

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Rúbia Riane de Sousa Araújo

**CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE HIDROGEOMORFOLÓGICA DE ÁREAS ÚMIDAS
DO ALTO SÃO FRANCISCO - MG**

Belo Horizonte

2025

Rúbia Riane de Sousa Araújo

**CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE HIDROGEOMORFOLÓGICA DE ÁREAS ÚMIDAS
DO ALTO SÃO FRANCISCO - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Elizêne Veloso Ribeiro

Belo Horizonte

2025

A663c
2025

Araújo, Rúbia Riane de Sousa.

Classificação e análise hidrogeomorfológica de áreas úmidas do Alto São Francisco - MG [manuscrito] / Rúbia Riane de Sousa Araújo. – 2025.

149 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior.

Coorientadora: Elizêne Veloso Ribeiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 138-149.

1. Geomorfologia fluvial – Minas Gerais – Teses. 2. Mapeamento geomorfológico – Minas Gerais – Teses. 3. São Francisco, Rio, Bacia – Teses. I. Magalhães Júnior, Antônio Pereira. II. Ribeiro, Elizêne Veloso. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 551.48 (815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE HIDROGEOMORFOLÓGICA DE ÁREAS ÚMIDAS DO ALTO SÃO FRANCISCO - MG"

RÚBIA RIANE DE SOUSA ARAÚJO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 04 de julho de 2025, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Antônio Pereira Magalhães Junior

IGC/UFMG

Luiz Fernando de Paula Barros

IGC/UFMG

Elizêne Veloso Ribeiro

IFMG Ouro Preto

Jonas Otaviano Praça de Souza

UFPB

Belo Horizonte, 04 de julho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Elizêne Veloso Ribeiro, Usuária Externa**, em 08/07/2025, às 07:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonas Otaviano Praça de Souza, Usuário Externo**, em 09/07/2025, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Fernando de Paula Barros, Professor do Magistério Superior**, em 10/07/2025, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Pereira Magalhaes Junior, Professor do Magistério Superior**, em 10/07/2025, às 20:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4347413** e o código CRC **E8F327DF**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho. À Universidade Federal de Minas Gerais, ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós Graduação em Geografia, pela infraestrutura disponibilizada, pelas oportunidades de formação em disciplinas e pela vivência acadêmica, fundamentais para a construção deste estudo e para a minha trajetória como pesquisadora.

Aos Grupos de Pesquisas Interdisciplinares em Áreas Úmidas (PIAU) e de Geomorfologia e Recursos Hídricos (RIVUS), pelo suporte teórico, operacional e em campo, e aos seus membros, pelo apoio constante, pelas trocas de ideias e pelo trabalho coletivo que tanto contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. Em especial ao Prof. Dr. Diego Alves de Oliveira, por compartilhar conhecimentos.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior e Profa. Dra. Elizêne Veloso Ribeiro, pela orientação dedicada, paciência e confiança em todas as etapas deste trabalho. Aos membros da banca de defesa, Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza e Prof. Dr. Luiz Fernando de Paula Barros, pelas leituras atentas e valiosas sugestões. E a todos os professores, técnicos e colaboradores que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Agradeço à minha família, pelo apoio e compreensão ao longo desta trajetória. Em especial ao meu noivo, Victor, cuja presença, paciência e inspiração foram fundamentais para a realização deste trabalho.

“Perto de muita água, tudo é feliz”

Guimarães Rosa

RESUMO

Esta dissertação investigou os condicionantes litoestruturais e hidrogeomorfológicos que influenciam a distribuição, a configuração e a tipologia das áreas úmidas (AUs) no Alto São Francisco, em Minas Gerais. A metodologia foi estruturada em quatro etapas principais: (i) mapeamento geomorfológico detalhado, com delimitação de subunidades a partir de critérios litoestruturais, topográficos e hidrológicos; (ii) identificação das zonas com maior potencial de ocorrência de AUs, utilizando parâmetros como relevo, drenagem, altitude, índice de umidade (TWI) e rugosidade (ICR); (iii) seleção de áreas representativas dentro das subunidades para análise comparativa entre diferentes contextos geomorfológicos; e (iv) elaboração de uma proposta de classificação hidrogeomorfológica, com base nos processos geomorfológicos, hidrológicos e na posição das AUs na paisagem. O mapeamento permitiu identificar setores favoráveis à ocorrência de AUs, especialmente em áreas com litologias pelito-carbonáticas, depósitos inconsolidados e zonas controladas por estruturas morfotectônicas. A análise dos atributos do relevo indicou que elementos como topografia, rugosidade e capacidade de retenção hídrica exercem forte influência sobre a distribuição e os tipos de áreas úmidas. Ambientes controlados por processos fluviais, dissolução cárstica ou inundações apresentaram padrões distintos de forma e funcionamento, refletindo a diversidade de condições geomorfológicas da bacia. A classificação proposta reuniu diferentes tipologias de AUs e foi construída com base em critérios morfogenéticos (sedimentação, erosão e dissolução), hidrológicos (inundação, alagamento e misto) e de inserção na paisagem, permitindo uma leitura integrada dos processos que estruturam esses ambientes. Essa sistematização contribuiu para organizar o conhecimento sobre as AUs do Alto São Francisco e entender melhor seu papel no funcionamento hidrológico e geomorfológico. Os resultados permitiram atingir os objetivos propostos, demonstrando que a distribuição e a configuração das AUs estão diretamente relacionadas a fatores como litologia, estrutura do relevo e dinâmica hidrológica. O mapeamento geomorfológico revelou compartimentos com maior potencial de ocorrência de AUs, enquanto a análise comparativa entre subunidades destacou padrões espaciais distintos associados aos processos fluviais, alagadiços e cársticos. A classificação hidrogeomorfológica desenvolvida sintetiza esses padrões, reunindo critérios morfogenéticos, hidrológicos e de inserção na paisagem. Essa abordagem contribuiu para a compreensão integrada das AUs no Alto São Francisco e oferece subsídios técnicos para sua conservação, especialmente em um contexto de pressão antrópica crescente e ausência de diretrizes específicas voltadas a esses ambientes no Cerrado.

Palavras-chave: hidrogeomorfologia; mapeamento geomorfológico; índices morfométricos.

ABSTRACT

This dissertation investigated the lithostructural and hydrogeomorphological factors that influence the distribution, configuration, and typology of wetlands in the Upper São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. The methodology was structured into four main steps: (i) detailed geomorphological mapping, with the delimitation of subunits based on lithostructural, topographic, and hydrological criteria; (ii) identification of zones with the highest potential for wetland occurrence using parameters such as relief, drainage, altitude, topographic wetness index (TWI), and ruggedness index (RI); (iii) selection of representative areas within subunits for comparative analysis across different geomorphological contexts; and (iv) development of a hydrogeomorphological classification proposal based on geomorphological processes, hydrological dynamics, and the spatial position of wetlands in the landscape. The mapping identified sectors favorable to wetland occurrence, especially in areas with pelitic-carbonatic lithologies, unconsolidated deposits, and zones controlled by morphotectonic structures. The analysis of relief attributes indicated that elements such as topography, ruggedness, and water retention capacity strongly influence the distribution and types of wetlands. Environments controlled by fluvial processes, karst dissolution, or flooding presented distinct patterns of shape and functioning, reflecting the geomorphological diversity of the basin. The proposed classification grouped different wetland typologies and was built on morphogenetic criteria (sedimentation, erosion, and dissolution), hydrological regimes (inundation, flooding, and mixed), and landscape insertion, allowing an integrated interpretation of the processes that shape these environments. This systematization contributes to organizing knowledge about the wetlands of the Upper São Francisco and better clarifies their role in hydrological and geomorphological functioning. The results achieved the proposed objectives, demonstrating that the distribution and configuration of wetlands are directly related to factors such as lithology, relief structure, and hydrological dynamics. The geomorphological mapping revealed compartments with higher potential for wetland occurrence, while the comparative analysis among subunits highlighted distinct spatial patterns associated with fluvial, floodplain, and karst processes. The developed hydrogeomorphological classification synthesizes these patterns by combining morphogenetic, hydrological, and landscape position criteria. This approach supports a comprehensive analysis of wetlands in the Upper São Francisco and provides technical support for their conservation, especially in the context of increasing anthropogenic pressure and the lack of specific guidelines addressing these environments in the Brazilian Cerrado.

Keywords: hydrogeomorphology; geomorphological mapping; morphometric indices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa da localização da área de estudo	18
Figura 2. Mapa das unidades geológicas do Alto São Francisco.	19
Figura 3. Principais afloramentos dentro da área de estudo. A e B representando o embasamento e C e D os calcários e pelitos, respectivamente.	21
Figura 4. Contexto hidrográfico da área de estudo.	24
Figura 5. AUs do tipo lagoas marginais.	28
Figura 6. AUs do tipo veredas e meandros abandonados.	29
Figura 7. Proposta de classificação hidrogeomorfológica das AUs do Alto São Francisco.	54
Figura 8. Maiores AUs da América do Sul considerando a sua extensão.	33
Figura 9. Domínios ou unidades morfoestruturais.	60
Figura 10. Unidades Morfoesculturais.	63
Figura 11. Mapa Geomorfológico do Alto São Francisco.	Erro! Indicador não definido.
Figura 12. Localização do Planalto da Canastra com <i>overlay</i> evidenciando ICR e TWI.	68
Figura 13. Perfil topográfico ao longo das escarpas do Planalto da Canastra.	69
Figura 14. Transição do domínio da Serra da Saudade (esquerda) para o domínio dos patamares (direita).	73
Figura 15. Transição das Serras Graníticas para a Depressão da Margem Direita do São Francisco.	74
Figura 16. Mapa detalhando o contexto litológico da subunidade Patamares do Samburá.	77
Figura 17. Mudança nos padrões de relevo dentro da subunidade Patamares do Samburá.	78
Figura 18. Padrões de relevo associados à subunidade PMESF.	79
Figura 19. Imagens evidenciando o contexto hidrogeomorfológico do vale do ribeirão dos Patos.	82
Figura 20. Perfis topográficos ilustrando o relevo da DMDSF.	87
Figura 21. Mosaico evidenciando as características de rugosidade e umidade na bacia do rio Picão.	91
Figura 22. Mosaico ilustrando a relação do rio São Francisco com as Planícies e Terraços. ..	94
Figura 23. Perfil longitudinal do rio São Francisco.	97
Figura 24. Exemplo de AUs no nível 1 de classificação. A - Sedimentação; B - Dissolução; C - Erosão.	104
Figura 25. Registros de inundação ao longo da bacia do rio Bambuí.	108

Figura 26. Classificação de AUs: erosão (1º nível), alagamento (2º nível), cabeceira de drenagem (3º nível).	111
Figura 27. Classificação de AUs: aedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), fundo de vale (3º nível).....	113
Figura 28. Classificação de AUs: dissolução (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).....	115
Figura 29. Classificação de AUs: dissolução (1º nível), alagamento (2º nível), topo plano (3º nível).....	117
Figura 30. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).	118
Figura 31. Vista de depressão do rio Perdição.	120
Figura 32. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).	122
Figura 33. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).	123
Figura 34. Classificação de AUs: dissolução (1º nível), alagamento (2º nível), fundo de vale (3º nível).	124
Figura 35. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), misto (2º nível), planície de inundação (3º nível).....	126
Figura 36. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), misto (2º nível), planície de inundação (3º nível).....	129

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização	11
1.2 Hipóteses	15
1.3 Objetivo geral	16
1.4 Objetivos específicos	16
2 ÁREA DE ESTUDO	17
2.1 Contexto geral	17
3.2 Aspectos geológicos	19
3.3 Aspectos geomorfológicos	22
3.4 Aspectos hidrográficos	23
3.4 Aspectos climáticos, pedológicos e vegetacionais	25
3.5 Sobre as AUs	27
3 REFERENCIAL TEÓRICO	30
3.1 Bases teórico-metodológicas sobre áreas úmidas.....	30
3.2 Sistemas de classificação de AUs.....	35
3.3 Abordagem hidrogeomorfológica das áreas úmidas	38
3.4 Mapeamento geomorfológico.....	41
3.5 Classificações geomorfológicas	44
4.1 Mapeamento geomorfológico.....	47
4.1.1 Índice de Concentração da Rugosidade.....	49
4.1.2 Topographic Wetness Index	50
4.1.3 Processamento de imagens de satélite	50
4.1.4 Análise descritiva dos dados.....	51
4.1.5 Perfis topográfico e longitudinais.....	52
4.1.6 Integração das informações	52
4. 2 Classificação hidrogeomorfológica	52
4.2.1 Primeiro nível de classificação	54
4.2.2 Segundo nível de classificação	56
4.2.3 Terceiro nível de classificação	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59

5.1 Mapeamento geomorfológico e unidades do relevo regional.....	59
5.1.1 Domínios ou Unidades Morfoestruturais	59
5.1.2 Unidades Morfoesculturais.....	62
5.1.3 Subunidades Morfoesculturais	64
5.1.4 Resumo estatístico dos dados	98
5.2 Panorama das áreas úmidas: tipologias e conexões com o quadro hidrogeomorfológico	104
5.2.1 Contextualização dos níveis classificatórios	104
5.2.2 Distribuição das AUs por compartimentos do relevo.....	109
6 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS RESULTADOS	130
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
REFERÊNCIAS	138

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A demanda por água vem aumentando ao longo dos séculos, incitando uma discussão acerca do uso, gestão e proteção dos recursos hídricos (Rebouças *et al.* 2006; Tundisi, 2011). Junto a isso, as áreas úmidas (AUs) têm emergido como um dos sistemas de relevância na regulação dos recursos naturais e na provisão de serviços para as sociedades (Ramsar Convention on Wetlands, 2021), e ganhado importância nas discussões sobre um desenvolvimento sustentável com relevância nos acordos globais (United Nations, 2015; Brasil, 1996; Ramsar Convention Wetlands, 2021).

O termo “áreas úmidas” (*wetlands*, *humedales*) agrupa uma variedade de complexas paisagens, caracterizadas pela presença de água temporária ou permanente, formando um ambiente de transição entre o meio drenado e o meio aquático (Ramsar Convention Wetlands, 1971). Compreendem ambientes como brejos, veredas e pântanos, com diferentes combinações de características hidrológicas, morfológicas e ecológicas (Maltby e Barker, 2009; Mitsch, Gosselink, 2015; Diegues, 2002). Essa diversidade de configurações reflete não apenas a heterogeneidade dos ambientes úmidos, mas também a variedade de abordagens científicas utilizadas para a sua delimitação e classificação (Cunha; Piedade e Junk, 2015).

O reconhecimento da importância das AUs foi consolidado a partir da Convenção de Ramsar, na década de 70 (Ramsar Convention, 1971). A convenção de Ramsar foi um passo inicial e decisivo para a proteção das AUs, mas ainda incipiente para a mitigação dos impactos negativos sobre esses sistemas (Ramsar Convention Wetlands, 2018). No contexto brasileiro, a proteção das AUs vem sendo comprometida também pelo quadro de relativo desconhecimento desses sistemas no país. Os inventários realizados em nível nacional, como os de Diegues (1994, 2002), e posteriormente pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU) (Cunha; Piedade; Junk, 2015), abarcam principalmente as AUs de grande extensão.

No entanto, para além dos sítios oficialmente reconhecidos, existe uma miríade de áreas que permanecem com pouca ou nenhuma proteção legal ou reconhecimento técnico, frequentemente ameaçadas pela expansão agropecuária, drenagem artificial e urbanização (Marton *et al.*, 2015; Semlitsch e Bodie, 1998; Tiner, 2003). Esse quadro se agrava no caso das AUs de pequeno porte, que seguem em grande parte desprotegidas e ausentes da legislação ambiental específica (Goncalves, Cunha e Junk, 2023).

Apesar da existência de instrumentos legais relacionados (como o Código Florestal e a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos), as AUs de pequeno porte ainda contam com uma lacuna de legislação apropriada para a sua proteção e conservação no Brasil. Embora algumas tentativas de proteção pontuais para algumas tipologias de AUs já existem (Brasil, 1997), ainda são incipientes diante da diversidade de tipologias. Soma-se a isso o desconhecimento científico e geográfico sobre a localização, morfologia e dinâmica de muitas dessas áreas, sobretudo em regiões do interior do Brasil.

A ausência de uma base técnico-científica consolidada compromete o reconhecimento e a proteção legal das AUs. Nesse contexto, os instrumentos legais existentes são genéricos e carecem de critérios claros e objetivos para a identificação, delimitação e classificação. Dessa forma, muitas AUs seguem invisibilizadas e ameaçadas, seja pela ausência de um marco legal específico, seja por lacunas no conhecimento técnico e científico (Silva *et al.*, 2021).

A necessidade de conhecimento e proteção das AUs é facilmente justificada pelas diversas funções ecossistêmicas que exercem (Lu, 1995; Saldanha e Costa, 2019). As AUs são provedoras de serviços ambientais para as sociedades humanas, para a manutenção da biodiversidade e para o equilíbrio dos ciclos hidrológico, sedimentológico e bioquímico (Tooth *et al.*, 2015; Marton *et al.*, 2015). Também, desempenham papel fundamental na regulação do clima, principalmente ao atuarem no armazenamento do carbono na forma orgânica (Wantzen *et al.*, 2022). No caso da dinâmica hidrológica, as AUs têm elevado potencial de retenção de água durante os eventos extremos, funcionando como zonas de tampão que contribuem para o amortecimento de inundações e atenuação de estiagens (Bullock; Acreman, 2003).

