012	261,9	166,6	211,7	71,2	62,9	63,8	8,6	0	60,8	20,4	146,0	143,8	1217,7
2013	216,9	76,9	75,4	57,3	32,9	12,2	0,8	0	35,9	97,5	251,4	184,5	1041,7
2014	99,7	125,6	186,5	54,3	0	2,4	78,6	0	75,0	39,0	215,7	186,4	1063,2
2015	84,9	194,0	178,5	69,3	38,8	0	17,5	1,9	46,2	79,3	217,1	174,2	1101,7
2016	428,4	61,3	91,7	15,7	12,8	34,8	0	15,8	1,2	117,4	113,5	215,4	1138,0
2017	254,4	36,3	227,6	85,8	63,5	0	0	2,2	0,5	52,9	335,7	402,6	1461,5
2018	348,8	199,3	56,3	92,0	25,5	0	0	17,8	81,2	121,2	502,7	33,0	1477,8
2019	102,1	235,2	86,9	43,3	32,9	0	1,0	0	44,8	132,8	228,1	295,2	1202,3
2020	95,9	260,4	38,3	69,9	79,5	5,5	0	5,1	72,9	64,3	111,7	171,3	974,8
2021	150,9	198,3	74,2	101,7	26,3	0	0	0	9,8	150,5	262,6	309,8	1284,1
2022	278,2	184,5	174,3	1,3	19,0	21,9	0	3,1	69,6	108,4	75,9	309,4	1245,6
2023	379,5	275,2	139,0	87,2	42,3	11,4	10,1	32,7	0	1,6	25,2	82,4	1076,5
Média	262,1	191,3	148,7	56,8	33,8	15,3	8,8	8,1	44,5	90,7	195,2	223,4	1278,3

Fonte: ANA (2025)

Anexo D – Totais pluviométricos (mm) da estação Fazenda Nossa Senhora Aparecida (Cód. 1948014)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1996	251,6	298,7	200,2	53,0	22,8	21,0	0,7	11,9	56,7	45,0	102,0	103,4	1167,0
1997	139,9	83,9	66,8	17,6	16,3	43,2	0	0	39,0	49,8	72,5	87,2	613,2
1998	96,1	91,1	86,2	40,0	57,8	0	0	52,3	6,5	191,4	105,1	256,6	985,1
1999	226,5	173,7	265,9	34,9	47,1	26,6	0	0	100,7	55,2	74,2	177,5	1182,3
2000	366,3	354,5	137,2	26,1	1,5	0	14,7	13,0	66,6	17,9	169,5	329,7	1497,0
2001	283,0	83,5	180,9	117,5	60,2	0,6	0	5,5	32,5	185,2	219,5	327,3	1495,7
2002	269,3	234,2	152,4	4,7	47,5	0	3,1	0,8	49,4	53,7	193,1	157,7	1167,9
2003	505,3	248,0	263,7	137,1	2,3	4,9	4,3	23,2	11,7	43,1	142,4	129,1	1515,1
2004	362,1	311,6	171,0	102,9	24,0	4,0	18,1	0	0	107,0	164,9	574,8	1840,4
2005	510,3	33,1	221,0	15,8	101,4	10,3	23,6	2,2	48,7	128,1	276,9	229,0	1599,5
2006	273,5	156,8	141,0	29,0	0	0	0	37,7	57,5	85,0	236,6	242,4	1259,5
2007	565,9	168,3	51,0	10,0	10,0	0	11,1	0	3,1	99,4	58,0	254,3	1231,1
2008	246,1	465,0	278,7	205,0	36,2	0	0	6,3	40,5	82,9	84,4	632,8	2077,9
2009	429,4	201,2	237,6	12,3	44,3	21,5	8,3	14,4	94,6	218,0	131,6	467,0	1880,2
2010	278,9	315,1	223,1	196,2	11,7	7,7	0	0	134,9	136,7	175,1	176,2	1655,6
2011	335,0	150,6	466,8	85,1	0	0	0	13,2	1,6	177,1	124,3	262,2	1615,9
2012	287,0	270,5	69,6	98,0	53,0	59,9	6,3	0	0	29,3	123,5	245,6	1242,7
2013	238,3	230,1	161,2	251,9	155,6	12,9	0	0	48,8	130,9	166,9	175,8	1572,4
2014	25,6	96,1	181,4	163,0	0	0	77,5	0	1,0	70,3	343,3	282,8	1241,0
2015	185,5	216,1	275,3	183,1	7,1	26,5	24,9	0	59,6	47,6	244,4	240,3	1610,4
2016	444,7	171,1	186,5	26,2	31,0	47,1	0	25,1	1,5	120,9	275,5	145,7	1475,3
2017	239,9	142,1	181,1	67,0	61,7	6	0	0	13,3	97,4	200,8	183,5	1192,8
2018	430,0	85,2	92,3	49,8	30,0	5,7	0	22,8	33,4	78,1	379,9	120,2	1327,4
2019	135,7	204,5	119,4	155,8	37,0	0	0	52,4	46,5	94,2	164,9	247,0	1257,4
2020	354,0	314,0	90,4	48,0	45,0	0	0	5,0	20,0	126,0	62,0	539,7	1604,1
2021	242,4	146,0	89,0	62,0	1,1	21	0	0	8,0	253,4	189,0	222,0	1233,9
2022	251,0	257,0	166,2	9,7	49,4	11,5	0	5,5	99,2	95,0	138,0	188,3	1270,8
2023	648,5	177,0	23,2	0	43,5	5,3	25,1	15,8	37,7	183,5	145,4	275,9	1495,8
Média	307,8	200,7	170,7	82,2	35,6	12,0	7,8	11,0	39,8	107,2	170,1	259,9	1403,8