Simultaneamente, as AUs estão entre os sistemas mais ameaçados pela destruição, sofrendo com alterações no uso da terra, urbanização, mudanças climáticas (Fluet-Chouinard *et al.*, 2023; Ramsar Convention Secretariat, 2018). Estima-se que cerca de 35% das AUs do mundo foram perdidas entre 1970 e 2015, com taxas de crescimento acelerado desde os anos 2000 (Ramsar Convention Wetlands, 2018; Tooth; Waal, 2019). No Brasil, a drenagem de AUs e a conversão do uso da terra, em especial para atividades agrosilvipastoris, são as principais formas de degradação desses sistemas (Cunha *et al.*, 2015), aliadas à carência de instrumentos adequados de proteção e fiscalização, colocando em risco a sobrevivência desses sistemas.

Por outro lado, a partir dos anos 1990 têm ocorrido um processo de mudanças significativas na percepção sobre as AUs, inserindo-as dentro das agendas políticas e científicas (Maltby, 2009). Tal panorama decorre principalmente, da expansão das pesquisas com foco em AUs, considerando a provisão de serviços ambientais e o significado socioeconômico das AUs,

levando a diversos países a implementarem estratégias de proteção (Grenfell et al., 2019; Semeniuk; Semeniuk, 1995).

Os avanços científicos são a base para o conhecimento e a evolução dos quadros legais de proteção das AUs, bem como para a consolidação de bases conceituais e tipológicas (Cunha; Piedade; Junk, 2015; Hu *et al.*, 2017). Tradicionalmente, as AUs são estudadas com enfoque ecossistêmico pelas ciências biológicas, sendo escassos estudos com enfoque hidrogeomorfológico, principalmente em relação aos sistemas interioranos de pequena extensão (Oliveira, 2019; Trindade, 2016; Tooth *et al.* 2015; Lisenby, 2019).

Algumas pesquisas limitam-se a descrições de parâmetros topográficos (Brinson, 1993; Dugan 1993, Semeniuk 1995), mas se configuram como trabalhos pioneiros ao destacar a importância de incorporar conceitos hidrogeomorfológicos no entendimento, classificação e delineamento de AUs. A desconsideração dos processos morfodinâmicos na configuração e dinâmica das AUs pode ser um obstáculo para a sua compreensão em termos de gênese, evolução e tipificação (Tooth, 2019).

Embora as AUs desempenhem um papel fundamental na regulação dos ciclos hidrológicos e na manutenção da biodiversidade, a compreensão de suas dinâmicas e características exige abordagens interdisciplinares (Junk *et al.*, 2013). Nesse contexto, o mapeamento geomorfológico se apresenta como uma ferramenta essencial para entender a configuração, a evolução e os processos morfodinâmicos dessas áreas (Kolka e Thompson, 2007; Sharma, 2010). Através da identificação e análise detalhada das formas de relevo, o mapeamento geomorfológico permite não apenas a delimitação precisa das AUs, mas também uma interpretação aprofundada dos processos que influenciam sua dinâmica hidrológica e ecológica.

Ao integrar dados sobre a morfologia, gênese e processos do relevo, o mapeamento geomorfológico oferece uma visão abrangente do contexto hidrogeomorfológico (Ross, 1992; Christofletti, 1980), facilitando a identificação de áreas com potencial para o desenvolvimento de sistemas hidrogeomorfológicos. Portanto, essa abordagem se torna um passo crucial para a classificação e entendimento dessas áreas, especialmente em regiões com grande diversidade e complexidade (Gomes, 2016).

Além de apoiar a caracterização de sistemas hidrogeomorfológicos, o mapeamento geomorfológico constitui também uma ferramenta integradora e exploratória, capaz de revelar padrões e relações entre formas e processos, sobretudo em contextos onde levantamentos detalhados ainda são incipientes.

A cartografia geomorfológica trata-se de uma ferramenta fundamental para a análise e gestão do meio físico, fornecendo subsídios essenciais ao planejamento estratégico do uso e ocupação da terra (Ross, 1991). O mapeamento geomorfológico, enquanto base para o planejamento territorial, possibilita a definição de formas de uso e ocupação da terra mais adequadas, a partir da compreensão da dinâmica das formas de relevo (Cunha, Mendes e Sanchez, 2003). E em um contexto de mudanças climáticas e de expansão urbana desordenada, os riscos de desastres naturais se agravam, tornando indispensável o conhecimento dos processos e dinâmicas do relevo para a gestão territorial e ambiental (Quesada-Román et al., 2023; Quesada-Román e Peralta-Reyes, 2023).

Nesse sentido, é uma ferramenta fundamental para a compreensão dos processos hidrogeomorfológicos que governam a dinâmica de paisagens úmidas e sua interação com o relevo, a drenagem e os fluxos hídricos (Oliveira, 2021). A cartografia geomorfológica, portanto, se torna uma ferramenta essencial para mapear e entender essas interações, permitindo uma análise mais precisa da distribuição espacial da paisagem e da dinâmica dos processos que condicionam a gênese e manutenção das AUs.

Neste contexto, a combinação do mapeamento geomorfológico com critérios hidrogeomorfológicos oferece um novo olhar sobre as AUs, permitindo a identificação das zonas com maior potencial para a ocorrência desses ambientes. No Alto São Francisco, por exemplo, o conhecimento detalhado do relevo e dos processos hidrológicos associados é crucial para o entendimento da formação e evolução das AUs, especialmente em regiões onde a variabilidade das características geomorfológicas pode resultar em uma grande diversidade de sistemas hidrogeomorfológicos. Assim, o mapeamento geomorfológico não apenas representa a paisagem física, mas também fornece os subsídios necessários para o planejamento e a gestão sustentável.

O Alto São Francisco (ASF) apresenta uma importante quantidade e diversidade de AUs, como já apontado por Araújo, Oliveira, Ribeiro (2020), principalmente na forma de lagoas marginais inseridas na planície de inundação do rio São Francisco, e grandes áreas de pântano como as bacias dos rios Picão (Moreira *et al.*, 2023) e Sujo (Rezende, Salgado e Castro, 2018). Essas AUs apresentam diferenças quanto ao contexto hidrogeomorfológico e as condições ambientais, resultando em tipos distintos quanto à origem, configuração morfológica e dinâmica. Paralelamente, a região é uma das mais produtivas do estado, em termos agrícolas, apresentando extensas plantações de soja, milho e cana-de-açúcar, além de uma importante atividade pecuária (IBGE, 2019).

As AUs estão sendo artificialmente e continuamente drenadas dentro da área de estudo e a sua investigação é essencial para as estratégias de gestão territorial e de proteção e recuperação dos sistemas úmidos regionais. A perda gradual desses sistemas pode culminar na “*cumulative loss*”, gerando prejuízos ambientais e socioeconômicas, com a redução da provisão de serviços ecossistêmicos disponibilizados por esses sistemas, a perda acelerada desses ambientes aliada a uma falta de conhecimento científico contribui para a perda desses sistemas antes mesmo de serem estudados e reconhecidos.

Portanto, o presente trabalho propõe-se a explorar a inter-relação entre a cartografia geomorfológica e os sistemas hidrogeomorfológicos das AUs, a partir de uma abordagem que integra o relevo, a hidrologia e os processos geomorfológicos. A partir dessa perspectiva, será possível fornecer uma base sólida para a compreensão da dinâmica dessas áreas, contribuindo para a formulação de estratégias de manejo e conservação adequadas a esses sistemas sensíveis e de grande importância ambiental.

1.2 Hipóteses

O trabalho parte da hipótese geral de que a distribuição espacial, a gênese, a configuração e a tipologia das AUs do Alto São Francisco estão relacionadas, principalmente, a fatores litoestruturais e hidrogeomorfológicos.

Ao longo da pesquisa, diversas perguntas orientaram as análises. Algumas formuladas desde o início, enquanto outras surgiram no decorrer das investigações, refinando os questionamentos iniciais:

- Em que medida as características litoestruturais condicionam a permanência da umidade e ocorrência das AUs?
- Quais atributos geomorfológicos estão associados à maior ocorrência de AUs no Alto São Francisco?
- Como as diferentes unidades geomorfológicas influenciam a distribuição espacial e a tipologia das AUs?

Essas perguntas partem de investigações anteriores desenvolvidas pelos Grupos de Pesquisa PIAU e RIVUS (Trindade, 2016; Ribeiro, 2010; Oliveira *et al.* 2021; Oliveira, 2019; Gomes e Magalhães Júnior, 2017; 2018; 2020; Araújo; Oliveira; Ribeiro, 2022; Moreira *et al.*, 2023) que identificaram como fatores regionais favoráveis à ocorrência desses sistemas as litologias pelíticas, os depósitos cenozoicos, e as áreas associadas a zonas fraturadas ou a abatimentos tectônicos.

No contexto geomorfológico, partiu-se da hipótese de que as AUs se concentram majoritariamente em áreas de baixa rugosidade, altitudes pouco expressivas e proximidade à rede de drenagem. Considerando a diversidade de fatores atuantes, também se pressupõe que as unidades geomorfológicas condicionam a distribuição espacial e a tipologia hidrogeomorfológica das AUs no Alto São Francisco.

Diante disso, a pesquisa buscou responder como os fatores litoestruturais e hidrogeomorfológicos influenciam a distribuição espacial, a configuração e a tipologia das AUs no Alto São Francisco.

1.3 Objetivo geral

A pesquisa busca investigar os condicionantes litoestruturais e hidrogeomorfológicos da distribuição espacial, configuração e tipologia das áreas úmidas no Alto São Francisco.

1.4 Objetivos específicos

- Realizar o mapeamento geomorfológico da área, com foco na identificação de unidades que favorecem a ocorrência de áreas úmidas;
- Investigar os atributos geomorfológicos que condicionam a distribuição espacial e a configuração das áreas úmidas;
- Propor uma classificação hidrogeomorfológica das AUs com base em processos geomorfológicos e hidrológicos e padrões de inserção na paisagem.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Contexto geral

A área de estudo está localizada na porção central de Minas Gerais, abrangendo a Microrregião Hidrográfica do Alto São Francisco (MicroRH ASF) (IBGE, 2021) e a bacia do rio do Picão, pertencente à bacia do Pará, e situada à margem esquerda do rio São Francisco. Embora a bacia do rio do Picão não integre oficialmente a bacia hidrográfica do Alto São Francisco, ela foi incorporada à pesquisa por apresentar relevância para a compreensão geomorfológica regional e pelo potencial de ocorrência de AUs.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é tradicionalmente dividida em quatro porções: alto, médio, submédio e baixo curso. O Alto São Francisco se estende desde a sua nascente, na Serra da Canastra, até pouco antes da confluência do rio São Francisco com o rio Pará (IBGE, 2021). Esse trecho é caracterizado por águas rápidas, frias e oxigenadas, distinguindo-se dos demais seguimentos da bacia.

Além disso, cerca de 70% da vazão do rio São Francisco, que deságua no oceano Atlântico, tem origem na porção mineira (Pereira *et al.*, 2007). Essas informações ajudam a elucidar a importância do Alto São Francisco (ASF) para a provisão de recursos hídricos no país. Ressalta-se ainda que o rio São Francisco é o maior curso d'água inteiramente inserido no território brasileiro.

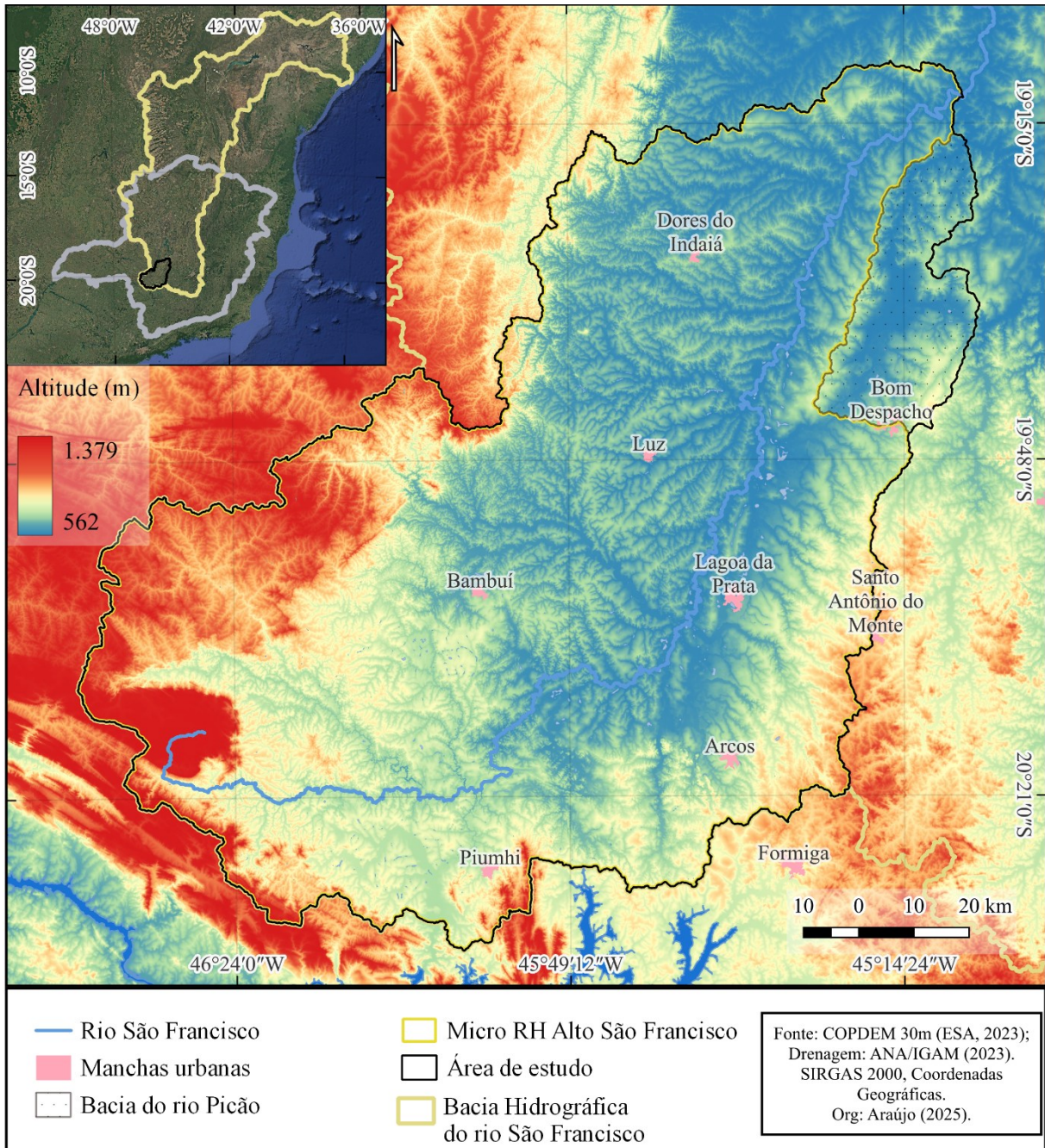
Para além da sua importância natural, o rio São Francisco tem papel histórico e cultural significativo, sendo tradicionalmente fonte de pescado para as regiões Sudeste e Nordeste do país. Também representa uma base de subsistência e renda para comunidades ribeirinhas, conhecidas localmente como barranqueiros, que habitam as margens do rio (Godinho; Godinho, 2003).

Ao longo das últimas décadas, a atividade pesqueira perdeu espaço diante do crescimento de centros urbanos e industriais, como a Região Metropolitana de Belo Horizonte, nas bacias do rio das Velhas e do Paraopeba, e de cidades como Divinópolis, na bacia do rio Pará. A atividade mineradora, tradicional em Minas Gerais, também se destaca dentro da bacia, especialmente nas cabeceiras do Velhas e do Paraopeba, onde se localiza o Quadrilátero Ferrífero, além de outros polos mineradores com relevância regional (Pereira; Castro, 2018).

Na área específica deste estudo, as atividades minerárias são mais pontuais, com destaque para antigas cavas próximas à Serra da Canastra, a extração de calcário na província carbonática de Arcos-Pains, e a mineração de ardósia e argila, especialmente na bacia do rio do Picão. Atualmente, a atividade predominante é a agropecuária, com grande parte das várzeas

do rio São Francisco e de seus afluentes sendo utilizadas para a produção agrícola em larga escala, especialmente de milho, soja e criação de gado.

Figura 1. Mapa da localização da área de estudo

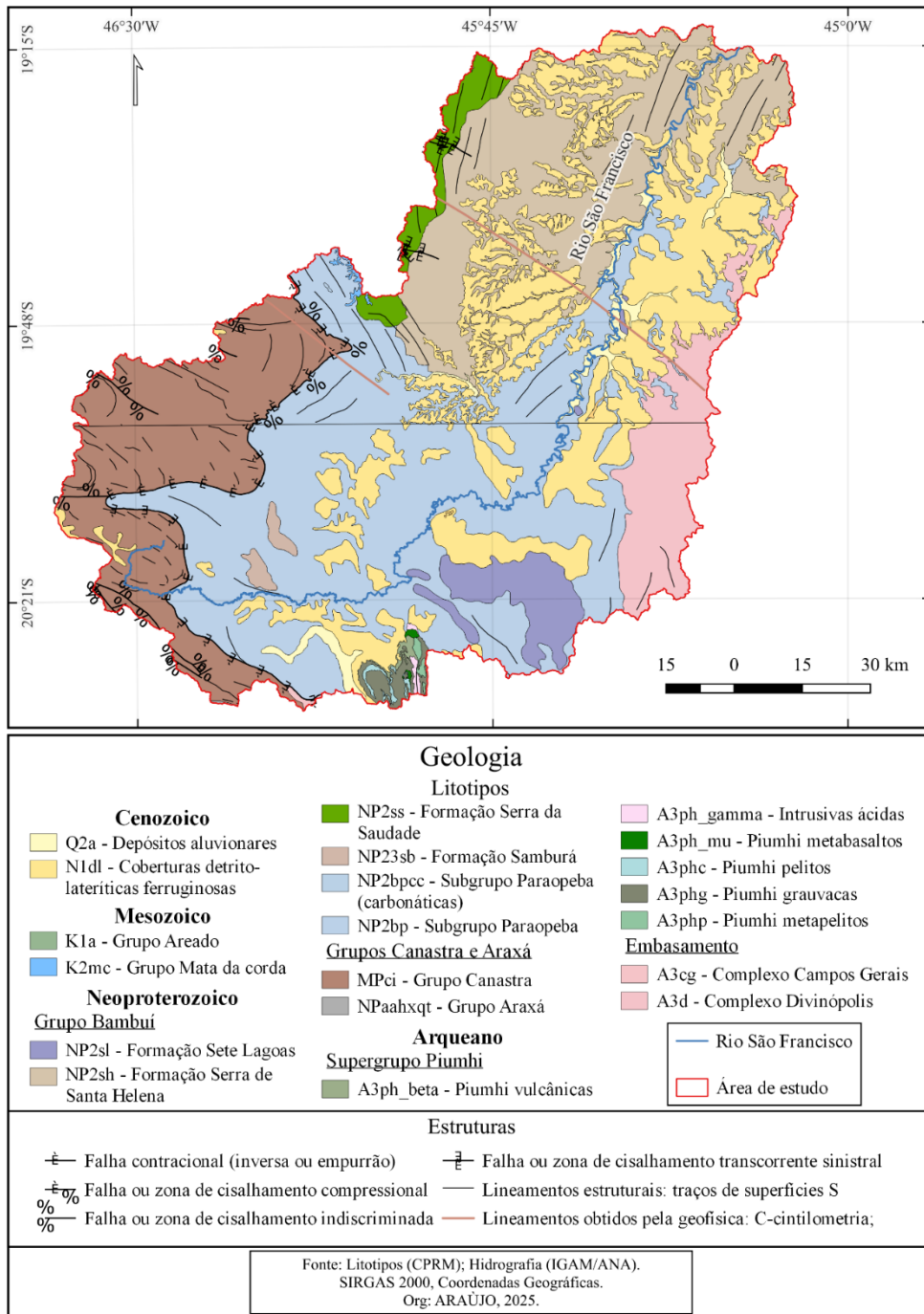


Fonte: A autora (2024).

3.2 Aspectos geológicos

Tectonicamente, a área de estudo está situada entre dois domínios distintos: a Faixa de Dobramentos Brasília, pertencente ao sistema orogênico brasileiro Tocantins, e o Cráton São Francisco (Alkimin, 2004), com predominância sobre o segundo domínio.

Figura 2. Mapa das unidades geológicas do Alto São Francisco.



Fonte: A autora (2024).

As estruturas geológicas presentes são herdadas do ciclo Brasileiro, indicando a importância do Neoproterozoico na estruturação da área, período em que também ocorreu a deposição da bacia sedimentar do Bambuí. Após esse período, há um hiato nos registros geológicos até o Quaternário, quando se iniciam as deposições das coberturas cenozoicas inconsolidadas.

O embasamento cristalino é composto por rochas arqueanas, basicamente granitos e gnaisses, representados principalmente pelos Complexos Bom Despacho, Divinópolis e Campos Gerais, restritos à porção oeste da área. Ainda de origem arqueana, aflora parte da sequência vulcano-sedimentar do Supergrupo Piumhi na porção meridional da área. Sobre esse embasamento, instala-se a Bacia Sedimentar Sanfranciscana, composta por coberturas fanerozóicas, tendo como principal representante o grupo Bambuí (Campos, Dardenne, 1997).

Quadro 1. Principais unidades geológicas da área de estudo.

Cenozoico (Neogeno - Quaternário)		COBERTURAS CENOZOICAS		Depósitos aluvionares		
				Coberturas detrito-lateríticas com ou sem concreções ferruginosas		
Mesozoico (Cretáceo)	Supergrupo São Francisco	MATA DA CORDA	lavas, piroclásticas, arenito cinerítico			Provincia São Francisco
		AREADO	Arenito, siltito, folhelho, conglomerado			
Neoproterozoico	Supergrupo São Francisco	BAMBUÍ	Formação Samburá: Conglomerados	Formação Três Marias: arcóseo, pelito		Provincia São Francisco
				Formação Serra da Saudade: siltito e argilito		
				Formação Lagoa do Jacaré: calcário, pelito		
				Formação Serra de Santa Helena: siltito e argilito ardosiário, marga		
				Formação Sete Lagoas: calcário, dolomito		
Neoproterozoico	Supergrupo São Francisco	IBIÁ	Formação Rio Verde: filito, quartzito, calcixisto			Provincia Tocantis
		ARAXÁ	Quartzito, micaxisto, anfibolito			
		CANASTRA	Metassedimentares: quartzitos e filitos, principalmente			
Arqueano	Supergrupo Piumhi	Metagrauvaca, metaconglomerado, metapelitos, formaçãoo ferrífera, metarritmito (metaturbidito), metavulcânicas, metaplutônicas ácidas e intermediárias, metaultrabásica			Embasamento das províncias	
		Intrusivas graníticas a tonalíticas				
Arqueano		DIVINÓPOLIS, CAMPO GRANDE E BELO HORIZONTE	Complexos ortognaissicos tipo TTG e granitóides associados			

Fonte: Adaptado de Pinto e Martins-Neto (2001).

A Serra da Canastra, situada na Faixa Brasília, marca o interflúvio entre as grandes bacias do rio Grande e do rio São Francisco. É formada predominantemente pelo Grupo Canastra, composto por uma associação de rochas metassedimentares psamíticas e pelíticas, quartzitos e filitos principalmente, e com ocorrência local de lentes carbonáticas (Vasconcelos *et al.* 2015).

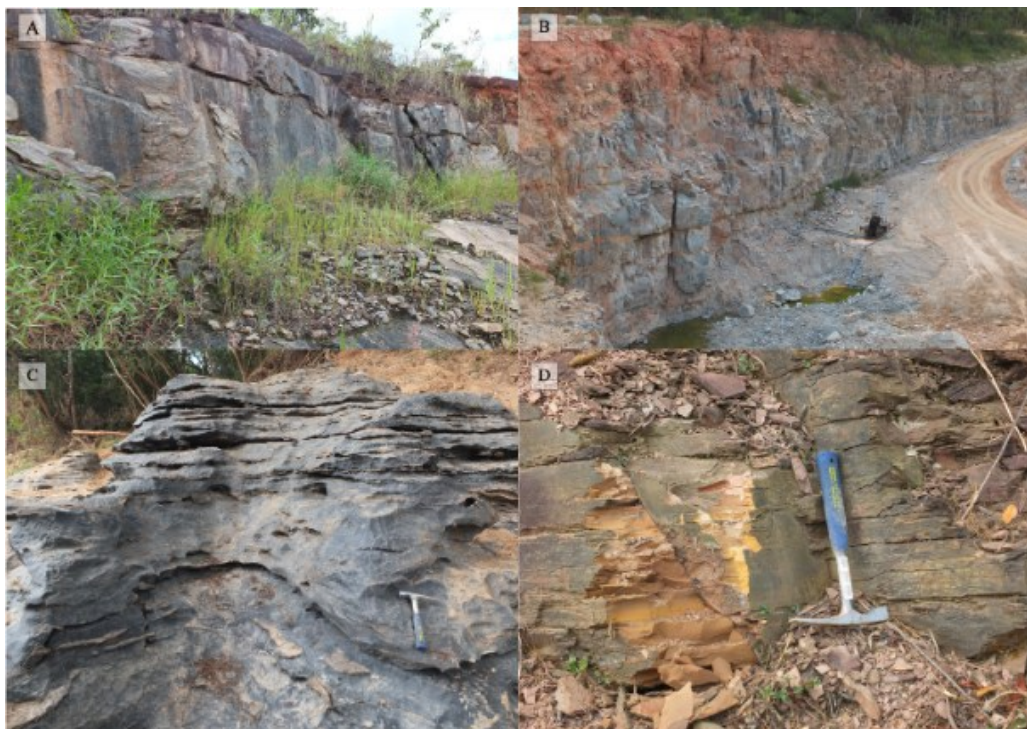
Grande parte da área de estudo está configurada sobre as rochas do grupo Bambuí, que cobre a porção sudeste do Cráton São Francisco. Trata-se de uma extensa cobertura sedimentar formada por duas sequências: o subgrupo Paraopeba, na base, com predominância de pelitos e

carbonatos, depositado em ambiente de plataforma rasa; e a formação Três Marias, de natureza terrígena, superior e continental (Minas Gerais, 1999).

Destacam-se ainda os calcipelitos da Formação Sete Lagoas e os argilitos e siltitos da Formação Serra da Saudade, ocupando a área da Depressão do Alto São Francisco. Localmente, ocorrem lentes carbonáticas da formação Lagoa do Jacaré, e pelitos (ardósias) da Formação Serra de Santa Helena, no contato entre a bacia sedimentar e o embasamento granito-gnáissico migmatítico (CPRM, 2002; Magalhães, 1989).

No contexto de transição do Cráton com a Faixa Brasília, está inserida a Serra da Saudade, inserida em um sistema de patamares basculados para nordeste, com uma escadaria de falhas em sentido oposto ao basculamento (Saadi, 1991). Ao longo do Cenozoico, essas estruturas herdadas foram reativadas em diferentes momentos, dando origem a blocos e domínios morfotectônicos separados por “descontinuidades crustais” relacionadas às antigas geossuturas (Saadi, 1991). Mesmo inserida em um contexto cratônico, a área foi afetada por uma "superposição de efeitos morfotectônicos", ainda de acordo com o autor, resultando em compartimentações morfoestruturais com feições tectônicas discretas.

Figura 3. Principais afloramentos na área de estudo. A e B representam o embasamento cristalino e C e D os calcários e pelitos, respectivamente.



Fonte: A autora, 2024.

No domínio da província Tocantins, é comum a presença de falhas e fraturas herdadas do Brasileiro e que podem estar sujeitas a reativações. Essas estruturas apresentam alinhamento preferencial SW-NE, acompanhando os principais lineamentos da orogênese brasileira (Hasui et al. 2012). Coincidem, ainda, com os contatos entre os planaltos marginais e a depressão do São Francisco, como no caso do soerguimento do Alto Paranaíba, representados localmente pelas Serras da Canastra e da Saudade (Saadi, 1991).

A Figura 3 ilustra alguns dos principais afloramentos da área de estudo: em A, observa-se o embasamento granito-gnáissico do Complexo Bom Despacho; em B e C, afloramentos de calcário localizados próximos à BR-262 e ao canal do rio São Francisco, respectivamente. Embora os metapelitos representem a principal litologia da área, eles se encontram altamente intemperizados, com afloramentos raros, como exemplificado em D.

Essa trajetória geológica complexa contribuiu para a diversidade litológica e estrutural observada na área de estudo, refletindo diretamente na conformação do relevo, na dinâmica das drenagens e na distribuição das AUs. Compreender esses aspectos é fundamental para a análise geomorfológica e hidrogeomorfológica da região, uma vez que a geologia de base condiciona os processos superficiais e influencia diretamente na ocorrência e no funcionamento das unidades de paisagem analisadas ao longo deste trabalho.

3.3 Aspectos geomorfológicos

A área de estudo está inserida predominantemente na Depressão do Alto São Francisco, unidade morfoestrutural associada ao domínio do Cráton do São Francisco, caracterizada por altitudes moderadas, formas suavemente onduladas e amplos fundos de vale. Essa depressão é margeada por unidades mais elevadas, destacando-se os planaltos estruturais da Serra da Canastra e da Serra da Saudade, que funcionam como divisores de água e importantes marcos topográficos da paisagem regional. Essas elevações, modeladas por rochas resistentes como quartzitos e filitos, apresentam escarpamentos controlados por falhamentos e contatos litológicos, separando as áreas mais elevadas das zonas rebaixadas da depressão (Silva; Borges; Rodrigues, 2020; Vasconcelos et al., 2015; Saadi, 1991).

Na porção leste da área de estudo, os interflúvios apresentam formas menos pronunciadas, marcando a transição entre as bacias do Alto São Francisco e do rio Pará. As altitudes variam em torno de 800 metros, configurando uma topografia mais intermediária. Nessa região, predominam unidades associadas aos planaltos do Centro-Sul Mineiro, entre as quais se destacam os Patamares de Campo Belo e Formiga e o Planalto de Oliveira,

compartimentos geomorfológicos característicos por sua dissecação avançada e formas de relevo dissecado com colinas convexas e topos suavemente aplainados (IBGE, 2019; Saadi, 1991).

A porção central da área compreende a Depressão do Alto São Francisco, instalada principalmente sobre substratos pelíticos e carbonáticos do Grupo Bambuí, como os argilitos, siltitos e calcários das formações Serra da Saudade, Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. Essa condição geológica influencia diretamente a morfologia, resultando em relevo suavemente ondulado a plano-ondulado, com altitudes variando entre 550 m e 700 m. A presença de rochas carbonáticas favorece a ocorrência de formas cársticas, como dolinas, sumidouros e sistemas subterrâneos de drenagem, além de propiciar a presença de AUs associadas ao relevo cárstico, frequentemente observadas em fundos de vale e planícies de inundação (Araújo; Oliveira; Ribeiro, 2022; CPRM, 2002; Campos & Dardenne, 1997).

Ao longo da planície de inundação do alto curso do rio São Francisco, observa-se a predominância de colinas baixas, formas convexas e fundos de vale amplos e entulhados, com características que sugerem uma longa história de dissecação e sedimentação fluvial. Essas paisagens constituem o padrão geomorfológico mais recorrente na área de estudo e refletem tanto os controles litológicos e estruturais quanto os processos morfodinâmicos recentes (Saadi, 1991; Silva et al., 2020). A associação entre relevo suavizado, solos espessos e vales largos contribui para a formação de condições propícias à ocorrência de AUs, frequentemente conectadas a drenagens mal encaixadas e mal definidas.

Em síntese, a configuração geomorfológica da área é resultado da interação entre a estrutura geológica herdada, especialmente do Neoproterozoico, os processos erosivos que atuam desde o Cenozóico e os condicionantes climáticos regionais. A paisagem atual reflete um equilíbrio dinâmico entre as formas herdadas e os processos morfogenéticos ativos, com destaque para a influência do substrato litológico e da tectônica no controle do relevo e da rede de drenagem.