Fonte: ANA (2025)

Anexo E – Totais pluviométricos (mm) da estação Fazenda Buriti do Prata (Cód. 1949002)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1993	113,7	306,5	84,7	122,4	8,3	25,4	0	14,1	98,0	65,2	178,6	310,3	1327,2
1994	440,8	195,9	144,0	23,9	13,4	12,2	32,2	0	0	122,4	216,4	273,2	1474,4
1995	217,2	455,1	63,2	81,2	67,9	10,7	0	0	39,5	15,6	26,6	195,5	1172,5
1996	254,0	297,9	205,9	69,5	30,5	26,5	0	21,0	77,4	10,4	288,8	206,0	1427,9
1997	392,4	145,1	101,9	45,7	46,2	129,2	0	0	81,3	144,6	242,3	112,2	1440,9
1998	188,7	253,9	326,1	94,6	84,0	0	0	58,3	26,0	191,2	217,6	239,1	1679,5
1999	310,4	261,8	276,6	13,6	2,3	30,4	0	0	101,3	65,6	70,1	201,9	1334,0
2000	268,5	526,5	216,6	60,7	2,6	0	13,3	23,8	108,4	20,1	204,0	174,0	1618,1
2001	77,4	81,4	127,4	61,9	45,4	3,8	0	6,2	45,4	90,2	177,7	267,1	983,9
2002	261,2	350,8	83,7	2,2	49,8	0	3,7	2,7	47,8	54,2	123,3	249,4	1228,8
2003	444,0	130,0	228,8	76,2	16,6	1,9	1,2	25,8	9,2	75,5	211,0	242,0	1462,9
2004	412,1	257,4	199,8	126,4	31,5	3,4	13,8	0	9,4	50,7	121,0	473,2	1698,7
2005	517,7	40,9	276,9	12,0	88,4	37,0	6,8	2,2	86,6	89,5	263,8	272,7	1694,5
2006	247,9	208,1	426,3	125,9	13,0	0	0	31,5	108,4	106,2	361,7	273,0	1902,0
2007	428,0	189,4	171,2	57,	19,7	0	22,7	0	0	107,6	171,7	205,7	1373,8
2008	401,5	367,5	170,7	225,1	32,0	0	0	9,3	29,7	104,1	116,0	346,3	1802,2
2009	352,0	195,4	120,8	64,7	25,9	16,3	11,1	16,6	266,8	71,3	196,9	410,0	1747,8
2010	257,5	311,6	89,2	107,1	19,0	0	10,6	0	140,7	181,7	103,5	180,1	1401,0
2011	202,8	269,9	553,4	152,9	0	18,7	0	4,2	0	129,2	180,8	329,2	1841,1
2012	322,3	193,6	176,0	120,0	45,6	80,8	14,0	0	30,2	49,7	95,5	181,1	1308,8
2013	274,9	247,2	214,0	185,2	83,1	0	15,5	0	13,5	112,2	268,8	235,4	1649,8
2014	101,5	217,2	173,3	92,7	0	1,4	74,6	0	50,5	79,3	340,3	164,7	1295,5
2015	45,0	165,5	187,0	208,0	51,9	4,1	6,8	1,0	76,0	18,2	248,6	181,9	1194,0
2016	490,2	117,0	115,7	1,0	59,4	25,9	0	40,4	0	110,2	284,6	204,6	1449,0
2017	225,7	171,8	130,3	78,2	97,8	11,5	0	0	12,0	44,7	234,2	244,3	1250,5
2018	379,1	65,1	46,0	89,9	19,5	0	0	15,4	37,6	154,1	350,2	143,3	1300,2
2019	108,5	356,9	94,3	145,7	27,0	0	0,5	15,8	32,3	75,6	201,0	259,4	1317,0
2020	301,2	569,6	15,7	46,9	42,0	0	0	0	25,5	82,0	35,0	294,8	1412,7
2021	171,5	116,9	17,5	70,0	22,5	0	0	0	0	212,4	207,1	304,8	1122,7
2022	183,7	164,8	193,3	26,2	39,3	18,1	0	0	82,1	83,3	54,6	189,4	1034,8
2023	378,0	221,7	282,5	135,4	34,3	10,5	13,8	35,0	28,9	100,3	138,9	275,5	1606,0
Média	282,9	240,4	177,8	87,9	36,1	15,1	7,8	10,4	53,7	90,9	189,4	246,5	1437,2