3.4 Aspectos hidrográficos

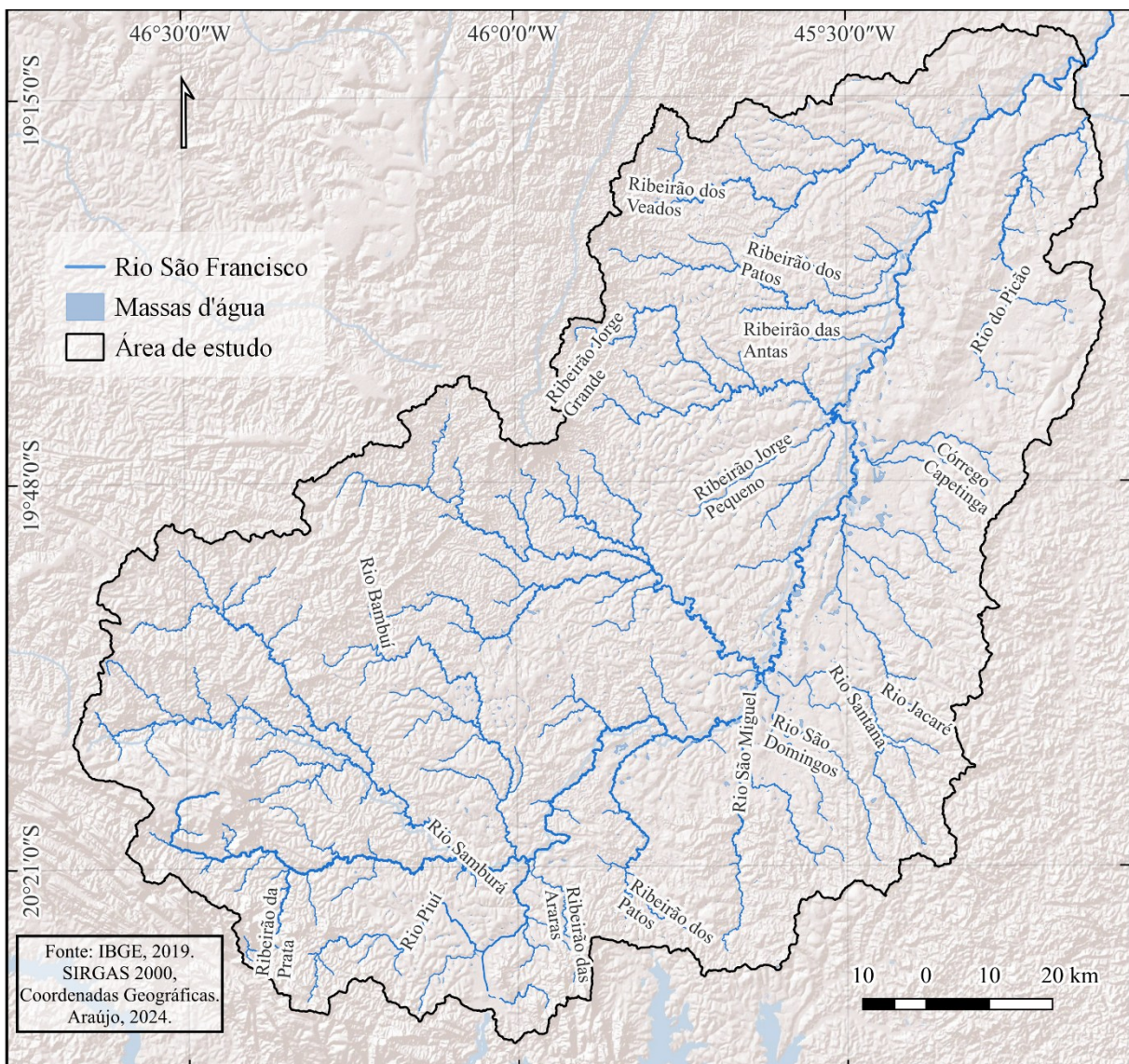
A Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco (SF1) possui uma área total de 14.151 km², com uma extensão de aproximadamente 198,42 km entre o exutório e o ponto mais distante da bacia. Apresenta uma largura média de 71,32 km e um perímetro de 756,59 km, evidenciando uma configuração relativamente alongada e bem delimitada.

A hidrografia da SF1 é marcada por uma expressiva presença de nascentes e cursos d'água de pequeno porte, o que é típico de regiões de cabeceira. Esse padrão é indicativo de

uma bacia com alto potencial de recarga hídrica e com significativa contribuição às drenagens de maior ordem na bacia do rio São Francisco.

A rede de drenagem da SF1 é bastante densa, reflexo tanto da natureza do relevo quanto das características climáticas e geológicas da região. Essa densidade é especialmente acentuada nas áreas de maior altitude, localizadas principalmente na porção sudoeste da bacia. Nessa região, destacam-se as escarpas da Serra da Canastra, onde a disposição dos cursos d'água assume predominantemente um padrão dendrítico, típico de terrenos homogêneos e pouco controlados estruturalmente.

Figura 4. Contexto hidrográfico da área de estudo.



Fonte: A autora (2025).

Essa configuração hidrográfica confere à bacia um papel estratégico na manutenção dos fluxos hídricos da região, com influência direta sobre a dinâmica de escoamento superficial, a formação de AUs e a conservação dos ecossistemas associados às cabeceiras.

3.4 Aspectos climáticos, pedológicos e vegetacionais

A área de estudo se insere em uma zona de transição climática típica da região central de Minas Gerais, com predomínio do clima tropical de altitude, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos, conforme a classificação climática de *Köppen*. No setor sul da área, o clima é do tipo Cwb (temperado com verão ameno), enquanto nas porções mais ao norte predomina o tipo Cwa (temperado com verão quente), ambos associados a altitudes elevadas e à sazonalidade acentuada das chuvas (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

As precipitações anuais variam de forma significativa em função da topografia e da latitude, com os valores mais elevados registrados na porção sul do Alto São Francisco, especialmente em áreas próximas à Serra da Canastra, podendo ultrapassar 1.500 mm anuais. A média mensal durante a estação chuvosa pode atingir até 165 mm, conforme observado por Ferreira et al. (2021). O regime pluviométrico é altamente sazonal, concentrando-se entre outubro e março, enquanto os meses de abril a setembro são marcados por déficit hídrico e baixa umidade relativa, o que influencia diretamente os processos geomorfológicos, a hidrologia e a dinâmica das AUs na região.

O regime de chuvas é fortemente influenciado por fenômenos climáticos tropicais, com destaque para a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), principal sistema meteorológico responsável pela formação de bandas de nebulosidade e precipitação persistente sobre o sudeste e centro-oeste do Brasil durante o verão. A ZCAS contribui diretamente para a recarga hídrica dos aquíferos, o abastecimento dos rios e a manutenção dos pulsos de inundação do rio São Francisco e seus afluentes (Nimer, 1989; Silva et al., 2022). Além disso, episódios de La Niña e El Niño podem modular a intensidade e a distribuição das chuvas interanualmente, com efeitos importantes na dinâmica das AUs e na disponibilidade de recursos hídricos.

A caracterização pedológica da Bacia Hidrográfica SF1 baseia-se na base cartográfica do IBGE (2019), em escala 1:250.000. De modo geral, a bacia apresenta predominância marcante de cambissolos e latossolos, que juntos representam aproximadamente 91% da área total. Os cambissolos, presentes em cerca de 46,3% do território, são exclusivamente do tipo Cambissolo Háptico, característicos de áreas com relevo mais movimentado e material de origem pouco intemperizado. Já os Latossolos ocupam 44,7% da bacia, sendo em sua maioria

Latossolos Vermelhos (43,3%) e, em menor proporção, Latossolos Vermelho-Amarelos (1,4%), associados a superfícies mais aplainadas e intensamente intemperizadas.

As demais classes de solos aparecem de forma pontual: os argissolos ocupam 3,8% do território, sendo predominantemente do tipo Argissolo Vermelho (3,73%) e, marginalmente, Argissolo Vermelho-Amarelo (0,14%).

Os gleissolos, indicativos de condições de hidromorfismo e saturação periódica, representam 1,9% da bacia, sendo subdivididos em Gleissolo Háptico (1,49%) e Gleissolo Melânico (0,4%). Por fim, os neossolos compõem 2,8% da área da bacia, geralmente associados a regiões com material inconsolidado ou áreas de maior instabilidade superficial com ocorrência de processos erosivos.

Do ponto de vista da vegetação, a área de estudo está inserida majoritariamente no domínio do bioma Cerrado, reconhecido por sua alta diversidade florística e elevado grau de endemismo, sendo considerado um dos *hotspots* mundiais para conservação da biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). A vegetação nativa se apresenta de forma mosaica, com destaque para fitofisionomias como o cerrado típico, matas ciliares, veredas e cerradões, além de entraves de Mata Atlântica, especialmente em fundos de vale úmidos ou encostas mais sombreadas, onde ocorre a mata mesofítica.

As veredas, por sua vez, apresentam formações vegetais típicas de AUs sobre solos hidromórficos e mal drenados, frequentemente associadas ao fluxo de base e à presença de solos organossólicos, como os espodossolos e gleissolos. Estas formações têm um papel essencial na regulação hidrológica local, funcionando como zonas de recarga e armazenamento hídrico, além de serem habitats prioritários para conservação (Ribeiro & Walter, 2008; Resende *et al.*, 2013).

Apesar de sua importância ecológica, a vegetação nativa encontra-se severamente impactada por atividades agropecuárias intensivas, especialmente nas várzeas e áreas planas ao longo dos cursos d'água, onde há substituição da cobertura original por pastagens plantadas e monocultivos, como milho, soja e cana-de-açúcar. Esse processo de conversão do uso do solo tem contribuído para o empobrecimento da biodiversidade, aumento da erosão, compactação dos solos e alterações no regime hidrológico local, afetando também a dinâmica das AUs e da recarga de aquíferos (Klink & Machado, 2005; Ferreira *et al.*, 2021).

As características do clima e da vegetação influenciam diretamente a dinâmica da paisagem na área de estudo. A vegetação natural, como o cerrado típico, as matas ciliares e as veredas, tem papel importante na proteção do solo, na infiltração da água e na regulação do fluxo dos rios. Essas formações ajudam a manter as AUs e os ambientes ribeirinhos. No entanto,

a expansão das atividades agropecuárias e a substituição da vegetação nativa por pastagens e monoculturas, como milho e cana-de-açúcar, têm causado impactos na cobertura vegetal, aumentando a degradação ambiental e afetando os recursos hídricos. Por isso, entender o clima e a vegetação da região é essencial para analisar os processos que ocorrem na paisagem.

3.5 Sobre as AUs

As AUs da região do Alto São Francisco, em especial as lagoas marginais e as veredas, representam sistemas hidrogeomorfológicos de alta relevância ambiental e científica. Na área de estudo, destacam-se principalmente as lagoas marginais distribuídas ao longo da planície de inundação do alto curso do rio São Francisco, as quais são caracterizadas por extensas áreas deprimidas que mantêm lâmina d'água permanente ou temporária, desempenhando um papel crucial no armazenamento e na regulação hídrica local (Junk et al., 2014; Agostinho et al., 2004).

As lagoas marginais são as tipologias de AUs mais conhecidas da área de estudo, situadas ao longo da planície de inundação do rio São Francisco. Se configuram como áreas deprimidas com a presença de água ao longo de grande parte do ano. Essas AUs e as AUs da bacia do rio Picão são áreas pioneiras em Minas Gerais quanto a pesquisas na perspectiva geomorfológica, investigando as configurações para a ocorrência desses sistemas (Moreira *et al.*, 2023; Araújo *et al.*, 2022).

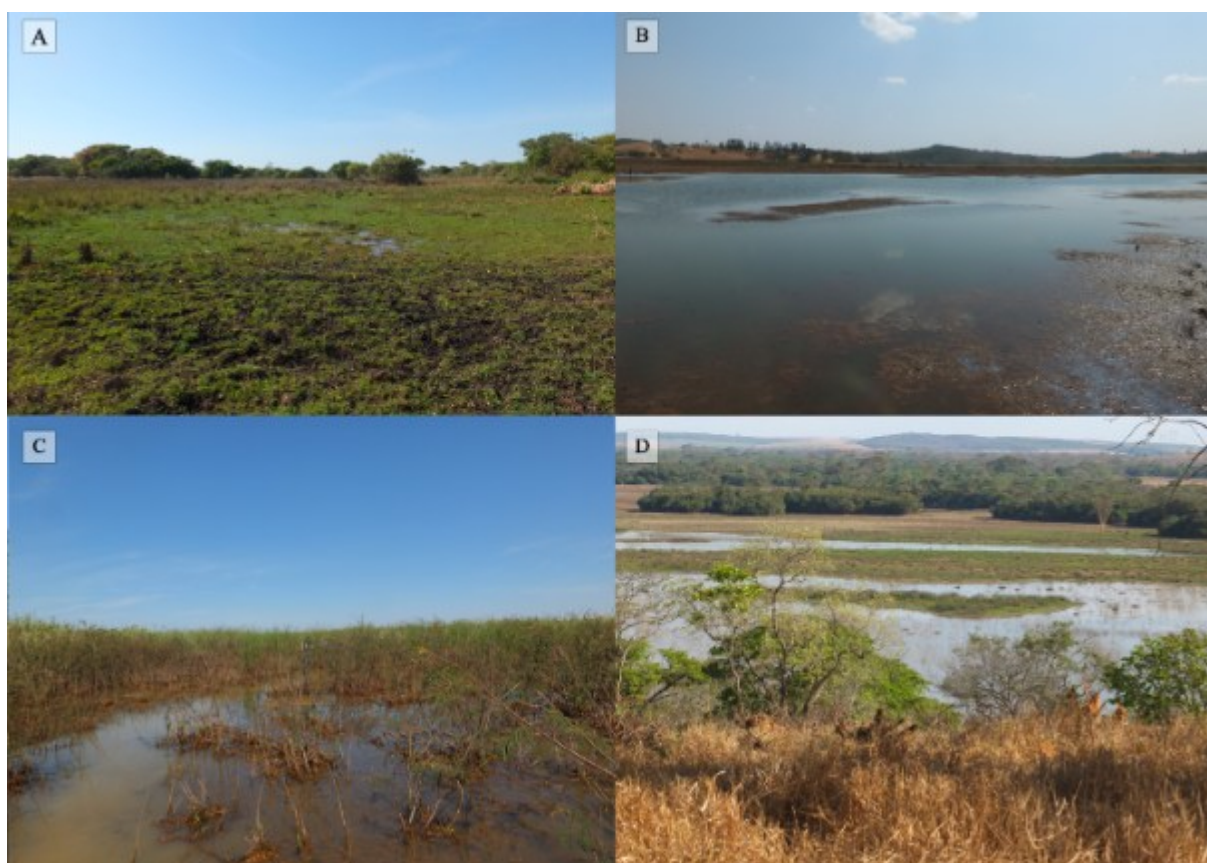
Essas lagoas são originadas a partir de processos fluviais de migração lateral e abandono de meandros, sendo moldadas por fatores como a dinâmica do canal principal, variações sazonais de vazão e características do relevo e da litologia local (Mitsch; Gosselink, 2015; Ferreira et al., 2021). A presença de sedimentos finos, como argilas e siltes derivados da Formação Serra da Saudade, favorece a retenção de água e a formação de fundos de vale encharcados, especialmente nas zonas mais rebaixadas da Depressão do Alto São Francisco.

Apesar de sua importância ecológica, muitas dessas feições são atualmente apenas fragmentos de sistemas maiores, frequentemente desconectados do canal principal em função de alterações antrópicas, como drenagens, represamentos e conversão do uso do solo para atividades agropecuárias (Silva *et al.*, 2023; Souza-Filho, 2009). A interrupção das conexões hidrológicas entre os canais e suas planícies de inundação compromete os processos naturais de recarga, autodepuração e manutenção da biodiversidade dessas áreas.

Além das lagoas marginais, as veredas representam outro tipo significativo de AU na região. Associadas principalmente à presença de solos hidromórficos (Gleissolos) e à drenagem de áreas com afloramento do lençol freático, as veredas ocorrem tanto em áreas planas quanto

em suaves encostas, com variações consideráveis em extensão, saturação hídrica e composição da vegetação (Ribeiro; Walter, 1998; Silva et al., 2001). Na área de estudo, observam-se veredas próximas ao canal principal do rio São Francisco, onde predominam condições de saturação hídrica mais intensas e vegetação mais densa, bem como veredas inseridas em áreas carbonáticas, onde há menor presença de lâmina d'água visível, mas solos ainda marcados por hidromorfia.

Figura 5. AUs do tipo lagoas marginais.



Fonte: A autora, 2024.

A diversidade geomorfológica da área, com vales entulhados, colinas suaves, presença de formações cársticas e solos mal drenados, favorece a formação de diferentes tipologias de AUs, incluindo também feições resultantes de meandros abandonados e brejos interfluviais. Essas feições reforçam a importância de uma abordagem hidrogeomorfológica integrada para o mapeamento e a compreensão dos processos formadores e mantenedores das AUs na região (Schultz, 2006; Cunha; Silva, 2020).

As AUs da região do Alto São Francisco, especialmente as lagoas marginais e veredas, constituem sistemas hidrogeomorfológicos diversos e expressivos. Associadas a diferentes condições de relevo, litologia, solos e dinâmica hídrica, essas feições apresentam variações quanto à permanência da água, saturação do solo e tipo de vegetação. Suas formas refletem a

interação entre processos fluviais, tectônicos e o uso do solo, compondo paisagens que reúnem desde meandros abandonados a vales entulhados com solos hidromórficos, formando um mosaico de ambientes encharcados característicos da região.

A Figura 5 ilustra diferentes tipologias de lagoas marginais ao longo da planície de inundação do rio São Francisco, algumas ainda ativas, outras representando fragmentos isolados de antigos sistemas. Já a Figura 6 apresenta a variabilidade morfológica das veredas: em A, uma vereda próxima ao canal do São Francisco com maior saturação hídrica; em B, uma vereda sobre rochas carbonáticas, com solo hidromórfico e sem lâmina d'água visível; e em C e D, feições de meandros abandonados em diferentes estágios de desconexão fluvial.

Figura 6. AUs do tipo veredas e meandros abandonados.



Fonte: A autora, 2024.

Nesse contexto, ganham destaque as pequenas AUs, feições estas associadas principalmente às planícies dos cursos d'água e feições de paleodrenagem, como meandros abandonados. Estas ocorrem ao longo dos canais principais e seus afluentes, podendo incluir também nas áreas de cabeceiras de drenagem, compondo uma diversidade de tipologias de AUs, como depressões temporariamente inundadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os principais fundamentos que dão suporte à pesquisa, abordando como as AUs têm sido conceituadas, classificadas e estudadas a partir da perspectiva geomorfológica. O foco está em reunir os conceitos mais utilizados, as diferentes propostas de classificação e os métodos voltados à identificação e análise dessas áreas com base no relevo.

Primeiro, são discutidas as bases teóricas e as abordagens metodológicas aplicadas aos estudos sobre AUs. Em seguida, são apresentadas as classificações existentes, tanto em nível internacional quanto nacional e regional. O capítulo também traz uma discussão sobre o mapeamento geomorfológico e, por fim, sobre as classificações do relevo, com ênfase na abordagem hidrogeomorfológica, que se mostra central para este trabalho.

3.1 Bases teórico-metodológicas sobre áreas úmidas

As AUs ganharam destaque internacional por seu valor econômico, cultural, científico e recreativo, cuja perda pode causar danos irreversíveis à sociedade e ao meio ambiente. O termo “áreas úmidas” (*wetlands*) refere-se a ambientes com presença de água superficial ou subsuperficial, permanente ou temporária, e vegetação adaptada. A definição da Convenção de Ramsar (1971), amplamente aceita, é propositalmente abrangente, incluindo manguezais, pântanos, lagos, turfeiras, planícies de inundação e áreas marinhas com até seis metros de profundidade, sejam elas naturais ou artificiais, com água doce, salobra ou salgada, e de sistemas lênticos ou lóticos.

Essa amplitude gera entraves quanto à aplicabilidade prática do conceito para fins de inventário, manejo e conservação. Do ponto de vista hidrogeomorfológico, algumas abordagens vêm tentando superar a imprecisão conceitual associando as AUs à dinâmica da paisagem, especialmente aos processos de acúmulo de água relacionados à topografia e à drenagem.

Dessa forma, podem ser entendidas como sistemas hidrogeomorfológicos complexos que ocorrem em inúmeras tipologias, variando de acordo com as características geográficas de onde estão inseridas, e também variando entre si na mesma área, dependendo dos processos hidrogeomorfológicos, ecológicos e bioquímicos. Com isso, AUs de diferentes tipologias são encontradas em diferentes regiões, refletindo a interação entre fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e biológicos (Gomes, Magalhães Júnior; 2017).

Ao longo deste trabalho, adotou-se o conceito de AUs proposto por Gomes (2016) que sintetiza e destaca o papel dos processos hidrológicos e geomorfológicos para a ocorrência de AUs, permitindo a atuação de determinados processos físicos, químicos e biológicos que vão

alterar as condições do solo, da biota, com presença de hidromorfismo, e vegetação adaptada. Esse conceito foi formulado com base nas AUs mineiras e melhor esboça o papel hidrogeomorfológico desses sistemas:

Áreas Úmidas (AUs) são sistemas permanentes ou temporariamente saturados, inundados e/ou alagados, formados em relevos e substratos que permitem um maior acúmulo de águas superficiais e/ou subsuperficiais, por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados, comumente, por espécies vegetais adaptadas a essas condições e/ou por solos com características hidromórficas. Interferências antrópicas podem condicionar a sua formação, como as AUs em áreas marginais de reservatórios. Conforme a escala de análise da dinâmica hidrológica, as AUs podem incluir áreas permanentemente secas e/ou aquáticas, que são fundamentais para a sua manutenção ecológica (Gomes, 2016).

As AUs são sistemas que desempenham papéis fundamentais em diferentes aspectos da paisagem, especialmente nos âmbitos ecológico, hidrológico e geomorfológico. Do ponto de vista ecológico, elas abrigam uma grande diversidade de espécies adaptadas a condições específicas de umidade, funcionando como habitats importantes para fauna e flora, inclusive para espécies endêmicas e ameaçadas. Além disso, atuam como zonas de transição ecológica e corredores ecológicos, favorecendo a conectividade entre diferentes ecossistemas.

No contexto hidrológico, as AUs influenciam diretamente o regime das águas superficiais e subterrâneas. Elas contribuem para a regulação do escoamento, a retenção e o armazenamento de água durante os períodos chuvosos, e para a liberação lenta durante a estiagem, funcionando como áreas de amortecimento hidrológico. Também têm papel relevante na melhoria da qualidade da água, ao reter sedimentos e promover a filtragem de poluentes. Esses processos são especialmente importantes em bacias hidrográficas sujeitas a eventos extremos, como enchentes ou secas prolongadas.

Do ponto de vista geomorfológico, as AUs estão diretamente associadas à forma e à dinâmica da paisagem. São expressões da interação entre relevo, solo e água, sendo moldadas por processos deposicionais e erosivos que variam conforme o tipo de ambiente, como planícies de inundação, depressões, áreas de nascente, entre outros. O estudo geomorfológico desses ambientes permite entender sua gênese, evolução e função na dinâmica da bacia hidrográfica. Além disso, o relevo influencia a posição, a conectividade e a permanência das AUs na paisagem, tornando-se um elemento essencial para sua identificação e classificação.

Nesse sentido, reconhecer a importância ecológica, hidrológica e geomorfológica das AUs é fundamental para subsidiar ações de planejamento ambiental e conservação, especialmente em regiões onde esses ambientes estão ameaçados por mudanças no uso do solo, intervenções em cursos d'água ou práticas agrícolas intensivas (Paixão *et al.*, 2019; Silva *et al.*,

2021). A abordagem integrada entre os diferentes aspectos físicos e ecológicos se mostra necessária para compreender a complexidade e a função dessas áreas no contexto ambiental mais amplo.

No contexto internacional, as AUs possuem uma expressão modesta, recobrando cerca de 5% a 8% da superfície terrestre, porém são elementos chave da paisagem, com cerca de 40% da vida terrestre dependendo desses ambientes (Tiner, 2000). Estão distribuídas principalmente nas regiões tropicais e nas médias e altas latitudes do hemisfério norte. A preocupação com o estudo das AUs se dá, paradoxalmente, com a contínua perda desses sistemas ao longo das últimas décadas, com a expressiva degradação destes ao redor do mundo (Fluet-Chouinard *et al.*, 2023).

Essas estimativas advêm de conjuntos de inventários que têm sido realizados ao longo das últimas décadas, identificando e classificando AUs no mundo todo, como os inventários realizados na África e Europa (Jones, 1993a; Hughes; Hughes 1992; Duckworth; Hoskinks, 1993; Cowan, 1995), Ásia e Oceania (Scott; Poole, 1989; Jones, 1993b), América do Norte e trópicos (Jones, 1993c, Scott; Carbonell, 1986). Esses inventários são pioneiros na identificação de AUs, com uma abordagem que enfatiza os aspectos biológicos, ressaltando o papel crítico das AUs para a manutenção da biodiversidade, os serviços ecossistêmicos prestados, a urgente necessidade de estratégias de conservação e a importância das discussões sobre o tema dentro do ambiente político para a promoção de práticas sustentáveis.

Embora muitos trabalhos sejam realizados no intuito de compreender a extensão e distribuição das AUs, a qualidade e a quantidade dos dados disponibilizados pelos países apresentam lacunas acerca do conhecimento sobre AUs, sendo um fator limitante para a construção de uma classificação global (Scott; Jones, 1995). Essa situação gera informações inconsistentes, e é dificultada, muitas vezes, pela definição adotada para o conceito de AUs, principalmente no que diz respeito aos limites (bordas) desses sistemas.

No contexto sul-americano, estima-se que 15% do continente é permanentemente ou temporariamente inundado, formando sistemas de AUs costeiras e continentais. As AUs continentais ocorrem nas tipologias de savanas e florestas periodicamente inundadas, como áreas da floresta Amazônica e do Pantanal, respectivamente, enquanto tipologias de lagos e pântanos salinos se restringem a região andina (Junk, 2007). Em um cenário dominado por grandes bacias hidrográficas e grandes rios, destacam-se as AUs associadas aos sistemas fluviais, como as AUs associadas a planícies de inundação.

Alguns países sul-americanos possuem sistemas de classificação para as suas AUs, como os sistemas de classificação de AUs da Argentina, considerando as características

regionais a partir de fatores geomorfológicos, pedológicos, climáticos, botânicos e vários parâmetros hidrológicos, diferenciando 9 classes de AUs (Neiff, 2001; Brinson; Malvarez, 2002). Bem como, trabalhos realizados no baixo Rio Paraguai (Drago *et al.* 2008), e na região de Santa Cruz na Bolívia, detalhando a diversidade vegetal e dos ambientes aquáticos (Navarro e Maldonado, 2002).

Figura 7. Maiores AUs da América do Sul considerando a sua extensão.



Fonte: Junk (2007).

As estimativas de percentual de AUs é ainda mais significativa no Brasil (cerca de 20%), com destaque para o Pantanal Mato-grossense, as planícies de inundação do rio Amazonas e seus afluentes, a Ilha do Bananal e, no estado de Minas Gerais, a APA carste de Lagoa Santa e

as lagoas do rio Doce, que hoje são ambientes protegidos e reconhecidos como Sítios Ramsar (Brasil, 1996, 2024).

Brejos, lagoas, pântanos, lagunas, mangues são algumas das diferentes nomenclaturas para AUs brasileiras (Diegues, 2002), e ainda, a legislação ambiental incorpora mais de uma centena de terminologias diferentes (Cunha; Piedade; Junk, 2015). Esta diversidade reflete a riqueza do patrimônio ambiental do Brasil, marcado por diversos sistemas de AUs continentais e litorâneas, permanentes ou temporárias, com distintos processos de recarga, extensão, contexto hidrogeomorfológico, vegetação e solo.

Tendo em vista que os países tropicais possuem um grande potencial para a ocorrência de AUs, estes ainda carecem de um inventário e classificação realizados em larga escala. O avanço das novas tecnologias, aliado aos conhecimentos hidrogeomorfológicos, pode contribuir significativamente para o aprimoramento dos meios de identificação e mapeamento dessas áreas, por meio de processos de automatização que facilitam o inventário e classificação desses sistemas. No Brasil, o uso de abordagens hidrogeomorfológicas tem se mostrado cada vez mais importante para a identificação, delimitação e compreensão do funcionamento das AUs.

Essas abordagens partem do entendimento de que os processos hidrológicos e geomorfológicos estão diretamente relacionados à formação e à dinâmica dessas áreas, permitindo uma análise mais integrada da paisagem. A exemplo dos trabalhos realizados no Pantanal, com a ocorrência de grandes sistemas hidrogeomorfológicos, destaca-se o uso das ferramentas geoespaciais como facilitador para a identificação e mapeamento dessas AUs (Andrade *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2009; Bazzo *et al.*, 2012).

De forma geral, a geomorfologia tem sido aplicada principalmente no mapeamento de feições do relevo e na interpretação de processos que contribuem para a existência de AUs, como planícies de inundação, terraços aluviais e depressões mal drenadas. Já a hidrologia contribui para o entendimento da dinâmica da água na paisagem, incluindo aspectos como frequência de inundação, sazonalidade da umidade e conectividade hídrica.

A abordagem geomorfológica também ganha destaque com as pesquisas realizadas nos campos úmidos sulistas (Guasselli, 2018) e nas AUs inseridas no contexto do semiárido (Silva, Souza, Guerra; 2023) que também adotam uma abordagem hidrogeomorfológica. Gradualmente, os estudos sobre as AUs no país têm ganhado maior notoriedade e espaço nas discussões científicas (Alencar-Silva; Maillard, 2011; Gonçalves *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021; Silva; Rodrigues; Fernandes, 2024; Tiner; Lang; Klemas, 2015).

Outro ponto importante é que, em muitas regiões do país, principalmente no Cerrado e em áreas de transição, a identificação de AUs ainda enfrenta desafios relacionados à escala dos

mapeamentos, à falta de dados hidrológicos detalhados e ao pouco reconhecimento das AUs intermitentes ou temporárias. Assim, abordagens hidrogeomorfológicas têm se mostrado úteis por permitirem uma delimitação mais adequada dessas áreas a partir da leitura da paisagem e da associação entre relevo, solo e água.

No contexto do Cerrado ganham destaque as pequenas AUs permanentemente úmidas, e, ao longo da estação chuvosa a ocorrência de AUs temporárias e efêmeras distribuídas largamente pelo bioma, que sazonalmente alteram a paisagem com a ocorrência desses sistemas hidrogeomorfológicos. Dentre as fitofisionomias do Cerrado as veredas ganham destaque nesse contexto (Aranha; Augustin, 2012; Augustin; Melo; Aranha, 2009; Melo; Espindola, 2006; Aranha; Augustin; Melo, 2020; Santos et al., 2021; Santos; Mendonça; Costa, 2024).

O estado de Minas Gerais é contemplado com uma classificação das AUs proposta por Gomes e Magalhães Junior (2020), com ênfase nos aspectos geomorfológicos. Essa proposta é pioneira ao apresentar uma classificação nível regional, englobando principalmente os sistemas de pequenas AUs interiores associadas aos sistemas fluviais e a locais de má drenagem. Pontualmente, pesquisas realizadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco também focaram nas AUs sob perspectivas geomorfológica, pedológica e hidrológica, investigando AUs naturais e antrópicas (Ribeiro, 2010; Trindade, 2016; Oliveira 2019; Ferreira; Magalhães Júnior, 2018; Borges; Costa, 2022; Araújo; Oliveira; Ribeiro, 2022).

O Cerrado é considerado um dos biomas com maior concentração de nascentes e AUs intermitentes da América do Sul (Ribeiro & Walter, 2008). A região do Alto São Francisco, por sua vez, apresenta uma grande diversidade de compartimentos geomorfológicos, com planaltos, patamares, vales encaixados e planícies fluviais que favorecem a formação de AUs com distintas dinâmicas hidrogeomorfológicas.

3.2 Sistemas de classificação de AUs

As AUs podem ser classificadas com base em diversos atributos, como características ecológicas, hidrológicas, vegetacionais, pedológicas, geomorfológicas, químicas ou ainda a partir dos serviços ecossistêmicos que prestam. O objetivo da classificação é organizar esses sistemas em grupos semelhantes com base nos atributos considerados, de forma a facilitar o mapeamento, a delimitação, a descrição e a avaliação das AUs. Ao propor uma estrutura comum e padronizada, a classificação contribui tanto para o avanço das pesquisas científicas quanto para a gestão e a conservação desses ambientes.

Apesar da importância, ainda não existe uma classificação internacional amplamente aceita. Isso se deve principalmente à diversidade natural das AUs e aos diferentes objetivos e

enfoques que cada sistema de classificação propõe. Em geral, as classificações tendem a se organizar em dois tipos principais: as abordagens horizontais, que organizam os tipos de AUs conforme os diferentes habitats; e as abordagens verticais, que estruturam a classificação de forma hierárquica, com níveis que partem de características generalistas até níveis mais específicos. Essas abordagens não são excludentes, podendo se complementar para oferecer maior detalhamento.

A escolha de um sistema de classificação deve estar alinhada aos objetivos do estudo. Nos últimos anos, a perspectiva hidrogeomorfológica têm ganhado relevância nesse campo, reconhecendo fatores como relevo, dinâmica hídrica, processos de desnudação e deposição sedimentar desempenham um papel central na formação e funcionamento das AUs. Assim, os parâmetros hidrológicos e geomorfológicos têm sido considerados como estruturantes, enquanto que a vegetação e solos passam a ser interpretados como respostas a essas condições físico-ambientais.

Historicamente, os Estados Unidos foram pioneiros ao desenvolver um sistema abrangente para a classificação de ambientes aquáticos e semiaquáticos, incluindo tanto AUs quanto águas profundas. A classificação era organizada em cinco grandes sistemas, que se dividiam em subsistemas caracterizados pelo regime hidrológico, o qual, por sua vez, se subdividia em classes que tratavam dos aspectos relacionados ao substrato e/ou à vegetação, ou seja, parâmetros fisionômicos. No entanto, esse modelo apresenta limitações, como a exclusão de áreas sazonalmente secas ou alagáveis, que acabam ficando fora das categorias oficiais do país.

A primeira tentativa de criar uma classificação em âmbito internacional foi realizada pela Convenção de Ramsar, adotando o termo “*wetlands*” e propôs um sistema simples e funcional. O sistema de classificação divide as AUs em três grandes tipos: costeiras e marinhas, interiores e artificiais. A proposta tem como objetivo criar uma terminologia global e acessível, mas enfrenta limitações importantes, como a ausência de inventários nacionais detalhados, etapa fundamental para a construção de classificações robustas.

No Brasil, os primeiros esforços de inventários das AUs foram realizados por Diegues (1990), com enfoque nos aspectos vegetacionais e hidrológicos. Mais tarde, o Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU) propôs a primeira classificação em escala nacional, com foco nos grandes sistemas de AUs e baseada em critérios hidrológicos, parâmetros físico-químicos e composição e estrutura botânica. O sistema apresenta três níveis: o primeiro divide as AUs em sistemas costeiros, interiores e antropogênicos; os níveis seguintes aprofundam a classificação

com base em fatores hidrológicos e fisionomia vegetal. Apesar de abrangente, essa proposta ainda não contempla a diversidade regional de AUs existentes no país.

Classificações regionais têm avançado com mais especificidade. O Rio Grande do Sul foi o primeiro a propor uma classificação sistematizada e hierárquica, baseada principalmente na vegetação, mas reconhecendo a influência de fatores hidrológicos e geomorfológicos. A proposta contempla os sistemas lacustres e os divide em quatro subsistemas: palustre, lacustre, ripário e planície de inundação (Maltchik *et al.* 2003).