Fonte: ANA (2025)

Anexo F – Totais pluviométricos (mm) da estação Gurinhata (Cód. 1949003)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1993	208,4	322,0	182,4	42,9	34,6	35,4	0	8,4	144,2	91,3	159,9	324,6	1554,1
1994	248,7	252,8	164,9	26,1	3,0	15,0	10,3	0	0	109,5	156,4	226,3	1213,0
1995	265,6	512,2	97,0	42,1	111,0	19,7	0	0	24,5	140,5	78,7	215,0	1506,3
1996	228,7	168,7	127,0	37,6	104,1	18,3	3,0	0	71,6	71,0	249,0	159,6	1238,6
1997	281,6	116,9	152,6	39,3	51,4	89,9	0	0	61,5	64,6	261,7	243,2	1362,7
1998	123,4	251,3	182,4	92,6	50,5	0	0	38,4	51,0	174,4	106,0	222,5	1292,5
1999	248,3	114,1	231,1	45,7	10,0	6,7	0	0	43,7	64,3	115,5	198,2	1077,6
2000	356,2	305,2	250,1	35,8	2,7	0	16,4	18,0	81,5	18,6	345,5	205,5	1635,5
2001	84,6	106,5	197,0	17,3	103,8	16,6	0	8,0	58,8	65,9	179,1	214,8	1052,4
2002	220,8	255,8	134,8	7,5	55,2	0	12,7	17,3	97,6	26,8	130,8	268,7	1228,0
2003	420,3	97,7	177,3	127,9	12,0	0	1,0	16,0	32,0	45,7	213,8	176,9	1320,6
2004	289,2	151,1	63,7	133,0	22,6	4,5	23,6	0	0	111,5	76,6	460,2	1336,0
2005	286,5	77,5	93,9	32,2	122,1	60,5	0	0	64,2	167,5	143,4	316,0	1363,8
2006	133,7	299,4	140,1	78,2	13,0	1,0	0	24,4	73,8	92,3	190,4	276,3	1322,6
2007	480,1	136,4	147,1	56,6	20,7	0	50,3	0	13,8	79,3	168,8	188,0	1341,1
2008	406,6	351,9	139,7	158,5	12,9	6,5	0	3,4	8,1	180,2	126,2	353,1	1747,1
2009	261,4	214,2	233,2	17,4	19,4	8,8	4,3	21,7	203,8	130,5	241,7	486,0	1842,4
2010	326,2	162,6	244,6	85,4	21,1	8,7	2,0	0	33,2	175,9	123,5	300,2	1483,4
2011	303,8	81,2	556,3	33,5	1,5	25,4	0	4,2	2,1	188,3	169,5	293,4	1659,2
2012	323,9	88,0	110,1	132,7	44,2	77,5	1,5	0	113,6	23,6	84,1	219,5	1218,7
2013	173,1	213,3	134,5	83,0	22,6	33,0	5,0	0	28,6	84,0	209,9	147,8	1134,8
2014	73,6	137,7	168,5	55,0	0	0	62,9	0	55,6	30,0	236,8	143,3	963,4
2015	169,8	142,9	233,8	49,0	67,3	3,1	5	6,4	58,9	113,6	226,1	252,3	1328,2
2016	482,6	149,9	117,0	5,8	70,9	9,4	0	19,9	17,2	75,1	162,3	209,7	1319,8
2017	150,1	71,5	112,7	182,7	90,2	0	0	3,2	16,7	39,3	218,8	242,5	1127,7
2018	119,9	107,9	91,9	142,2	35,7	0	0	19,9	58,4	239,8	313,7	129,0	1258,4
2019	48,6	330,3	95,0	64,7	0	0,1	0	1,1	23,3	63,4	173,3	181,3	981,1
2020	200,2	323,9	124,6	86,9	43,8	0,4	0	0	27,7	51,6	60,8	179,6	1099,5
2021	150,6	246,7	66,3	125,9	41,8	1,4	0	1,0	6,0	175,6	145,1	235,3	1187,3
2022	296,9	218,6	78,3	0	21,0	14,0	0	0	86,1	67,2	131,1	293,1	1206,3
2023	362,6	38,0	182,0	62,6	53,1	8,3	10,0	4,6	46,7	115,6	73,8	133,0	1075,7
Média	249,2	195,0	162,3	67,7	40,7	15,0	6,7	7,0	51,7	99,3	170,1	241,8	1305,7