Outras propostas regionais importantes também têm sido desenvolvidas em diferentes contextos ambientais do Brasil. Para os manguezais, por exemplo, há uma classificação consolidada proposta por Kjerfve e Lacerda (1993), que considera os fatores geomorfológicos e hidrológicos na distribuição e organização desses sistemas costeiros. No Cerrado, as veredas, AUs permanentes, têm sido classificadas por autores como Ribeiro e Walter (1998) e Araujo (2002), com base em características do nível freático e da vegetação típica de buritis (*Mauritia flexuosa*).

No semiárido brasileiro, Maltchik *et al.* (2003, 2004) propuseram classificações específicas para AUs temporárias, baseadas na sazonalidade da água e nas formas de ocupação e uso do solo. Na planície de inundação do alto rio Paraná, Thomaz *et al.* (2004) apresentaram uma proposta que leva em consideração a conectividade hidrológica, os pulsos de inundação e a diversidade de habitats alagáveis.

Para o Pantanal, Cunha e Junk (2011) elaboraram uma classificação detalhada a partir dos regimes hidrológicos e das características geomorfológicas e vegetacionais dos diferentes tipos de inundação. Já na bacia amazônica, Junk *et al.* (2011) apresentaram uma tipologia para as AUs continentais, levando em conta os regimes de inundação, a origem das águas e a geomorfologia local. Mais recentemente, Junk *et al.* (2012) propuseram uma classificação voltada especificamente para os habitats das várzeas amazônicas, com base na dinâmica dos rios de águas brancas, negras e claras, e na estrutura da vegetação alagável.

Já em Minas Gerais, Gomes e Magalhães Júnior (2020) desenvolveram uma proposta inovadora ao focar nos aspectos hidrogeomorfológicos. A classificação se aplica principalmente às AUs do Cerrado e da Mata Atlântica mineira e apresenta cinco classes distintas, baseadas nas feições do relevo, padrões de drenagem e dinâmicas hidrológicas. Essa proposta representa um avanço no reconhecimento da diversidade de pequenas AUs interiores, muitas vezes negligenciadas em classificações mais amplas.

Essas classificações regionais demonstram que não há uma única forma de classificar as AUs, mas sim múltiplas abordagens que refletem as peculiaridades ambientais, os objetivos

de gestão e os interesses científicos envolvidos. A adoção de uma perspectiva regionalizada é, portanto, fundamental para garantir maior adequação à realidade dos diferentes biomas brasileiros e apoiar estratégias mais eficazes de conservação e uso sustentável desses sistemas.

3.3 Abordagem hidrogeomorfológica das áreas úmidas

Diante da complexidade dos processos que regulam a formação, a dinâmica e a manutenção das AUs, a ciência geomorfológica assume papel central na sua investigação. Neste sentido, reconhecer os processos geomorfológicos é essencial para entender fatores que contribuem para a distribuição, extensão e manutenção da ocorrência das AUs, possibilitando o conhecimento da funcionalidade dos aspectos estruturantes das AUs como base para o entendimento, mapeamento e classificação desses sistemas (Tooth; Waal, 2019).

A Geomorfologia, como ciência, envolve o estudo de formas, processos e materiais gerados pela dinâmica desnudacional e sedimentar, contribuindo decisivamente para a compreensão das AUs, especialmente quando aliada a outras ciências em uma perspectiva interdisciplinar (Viles, 2016). Neste sentido, a Hidrogeomorfologia (Scheidegger, 1973) busca compreender, a partir de diferentes escalas espaciais e temporais, como os processos hidrológicos influenciam as formas, os processos e os materiais que envolvem a configuração do relevo, e vice-versa (Sidle; Onda, 2004; Babar, 2005, Magalhães Júnior; Barros, 2020).

Dentre dos processos geomorfológicos, destacam-se os fluviais na configuração do relevo brasileiro. No ambiente tropical, onde o principal agente de modelagem do relevo é a água (fluvial e pluvial) a rede de drenagem tem papel fundamental na evolução do relevo destas paisagens (Magalhães Júnior; Barros, 2020; Stevaux; Latrubesse, 2017; Mudd *et al.* 2018). Latrubesse e Suizu (2022) ressaltam a relevância dos sistemas fluviais para a ocorrência e configuração das AUs continentais, onde a paisagem é fortemente influenciada pelos processos fluviais que sustentam grande parte das AUs interiores.

O papel das AUs como sistemas de armazenamento de água, sedimentos e nutrientes, regulando fluxo de matéria e energia entre os ambientes aquático e terrestre, evidencia a relevância da dimensão geomorfológica no estudo do tema (Phillips, 1989). No contexto tropical, as AUs associadas a sistemas fluviais correspondem a cerca de 90% do total (Junk, 2011), e, dentre os processos hidrogeomorfológicos, a inundação se destaca por seu papel na configuração e recarga dessas áreas.

Neste sentido, ganha notoriedade o conceito de pulso de inundação, definido como um evento de pico de precipitação que resulta em um grande volume hídrico em curto período de tempo, excedendo a capacidade dos canais e extravasando lateralmente para além dos diques

marginais, inundando áreas adjacentes (Goerl; Kobiyama; Santos, 2012; Junk; Bayley; Sparks, 1989). Esse processo é estruturante por estabelecer a conexão entre os cursos fluviais e as áreas inundáveis, viabilizando a recarga hídrica e a remobilização de sedimentos, com a área inundada variando conforme o volume de água acumulado e as condições topográficas (Heiler et al., 1995; Lu; Deng; Zhang, 2007).

As planícies de inundação são feições integrantes dos sistemas fluviais e palco para a ocorrência desses eventos. São periodicamente afetadas pelo transporte de água, sedimentos e material particulado, representando a zona de transição entre o canal do rio e as áreas adjacentes não inundáveis. Sistemas fluviais com planícies e pulsos de inundação, geram eventos que, nos picos de precipitação, resultam em extensas áreas recobertas por corpos lânticos (Latrubesse; Suizu, 2022).

O sistema fluvial tende a remover materiais intemperizados das terras altas, remobilizando-os encosta abaixo e a jusante até áreas de acumulação (Ahnert *et al.*, 1965; Graf, 1988). As áreas de cabeceiras das bacias de drenagem funcionam como fonte primária de sedimentos, que são conduzidos pelos canais fluviais até zonas de deposição (Phillips, 1989). Nesse sistema, as AUs ocupam posições intermediárias, atuando como áreas de armazenamento de sedimentos em trânsito e registrando-os geologicamente (Trindade, 2016).

As AUs, nesse contexto, configuram-se como indicadores hidrogeomorfológicos sensíveis na paisagem, sendo tanto reflexo quanto condicionantes da magnitude da remobilização de sedimentos e dos processos hidrológicos. Qualquer tentativa de controle artificial das taxas de erosão e sedimentação das AUs pode ter sérias repercussões na bacia de drenagem e na manutenção das AUs e sistemas associados. Mudanças hidrogeomorfológicas na bacia podem impactar significativamente essas áreas (Phillips, 1989; Oliveira, 2019).

Dessa forma, compreender as AUs a partir da perspectiva hidrogeomorfológica é fundamental para avançar nas estratégias de identificação, mapeamento e classificação desses sistemas no Brasil (Gomes e Magalhães Junior, 2017). Considerando os desafios relacionados à escala, à sazonalidade e à diversidade das AUs, é a partir do olhar integrado entre relevo, solo e água que se torna possível propor análises mais precisas e aplicáveis à realidade do campo. Reforça-se, assim, a importância da ciência geomorfológica como base para entender a distribuição, os processos e a funcionalidade dessas áreas, contribuindo também para sua conservação e para a gestão adequada dos recursos hídricos (Kolka e Thompson, 2007; Gomes e Magalhaes Júnior, 2018).

A partir da revisão realizada, nota-se que as AUs vêm sendo abordadas por diferentes perspectivas, especialmente as ecológicas, hidrológicas e, mais recentemente, geomorfológicas.

Essa diversidade de abordagens mostra a complexidade desses ambientes, que resultam da interação entre fatores físicos, climáticos e biológicos. Nesse contexto, a geomorfologia e a hidrologia se destacam como componentes centrais para compreender tanto a formação quanto o funcionamento e a distribuição das AUs na paisagem (Gomes e Magalhães Junior, 2020; Silva, Souza e Guerra, 2023).

A abordagem hidrogeomorfológica tem ganhado destaque por permitir compreender como as formas do relevo, associadas à dinâmica da água, influenciam a presença e a permanência de Aus (Grenfell et al., 2019; Pulin e Borah, 2023). Estudos que consideram o relevo, a posição na rede de drenagem e a relação com o nível freático têm contribuído para identificar diferentes tipos de AUs. No entanto, embora haja avanços teóricos e metodológicos importantes, ainda existem lacunas que precisam ser exploradas.

Uma das principais dificuldades está na delimitação de AUs em regiões tropicais, onde a sazonalidade climática, a diversidade do relevo e a variabilidade dos processos hidrológicos tornam o uso de critérios fixos pouco eficiente (Gumbrecht *et al.*, 2017). Muitas vezes, a presença de vegetação adaptada ou de solos hidromórficos não é suficiente para caracterizar AUs temporárias, de baixa expressão vegetal ou mal definidas na paisagem. Isso é ainda mais evidente em regiões como o Cerrado, ou em áreas de transição.

Também se observa uma limitação na aplicação de critérios geomorfológicos nos mapeamentos de AUs em escala regional (Tiner, Lang e Klemas, 2015). A maioria dos trabalhos prioriza indicadores biológicos, como vegetação e fauna, enquanto os elementos físicos da paisagem, como o relevo, a rede de drenagem e a dinâmica fluvial ainda são pouco explorados de forma sistematizada (Junk, 2024). Isso dificulta o reconhecimento de AUs mais sutis, como pequenas planícies de inundação, nascentes e feições associadas a canais antigos ou interflúvios úmidos, que são comuns em muitas bacias hidrográficas, mas permanecem pouco mapeadas.

Além disso, observa-se a falta de metodologias integradas, que considerem tanto critérios físicos quanto ecológicos, especialmente em bases que permitam a aplicação em diferentes escalas de análise (Mitsch e Gosselink, 2015). O uso de variáveis derivadas do relevo, como índices topográficos de umidade, rugosidade e altitude, ainda é restrito em estudos voltados à identificação e caracterização de AUs (Guasselli, Simioni e Laurent, 2020). A ausência de abordagens mais padronizadas e comparáveis entre diferentes regiões também é um entrave para o reconhecimento dessas áreas em políticas públicas e instrumentos de planejamento territorial.

Por fim, destaca-se a escassez de estudos voltados a AUs de menor porte, descontínuas ou sazonais, especialmente em regiões do interior do país (Oliveira et al., 2021). A maior parte da literatura ainda se concentra em grandes sistemas úmidos, como o Pantanal e as planícies do rio Amazonas, o que contribui para uma lacuna no conhecimento sobre a diversidade e o papel das AUs em outras regiões brasileiras (Goncalves, Cunha e Junk, 2023). Essa lacuna limita o reconhecimento da importância desses ambientes para o equilíbrio hidrológico, a conservação de recursos naturais e o planejamento ambiental.

3.4 Mapeamento geomorfológico

O mapeamento geomorfológico é uma ferramenta essencial para a análise e síntese do relevo, desempenhando simultaneamente o papel de fonte de dados e instrumento interpretativo (Florenzano, 2008). Trata-se da espacialização de fatos geomorfológicos, buscando representar, de forma sintética, as formas de relevo de uma região. Apesar de envolver uma interpretação subjetiva da paisagem geomorfológica, essa representação deve ser reconhecível no terreno (Jiménez, 2014; Casseti, 1991).

A concepção do mapeamento geomorfológico envolve a compartimentação do relevo em unidades espaciais que apresentam semelhanças quanto a critérios como morfologia (forma), gênese (processos), composição e estrutura, cronologia e associação com outros sistemas ambientais (como uso e cobertura da terra, solos e ecologia), além da relação topológica entre as características das formas de relevo (Bishop *et al.*, 2012).

Portanto, envolve a identificação, classificação e descrição das formas e processos, utilizando uma combinação de observações de campo, dados de sensoriamento remoto e mapas topográficos (Smith, Paron e Griffiths, 2011). Também permite a integração de informações sobre aspectos geológicos, pedológicos e ecológicos, possibilitando uma abordagem multidisciplinar para a análise do relevo (Argento). A interpretação geomorfológica torna-se significativamente mais precisa e informativa quando expressa por meio de mapas e representações gráficas, facilitando a compreensão da distribuição espacial das feições e dos processos que atuam na superfície terrestre (Cunha, Mendes e Sanchez, 2003).

A cartografia geomorfológica, enquanto representação espacial das formas de relevo e processos morfogenéticos atuantes, apresenta uma diversidade metodológica considerável (Casseti, 2002). Embora haja consenso quanto aos conteúdos fundamentais que devem compor um mapeamento geomorfológico – tais como a identificação das formas do relevo, sua gênese, composição e dinâmica (Bishop *et al.*, 2012) –, ainda não existe um modelo único de

padronização cartográfica que atenda à diversidade de interesses da pesquisa geomorfológica (Barcelos, 2020).

Segundo Cunha *et al.* (2003), as dificuldades decorrem dos distintos métodos, escalas de análise e técnicas de trabalho empregadas na elaboração dos mapas. Isso faz com que a padronização da representação cartográfica, especialmente no que se refere à simbologia e às convenções cartográficas, seja um dos principais entraves para a uniformização e integração dos dados. A operacionalização do mapeamento geomorfológico exige, portanto, uma definição clara de objetivos, critérios de classificação e escalas adequadas. Em função dessa diversidade, diferentes diretrizes são propostas para orientar o mapeamento, visando garantir a coerência e a comparabilidade dos dados.

Nesse sentido, Smith e Paron (2011) propõem um fluxo metodológico que estrutura o processo de mapeamento geomorfológico em etapas sistemáticas, organizadas em três fases principais: antes, durante e após os trabalhos de campo. O fluxo de trabalho sugerido pelos autores inclui as seguintes etapas:

1. Definição da área de estudo e dos objetivos do mapeamento geomorfológico, considerando os propósitos da análise (científicos, aplicados, educacionais etc.);
2. Aquisição e organização dos dados preliminares, incluindo dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, dados topográficos e Modelos Digitais de Elevação (MDE) e outras bases cartográficas disponíveis;
3. Estruturação de um banco de dados em ambiente SIG onde diferentes camadas temáticas (geologia, solos, cobertura vegetal, uso da terra, etc.) são integradas para subsidiar a interpretação da paisagem;
4. Identificação e delineamento, de forma preliminar, das unidades geomorfológicas, com base nos dados disponíveis;
5. Trabalho de campo, etapa essencial para a validação das informações interpretadas previamente, por meio do uso de equipamentos como GPS para marcação de pontos, registros fotográficos e anotações em cadernetas de campo;
6. Integração dos dados de campo ao banco de dados geográfico, permitindo a correção, complementação e refinamento das unidades geomorfológicas mapeadas;
7. Consolidação das observações e interpretação final, resultando na elaboração de um mapa geomorfológico definitivo, acompanhado de simbologia padronizada e legenda explicativa;

8. Produção de relatórios técnicos e notas explicativas, que contextualizam o mapa e fornecem informações complementares sobre as unidades mapeadas, os critérios utilizados e as limitações do estudo;
9. Aplicação dos resultados do mapeamento, que podem subsidiar análises e interpretações dos padrões de relevo.

De acordo com essa sistematização do processo metodológico visa assegurar que o mapeamento geomorfológico seja conduzido com rigor científico, permitindo uma compreensão mais aprofundada da dinâmica do relevo e de sua relação com os outros fatores, como ambientais, antrópicos e climáticos (Smith e Paron, 2011).

O avanço das tecnologias nos últimos anos provocou uma profunda transformação na maneira como o relevo é representado, analisado e interpretado (Smith, 2011; Souza, Ferreira e Rodrigues, 2006). A incorporação de novas ferramentas digitais ao mapeamento geomorfológico, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto (SR) e os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), proporcionou um aumento significativo na precisão, resolução espacial e capacidade analítica. dos estudos (Seijmonsbergen, Hengl e Anders, 2011; Smith, 2011).

O uso de MDEs e imagens de satélite permitem observar o relevo sobre diferentes perspectivas, possibilitando análises morfométricas detalhadas e a extração de variáveis geométricas da morfologia, como declividade, curvatura e orientação das vertentes, entre outras (Souza, Ferreira e Rodrigues, 2006; Verstappen, 2011). Essas variáveis, por sua vez, fornecem subsídios importantes para a classificação das formas de relevo e para o entendimento dos processos que atuam em sua estruturação e modelagem. Nesse sentido, os SIGs desempenham um papel central, pois fornecem uma plataforma integrada para a visualização, processamento e análise espacial dos dados, além de automatizar processos, facilitar a sobreposição de múltiplas camadas temáticas e manipulação simultânea de grandes volumes de dados (Keller, 1995; Manson, Burrough e McDonnell, 1999).