Fonte: ANA (2025)

Anexo G – Totais pluviométricos (mm) da estação Campina Verde (Cód. 1949004)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1993	96,3	132,7	160,7	25,4	21,4	39,3	0	30,2	102,1	52,9	242,3	425,8	1329,1
1994	255,9	198,0	210,1	66,6	1,7	8,9	18,5	0	0	140,3	197,5	267,9	1365,4
1995	221,4	430,7	93,6	93,8	41,3	21,8	0	0	25,5	112,2	100,0	189,1	1329,4
1996	277,6	277,0	197,2	67,9	64,6	33,5	0	1,5	62,7	27,1	219,3	202,7	1431,1
1997	363,0	145,5	94,7	68,0	26,8	102,6	0	0	75,6	132,5	219,7	104,3	1332,7
1998	214,9	209,2	304,3	130,1	57,0	0,7	0	42,2	38,1	242,0	261,9	147,9	1648,3
1999	306,6	247,8	115,3	41,0	5,3	8,1	0	0	93,9	69,6	61,1	112,9	1061,6
2000	256,2	321,8	173,4	51,0	5,4	0	15,2	42,1	124,4	20,0	187,0	173,8	1370,3
2001	102,2	44,7	217,5	36,2	83,0	13,8	0	35,9	91,7	52,4	122,1	240,7	1040,2
2002	233,0	425,2	105,6	0,6	32,7	0	10,1	12,6	48,2	19,9	219,5	224,1	1331,5
2003	354,5	102,9	171,6	184,1	25,6	11,2	0	18,3	18,3	59,0	93,6	219,9	1259,0
2004	243,7	259,5	155,0	127,7	28,5	17,5	53,8	0,8	0	57,7	146,0	496,0	1586,2
2005	412,7	50,1	161,7	21,6	96,2	26,0	13,2	14,0	94,4	130,5	103,1	166,7	1290,2
2006	211,3	221,6	207,4	129,9	19,4	4,3	0	16,6	66,8	191,0	227,9	207,3	1503,5
2007	350,3	159,6	123,5	27,4	33,7	0	54,9	0	1,3	77,1	130,6	216,6	1175,0
2008	206,4	237,6	159,2	178,7	20,8	0	0	11,1	9,7	131,6	172,0	217,2	1344,3
2009	350,0	196,7	375,9	27,4	56,1	26,4	11,1	34,2	170,9	120,8	291,0	330,9	1991,4
2010	187,5	182,1	90,0	68,9	14,8	10,0	2,1	0	83,4	207,1	135,1	259,9	1240,9
2011	293,4	144,7	479,9	101,1	21,3	40,8	0	6,5	6,5	105,2	175,3	256,4	1631,1
2012	322,1	147,2	135,2	179,0	27,4	88,7	6,5	0	109,5	23,0	147,5	240,1	1427,2
2013	240,3	121,2	160,1	51,7	98,0	38,4	73,5	0	50,6	92,3	246,3	103,6	1276,0
2014	142,6	88,1	200,3	90,7	1,7	3,1	65,6	0	45,3	24,4	281,7	135,2	1078,7
2015	61,5	123,6	150,2	108,9	53,0	3,4	11,6	6,1	105,2	31,3	153,8	173,2	981,8
2016	502,6	108,7	107,3	11,7	82,7	24,7	0	31,5	0	81,5	275,7	257,5	1483,9
2017	182,4	140,4	269,1	130,0	96,5	0	0	3,5	10,5	80,7	183,8	317,7	1414,7
2018	226,0	146,8	39,9	76,2	35,3	0	0	29,1	34,9	200,2	441,6	100,4	1330,4
2019	26,4	316,8	179,0	163,1	16,6	0	0	34,3	25,5	88,0	214,7	326,6	1391,0
2020	290,9	421,1	105,8	90,6	28,7	0	0	8,3	3,5	84,6	81,8	206,6	1321,9
2021	141,7	115,4	58,8	60,7	16,7	15,5	0	0	9,5	234,7	151,5	234,0	1013,5
2022	128,7	240,6	180,4	26,5	33,1	18,4	0	13,1	64,0	93,1	112,9	335,0	1232,7
2023	534,2	202,2	259,2	206,6	27,3	9,5	5,2	11,7	75,6	62,3	147,1	186,5	1710,5
Média	249,6	198,7	175,6	85,3	37,9	18,3	11,0	13,0	53,1	98,2	185,3	228,3	1352,4

Fonte: ANA (2025)