De acordo com Church (2010), a evolução tecnologia revolucionou a prática da geomorfologia, automatizando processos que antes eram realizados manualmente e expandindo o escopo das análises. Viles (2016) destaca ainda que a crescente integração entre geomorfologia e tecnologia tem permitido o desenvolvimento de abordagens mais sistemáticas e quantitativas, com maior capacidade preditiva e analítica. O SR, especialmente por meio de satélites de alta resolução, tem sido fundamental para a obtenção de dados precisos e atualizados sobre a morfologia da superfície terrestre (Bishop *et al.*, 2012).

Além disso, as representações cartográficas passaram a incorporar abordagens quantitativas, superando a tradicional visão qualitativa dos mapas geomorfológicos (Evans, 2012). A mensuração de parâmetros morfométricos contribui para a identificação de padrões geomorfológicos e a correlação com processos atuantes, como erosão, sedimentação, dinâmica fluvial e movimentos de massa. A morfometria, nesse contexto, constitui uma ferramenta valiosa para a delimitação precisa das unidades do relevo, estabelecendo limites objetivos entre diferentes compartimentos da paisagem (Evans, 1972).

Apesar dos avanços tecnológicos, o trabalho de campo continua sendo uma etapa essencial, pois a interpretação das formas do relevo requer a validação empírica dos dados e a observação direta da paisagem. Como ressaltam Gustavsson *et al.* (2006), o mapeamento geomorfológico moderno se situa em uma zona intermediária entre as capacidades técnicas oferecidas pelas ferramentas digitais e as limitações inerentes à complexidade das paisagens naturais. A combinação entre métodos tradicionais e inovações tecnológicas resulta, portanto, em uma abordagem mais robusta e abrangente.

Diante desse cenário, a cartografia geomorfológica continua a evoluir, integrando cada vez mais ferramentas digitais para aprimorar a precisão, a confiabilidade e a rapidez com que são feitas as análises. O aprimoramento das técnicas de modelagem e interpretação geomorfológica, aliado à crescente disponibilidade de dados de alta resolução, fortalece o papel da geomorfologia como um campo interdisciplinar essencial para a compreensão e gestão do meio físico (Davies, 2012; Gregory *et al.*, 2014).

O mapeamento geomorfológico permite identificar e descrever diferentes formas de relevo, ajudando a entender onde e como se formam certas feições da paisagem, como as AUs. No entanto, para organizar essas informações de forma mais sistemática e comparável, é importante utilizar classificações geomorfológicas. Essas classificações ajudam a agrupar os compartimentos do relevo com base em características semelhantes, facilitando a análise e a interpretação dos processos que atuam em cada unidade.

3.5 Classificações geomorfológicas

A classificação do relevo constitui uma etapa fundamental na cartografia geomorfológica, pois estabelece os critérios pelos quais as diferentes formas da superfície terrestre são agrupadas, nomeadas e representadas. No entanto, esse processo é notoriamente complexo, dada a enorme diversidade de feições geomorfológicas existentes e as múltiplas formas de interpretá-las. A escolha do sistema classificatório mais adequado depende, em

grande medida, dos objetivos específicos do estudo, da escala de análise adotada e da disponibilidade de dados.

Segundo Ab'Saber (1969) o principal desafio da cartografia geomorfológica não reside necessariamente na escolha do referencial teórico, mas na sua operacionalização prática. Em outras palavras, mais do que definir qual classificação será adotada, é preciso garantir que ela possa ser aplicada de forma consistente e coerente ao longo de todo o processo de mapeamento. A padronização da representação gráfica, especialmente em termos de simbologia e nomenclatura, continua sendo um dos principais obstáculos à uniformidade dos produtos cartográficos.

A escala de análise é um fator determinante nesse processo, uma vez que ela influencia diretamente a resolução das feições identificáveis. Em escalas mais detalhadas, é possível representar formas menores e mais específicas do relevo, enquanto em escalas regionais ou continentais as classificações tendem a agrupar unidades mais amplas, com base em critérios morfoestruturais ou morfoesculturais.

O relevo pode ser classificado a partir de diversos atributos e múltiplas nomenclaturas. No Brasil, destacam-se duas importantes classificações do relevo que têm sido amplamente utilizadas por instituições governamentais e pesquisadores: a da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A proposta da CPRM é baseada em uma abordagem morfométrica e morfogenética (Pelech *et al.*, 2019). Ela adota uma compartimentação geomorfológica que busca representar as formas de relevo juntamente com os processos que as originaram ou modificaram. Embora essa abordagem possua caráter mais técnico e aplicado, sua nomenclatura tende a ser mais genérica, o que pode limitar a precisão descritiva em determinados contextos.

Por sua vez, a classificação proposta pelo IBGE (2009) adota uma estrutura hierárquica e decrescente, composta por quatro níveis principais:

1. Domínios Morfoestruturais – referem-se às grandes unidades estruturais da crosta terrestre, condicionadas pela geologia e tectônica (por exemplo, escudos cristalinos, bacias sedimentares e cinturões orogênicos);
2. Regiões Geomorfológicas – agrupam porções do relevo com características geomorfológicas comuns, relacionadas a fatores como estrutura, litologia e morfodinâmica;
3. Unidades Geomorfológicas – representam conjuntos de formas que compartilham padrões de morfologia e fisionomia, ainda que tenham sido submetidas a processos distintos de modelagem;

4. Modelados – correspondem ao nível mais detalhado da hierarquia, envolvendo as feições associadas a processos morfogenéticos específicos, como dissecação, acumulação, aplainamento e dissolução.

Essa estrutura permite uma leitura mais sistemática e refinada do relevo, embora a rigidez de sua hierarquia possa, por vezes, dificultar a adaptação do modelo às variações locais da paisagem. Um exemplo dessa complexidade pode ser observado na classificação de planícies fluviais. Enquanto a CPRM tende a representá-las por categorias genéricas (como "planícies"), o IBGE as classifica de forma mais minuciosa, utilizando códigos como Apf (Acumulação Fluvial em Planície), Atf (Acumulação Fluvial em Terraço) ou Aptf (Acumulação Fluvial em Planície e Terraço) nos níveis de maior detalhe.

Além dessas propostas, destaca-se ainda a classificação desenvolvida por Ross (1992), cuja contribuição é amplamente reconhecida nos estudos de geomorfologia no Brasil. Sua estrutura classificatória é composta por seis táxons principais, ordenados de forma decrescente conforme o nível de detalhamento:

1. Domínios Morfoestruturais
2. Domínios Morfoesculturais
3. Padrões de Formas Semelhantes (ou Unidades Geomorfológicas)
4. Tipos de Forma (formas individualizadas como colinas, vales, platôs etc.)
5. Tipos de Vertentes (associados à inclinação, exposição e dinâmica erosiva)
6. Formas Lineares ou Areolares Recentes (como canais fluviais ativos, terraços, dunas e depósitos recentes)

Essa proposta se diferencia pela flexibilidade e pela ênfase na convergência de evidências, ou seja, na análise integrada de múltiplos fatores, como morfologia, processos, estrutura, litologia e uso do solo para a delimitação das unidades geomorfológicas. Além disso, ela permite que o pesquisador defina, conforme a escala e os objetivos do estudo, até que nível de detalhamento será aplicada a classificação.

Portanto, a definição da classificação geomorfológica mais adequada depende de um equilíbrio entre rigor conceitual, aplicabilidade prática e clareza cartográfica. A escolha do sistema deve considerar não apenas os aspectos técnicos da representação, mas também os contextos ambientais e sociais nos quais o mapeamento será utilizado (Dramis, Guida e Cestari, 2011). Em última instância, a eficácia da classificação está em sua capacidade de refletir com precisão a realidade da paisagem e de comunicar essas informações de forma acessível e útil para diferentes públicos, cientistas, planejadores, gestores e comunidades (Gregory *et al.*, 2014).

4 MÉTODOS, TÉCNICAS E MATERIAIS

A fim de atingir os objetivos propostos, foi adotada uma abordagem metodológica composta por quatro etapas principais. Inicialmente, realizou-se o mapeamento geomorfológico detalhado da área de estudo, com a delimitação das subunidades com base em critérios litoestruturais, topográficos e hidrológicos. Em seguida, foram identificadas as zonas com alto potencial para a ocorrência de AUs úmidas, utilizando-se parâmetros hidrogeomorfológicos. A terceira etapa consistiu na seleção de áreas representativas dentro de cada subunidade, com base nos critérios definidos anteriormente, permitindo a caracterização comparativa entre diferentes contextos geomorfológicos. Por fim, elaborou-se a classificação hidrogeomorfológica das AUs selecionadas, com base em processos geomorfológicos, hidrológicos e na posição relativa na paisagem. As etapas metodológicas estão detalhadas a seguir.

4.1 Mapeamento geomorfológico

Inicialmente, realizou-se o mapeamento geomorfológico detalhado da área de estudo, com a delimitação das subunidades geomorfológicas com base em critérios litoestruturais, topográficos e hidrológicos. Essa etapa permitiu estabelecer um contexto morfoestrutural e morfoescultural sobre o qual os sistemas hidrogeomorfológicos se inserem ou apresentam potencial de ocorrência.

O presente trabalho adota como base teórico-metodológica a classificação geomorfológica hierarquizada conforme estabelecida pelo *Manual Técnico de Geomorfologia* do IBGE (2009). Essa proposta sistematiza o relevo brasileiro por meio de táxons organizados em diferentes níveis, o que permite a padronização do mapeamento em distintas escalas de análise. Além de servir como instrumento técnico de uniformização cartográfica, essa abordagem é amplamente difundida, estando em consonância com os trabalhos de Ross (1992) e com a estrutura adotada pelo Projeto RADAMBRASIL.

O presente mapeamento geomorfológico tem como referência os trabalhos anteriores realizados nos estados do Paraná (Santos *et al.*, 2006) e do Rio Grande do Norte (Diniz *et al.*, 2017), cujos trabalhos propõem uma adaptação da taxonomia originalmente apresentada por Ross (1992). Essas adaptações introduzem um nível intermediário de classificação denominado Subunidades Morfoesculturais, que consiste na subdivisão das unidades do segundo táxon (Domínios Morfoesculturais), com base na similitude das formas de relevo associadas aos condicionantes de natureza estrutural e litológica.

No caso do presente estudo, o mapeamento geomorfológico do Alto São Francisco foi realizado na escala de 1:250.000, o que condiciona o nível de detalhamento possível na

representação das unidades de relevo. Nessa escala, optou-se por limitar a compartimentação até o nível das subunidades morfoesculturais, uma vez que a representação individualizada dos táxons mais detalhados se tornaria imprecisa e cartograficamente inviável. Ainda assim, com o apoio de dados complementares, foram incorporadas informações sobre os tipos de formas (4º táxon), tipos de vertentes (5º táxon) e formas associadas à dinâmica superficial atual (6º táxon).

A presente abordagem, que combina a hierarquia proposta por Ross (1992) com os critérios técnicos do IBGE (2009) e as adaptações metodológicas de outros trabalhos (Ross, Moroz, 1996), permite uma análise integrada e compatível com os objetivos da pesquisa. Ao mesmo tempo, respeita as limitações impostas pela escala de trabalho, garantido a coerência cartográfica e a aplicabilidade dos resultados.

Diante disso, serão listados a seguir as ferramentas, materiais e procedimentos utilizados para a confecção do mapeamento geomorfológico do Alto São Francisco.

Lista de *softwares* utilizados:

- *IDRISI* (Selva);
- *ArcGis* (10.8);
- *QGIS* LTR 3.40.4 '*Bratislava*';
- *Google Earth Pro* (7.3.6);
- *Inkscape* (1.4);
- *Microsoft Excel* (365);
- *Past*.

Lista das bases de dados utilizadas:

- Geologia: Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais na escala de 1:1.000.000 e cartas geológicas na escala de 1:100.000 (CPRM e CODEMIG);
- Modelos Digitais de Elevação (MDE): FABDEM (30m), ALOS-PALSAR (12,5m);
- Hidrografia: Ottotrechos da bacia do rio São Francisco e Massas D'água (ANA/IGAM/SISEMA);
- Imagens de satélite: LANDSAT 5 Sensor TM_19970108_219_073_L2>Bandas 1 a 7 e LANDSAT5TM_19970108_219_074_L2>Bandas 1 a 7 (DGI/INPE). E imagens disponibilizadas por meio do *software Google Earth Pro*.

Foram calculados os seguintes índices e representações gráficas:

- Índice de Concentração da Rugosidade (Sampaio e Augustin, 2014);
- *Topographic Wetness Index* (Mattivi *et al.* (2019);

- Perfis longitudinais e topográficos;

E por fim, para a construção do Mapa Geomorfológico foram utilizadas as seguintes informações:

- Geologia (Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais na escala de 1:1.000.000);
- Altimetria (ALOS PALSAR, resolução 12,5m);
- Índice de Concentração da Rugosidade (Sampaio; Augustin, 2014);
- *Topographic Wetness Index* (Mattivi *et al.* (2019));
- Imagens do Satélite Landsat-5 no dia 8 de janeiro de 1997, ao longo de um pulso de inundação.

Assim, evidenciando que para a elaboração do mapeamento geomorfológico e individualização das unidades e subunidades foram considerados os fatores geológicos e parâmetros topográficos e hidrogeomorfológicos, que dentro do contexto da área de estudo apresentam grande relevância para a configuração do relevo.

4.1.1 Índice de Concentração da Rugosidade

O Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) é uma ferramenta analítica baseada em parâmetros morfométricos, cuja finalidade é identificar unidades homogêneas do relevo a partir da análise da variabilidade dos valores de declividade. Proposto por Sampaio e Augustin (2008), o ICR se destaca pela eficácia na identificação de padrões de dissecação do terreno, mediante o cálculo da concentração espacial dos valores de declividade. Essa abordagem permite observar de forma integrada como a rugosidade se distribui em determinadas superfícies, evidenciando áreas com características topográficas semelhantes.

A aplicação da metodologia foi realizada em ambiente SIG, por meio do *software ArcGIS*, utilizando como base o MDE *FABDEM*, com resolução de 30 metros. O procedimento seguiu os procedimentos descritos pelos autores da metodologia original, garantindo a fidelidade técnica da aplicação e a comparabilidade dos resultados com outros trabalhos já realizados (Oliveira, 2021; Fumiya *et al.*, 2016).

Ressalta-se que essa técnica já foi previamente utilizada em estudos desenvolvidos em áreas parcialmente coincidentes com a presente pesquisa, como os trabalhos de Araújo, Oliveira e Ribeiro (2022), com foco específico na planície de inundação do rio São Francisco. Além disso, tanto o ICR quanto o TWI já foram aplicados na bacia hidrográfica do rio Picão, evidenciando a sua relevância em contextos geomorfológicos regionais.

No entanto, observa-se que, até o momento, a aplicação sistemática e abrangente desses índices em toda a área da presente pesquisa ainda não havia sido realizada. A integração do ICR com outras análises morfométricas oferece subsídios importantes para a identificação de padrões homogêneos de declividade e compartimentação do relevo, contribuindo para uma leitura mais precisa da paisagem geomorfológica.

4.1.2 Topographic Wetness Index

O *Topographic Wetness Index* (TWI) é um índice amplamente utilizado em análises hidrológicas e geomorfológicas, destinado à identificação de áreas com maior tendência à acumulação de umidade no solo, a partir de características topográficas. Desenvolvido inicialmente com base na equação de Beven e Kirkby (1979) e posteriormente aprimorado, o TWI foi replicado neste trabalho conforme a abordagem metodológica apresentada por Mattivi *et al.* (2019).

Esse índice considera a relação entre a área de contribuição específica (ou área de captação) e o gradiente de declividade, permitindo indicar locais onde há maior potencial para retenção ou concentração de água superficial. A aplicação do TWI foi realizada com base no MDE FABDEM, sendo operada em ambiente SIG, o que viabilizou a análise espacial contínua da variabilidade da umidade potencial no terreno. O índice tem se mostrado eficaz na identificação de zonas propensas à formação AUs, processos erosivos, deposição de sedimentos e outras dinâmicas hidrológicas relacionadas ao relevo.

Estudos recentes, como os de Li *et al.* (2020) e Persson *et al.* (2012), têm empregado o TWI em diferentes contextos ambientais, evidenciando sua aplicabilidade em regiões com diversidade morfológica. No contexto desta pesquisa, o TWI foi utilizado de forma complementar ao ICR, possibilitando uma análise integrada entre a rugosidade do relevo e a dinâmica hídrica superficial.

4.1.3 Processamento de imagens de satélite

Com o objetivo de caracterizar a dinâmica espacial da área estudada ao longo de um pulso de inundação, foram utilizadas imagens orbitais do satélite Landsat-5, sensor TM, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE), datadas de 08 de janeiro de 1997, data de um dos maiores pulsos de inundação registrados. A mancha de inundação serviu como base para a delimitação da planície de inundação do rio São Francisco.

O processamento dessas imagens envolveu uma série de etapas técnicas para garantir a acurácia geométrica e a qualidade radiométrica dos dados utilizados.

Inicialmente, as imagens foram submetidas a correções radiométricas, assegurando a integridade dos valores espectrais e eliminando possíveis distorções causadas por fatores atmosféricos ou instrumentais. Em seguida, foi realizado o georreferenciamento da imagem Landsat-5 utilizando como base a imagem do satélite CBERS-4, escolhida por possuir coordenadas precisas e previamente ajustadas. A extração das coordenadas foi feita a partir de pontos de controle visualmente identificados (Ground Control Points - GCPs) na imagem do CBERS-4, garantindo correspondência espacial entre os dados.

O processo de georreferenciamento foi executado no software IDRISI Selva, adotando o sistema de referência UTM, fuso 23S. Foram utilizadas imagens captadas em 8 de janeiro de 1997, referentes ao ponto 219, órbitas 073 e 074. A etapa de *resample* foi realizada com base nas imagens do CBERS-4 (ano de 2008), com composição espectral RGB (B3G4R5). Ao todo, foram identificados 97 GCPs, resultando em um erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMS) de 16,138 pixels, considerado aceitável para a escala de análise adotada. O método de interpolação utilizado para o ajuste geométrico foi o vizinho mais próximo (*nearest neighbor*), preservando a integridade dos valores originais dos pixels.

Por fim, foi aplicada a técnica de realce de contraste, com o objetivo de aprimorar a distinção visual entre diferentes feições da superfície, tais como corpos d'água, áreas vegetadas e superfícies expostas. Esse realce teve como base os diferentes comportamentos espectrais apresentados pelos alvos, permitindo uma melhor interpretação das imagens e facilitando a extração de informações relevantes à dinâmica morfológica e hidrológica da área.

4.1.4 Análise descritiva dos dados

Com o objetivo de compreender o comportamento estatístico das variáveis altimétricas e morfométricas analisadas (altitude, ICR e TWI), foi realizada uma análise descritiva em duas etapas: extração de dados em ambiente SIG e posterior tratamento estatístico.

Inicialmente, as estatísticas foram obtidas por meio do algoritmo “Estatísticas Zonais” do QGIS, o qual permite extração de valores contidos em diferentes zonas geográficas. Os dados extraídos foram então organizados e processados nos softwares *Microsoft Excel* e *Past*, possibilitando a aplicação de técnicas estatísticas convencionais.

A análise contemplou medidas de tendência central (média, mediana e moda), medidas de dispersão (desvio padrão, variância e amplitude) e medidas de posição relativa (quartis e percentis). Também foram produzidas representações gráficas, com o intuito de identificar a

distribuição dos dados, presença de *outliers*, e padrões de comportamento das variáveis. Essa etapa foi essencial para validar a consistência dos dados e fornecer subsídios à interpretação geomorfológica e hidrológica dos resultados.

4.1.5 Perfis topográfico e longitudinais

Para um melhor detalhamento das subunidades morfoesculturais identificadas no mapeamento, foram gerados perfis topográficos e longitudinais. Essas representações permitiram uma leitura mais aprofundada da estrutura altimétrica das feições de relevo, bem como da organização das formas em diferentes direções e extensões.

Os perfis foram elaborados no software *QGIS*, com o auxílio do plugin *Profile Tool*, que possibilita a extração de dados altimétricos ao longo de uma linha de interesse. Para esta finalidade, foi utilizado sendo utilizado o MDE ALOS PALSAR, com resolução média de 12,5 metros, cuja a alta resolução favorece a obtenção de informações mais detalhadas.

As figuras geradas foram submetidas a ajustes gráficos, no software *Inkscape*, no qual foram ajustados os elementos visuais como rótulos, legendas e estilo, buscando garantir a clareza na comunicação das informações e uniformidade na apresentação dos resultados e integração com outras fontes de informações como mapas, registros fotográficos.

4.1.6 Integração das informações

A última etapa consistiu na integração das diversas informações espaciais geradas ao longo do estudo. Esse processo foi realizado em ambiente SIG, com a utilização da técnica de *overlay*, que permite a sobreposição e cruzamento de diferentes camadas de dados geográficos.

A técnica de *overlay* é amplamente empregada em análises espaciais, sendo fundamental para identificar padrões de correlação e interação entre diferentes variáveis. Ao permitir a análise conjunta de dados vetoriais e matriciais, essa técnica viabiliza a construção de uma interpretação mais integrada da paisagem, facilitando a delimitação de áreas de interesse e a identificação de zonas com comportamentos geomorfológicos semelhantes.

4.2 Classificação hidrogeomorfológica

O primeiro passo consistiu na identificação das zonas com alto potencial para o desenvolvimento de AUs, com base em critérios hidrogeomorfológicos, tais como: baixas altitudes relativas, elevado potencial de acúmulo de água, baixa rugosidade do terreno e

proximidade com a rede de drenagem. Essa análise permitiu delimitar zonas prioritárias para a investigação e a posterior amostragem.

A partir das zonas identificadas, foi realizada a seleção de áreas representativas dentro de cada subunidade geomorfológica. A amostragem teve como objetivo contemplar a diversidade de contextos geomorfológicos e hidrogeomorfológicos, permitindo uma análise comparativa entre diferentes tipos de AUs e sua inserção nas unidades de relevo mapeadas.

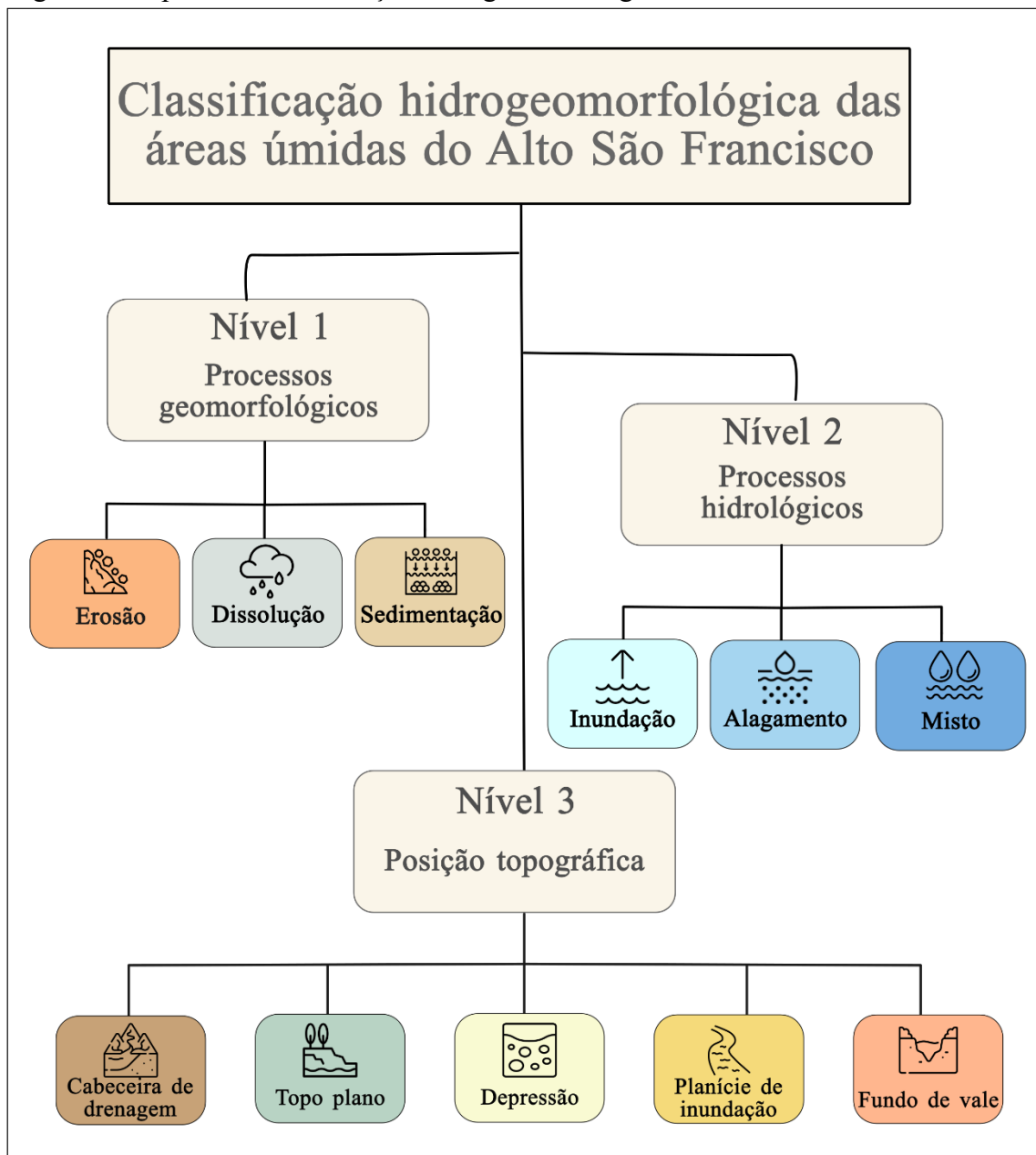
Por fim, procedeu-se à classificação das AUs com base em critérios geomorfológicos, hidrológicos e posicionamento na paisagem. Ressalta-se que a classificação teve caráter representativo, não sendo o objetivo mapear exaustivamente todas as AUs do Alto São Francisco. Apenas as AUs permanentes foram consideradas, sendo excluídas as formações temporárias e efêmeras.

O primeiro nível de classificação baseia-se nos processos geomorfológicos dominantes (erosão, sedimentação e dissolução), responsáveis pela formação das AUs. O segundo nível agrupa as AUs de acordo com o processo hidrológico predominante (inundação, alagamento ou misto). Por fim, o terceiro nível refina a análise segundo a posição topográfica em que a AU se encontra, refletindo a sua inserção na paisagem (cabeceira de drenagem, topo plano, depressão, planície de inundação e fundo de vale).

Optou-se por adotar a classificação em três níveis, considerando a complexidade inerente à formação das AUs e a necessidade de uma abordagem integrada e estruturada para a sua análise. A escolha de processos geomorfológicos como critério primário reflete a compreensão de que a gênese da forma condiciona, em grande medida, os padrões hidrológicos subsequentes. E a seleção da posição topográfica visou garantir uma representação mais fiel da inserção das AUs na paisagem, sendo um critério facilitador da identificação destas, quando comparado aos níveis anteriores.

A seguir está representado o diagrama que simplifica os diferentes níveis da classificação hidrogeomorfológica das AUs do Alto São Francisco. E em seguida o detalhamento de cada um dos níveis e as características consideradas para serem enquadradas em cada.

Figura 8. Proposta de classificação hidrogeomorfológica das AUs do Alto São Francisco.



Fonte: A autora (2025).

4.2.1 Primeiro nível de classificação

As formas de degradação do relevo são opostas às formas de agradação. A degradação abriga tipos de paisagens onde o processo de desgaste erosivo se manifesta com grande intensidade. Há também a degradação dos solos, usada por vezes como sinônimo de erosão do solo, que se trata das modificações que atingem o solo e que atuam na destruição dos horizontes superficiais (Guerra, 1993).

A denudação, termo extensamente utilizado, será entendida ao longo deste trabalho como um trabalho gliptogenético (Guerra, 1993). Isto é, a denudação é o arrasamento das formas de relevo mais salientes pelo efeito conjugado dos diferentes agentes erosivos. Assim, é um termo mais generalista e amplo, implicando numa escala de tempo geológica. O intemperismo, por sua vez, é o conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que ocasionam a decomposição e desintegração das rochas. Trata-se de uma etapa preliminar ou elementar de qualquer outro tipo de erosão, sendo a "preparação" dos materiais.

Erosão e sedimentação, embora sejam processos antagônicos, não se opõem no tempo, mas no espaço. Ocorrem simultaneamente em diferentes áreas dentro de uma mesma bacia hidrográfica e compõem, em conjunto com a desagregação, o ciclo erosivo, ou ciclo hidrosedimentológico. A sedimentação é o processo pelo qual se verifica a deposição de sedimentos ou substâncias, com origem variada (fluvial, lacustre, eólica etc.) (Stevaux e Latrubesse, 2017).

O ciclo hidrosedimentológico está intimamente ligado ao ciclo hidrológico, especialmente em ambientes tropicais (Tucci, 2020). A entrada de água nas bacias hidrográficas pela precipitação dá início ao escoamento superficial e subterrâneo, sendo influenciado por rugosidades e características do solo e do relevo. Nesse ciclo, identificam-se as seguintes etapas: desagregação, erosão, transporte, sedimentação (ou decantação), depósito e consolidação (Tucci, 2020).

A sedimentação dá origem a depósitos, cuja parada total caracteriza o depósito propriamente dito (Phillips, 1989). A consolidação ocorre pelo acúmulo e compactação dos materiais transportados, influenciada pelo peso, pressão hidrostática ou outros fatores. Bordas e Semmelmann (2021) destacam a erosão e os depósitos como etapas fundamentais na redistribuição de sedimentos em uma bacia hidrográfica. Os processos de escavamento e deposição originam relevos típicos de degradação e agradação, os quais se formam ao longo de um processo contínuo e lento de adaptação das formas do relevo (Julien, 2010).

A água, ao percorrer a bacia hidrográfica, interage constantemente com os processos de erosão e sedimentação. O impacto das gotas de chuva nos solos descobertos (efeito splash) e o subsequente escoamento superficial são mecanismos decisivos na dinâmica de mobilização dos sedimentos (Sharma, 2010). As ações antrópicas, como desmatamento, agricultura, urbanização, mineração, retificação de cursos d'água, tendem a acelerar os processos erosivos, interferindo no ciclo hidrosedimentológico. Isso aumenta a quantidade de material disponível para remobilização, caracterizando a erosão antropogênica (ou acelerada), que altera significativamente a paisagem natural.

E a dissolução? O processo aparece no 1 nível mas não é abordado nesta apresentação

..

4.2.2 Segundo nível de classificação

As principais fontes de água associadas às AUs são de origem de precipitação direta (chuva), escoamento superficial ou subsuperficial, nível freático (água subterrânea), água fluvial (dos rios e canais). Nesse contexto, o período de maior concentração pluvial (entre dezembro e março), há uma transformação da paisagem, com o ressurgimento de AUs e expansão das permanentes, visto que as chuvas aumentam o balanço hídrico, favorecem o escoamento superficial e subsuperficial, elevam o nível freático e favorecem as inundações.

O segundo nível da classificação das áreas úmidas baseia-se na identificação do processo hidrológico predominante que condiciona sua dinâmica de saturação hídrica. Esse critério considera o regime de permanência da água nas AUs, a natureza das entradas hídricas e o tempo de retenção da água no sistema, sendo crucial para compreender a funcionalidade hidrológica dessas áreas.

As AUs classificadas como áreas de inundação são aquelas em que o acúmulo de água resulta diretamente do transbordamento periódico dos canais de drenagem, principalmente em períodos de cheia. Essas inundações são sazonais e ocorrem a partir da elevação do nível dos cursos d'água adjacentes, o que implica uma forte conexão hidráulica com os sistemas fluviais. São típicas de planícies aluviais associadas a leitos maiores, com aporte hídrico lateral e vertical.

As áreas de alagamento, por outro lado, são caracterizadas pelo acúmulo de água devido à drenagem deficiente, ao nível freático elevado e à baixa declividade do relevo. O alagamento tende a ser mais persistente e menos diretamente associado ao pulso de inundação dos rios. Essas áreas funcionam como zonas de retenção, com maior dependência das características pedológicas, topográficas e pluviométricas locais.

Por fim, há as áreas de regime misto, que combinam características dos dois processos anteriores. Nestes casos, tanto a inundação fluvial quanto o alagamento por impedância na drenagem contribuem para a manutenção da saturação hídrica. São comuns em zonas de transição, como bordas de planícies de inundação ou áreas rebaixadas lateralmente conectadas a vales fluviais.

A distinção entre esses processos é essencial para compreender os mecanismos de entrada e permanência da água nas AUs, contribuindo para uma classificação que reflete não

apenas a morfologia do relevo, mas também a funcionalidade hidrológica das unidades analisadas.

4.2.3 Terceiro nível de classificação

No terceiro nível de classificação, que trata da posição topográfica das AUs na paisagem, foram catalogadas cinco classes diferentes, correspondendo às classes que melhor representam a posição nas diversas paisagens do Alto São Francisco. São elas: cabeceira de drenagem, topo plano, depressão, planície de inundação e fundo de vale.

As AUs associadas às cabeceiras de drenagem se localizam em setores elevados da paisagem, próximos às nascentes dos cursos d'água. Nestes ambientes, o relevo tende a ser suave e levemente convexo, favorecendo a acumulação de água por saturação do solo, especialmente onde ocorrem litologias de baixa permeabilidade ou solos hidromórficos. Tais áreas desempenham um papel fundamental no regime hidrológico das bacias, atuando como fontes difusas de água e contribuindo para a manutenção da vazão de base dos sistemas fluviais.

Em topos planos, as AUs se desenvolvem sobre superfícies planas ou suavemente onduladas, como chapadas, topos de morros e interflúvios aplainados. A baixa declividade favorece o acúmulo de água da chuva, impedindo o escoamento superficial eficiente, resultando na estagnação temporária ou permanente da água. Nestes ambientes, a formação dos solos hidromórficos é comum, e o balanço hídrico é fortemente influenciado pela precipitação local e pela baixa capacidade de drenagem do terreno.

As AUs em depressões surgem em rebaixamentos topográficos fechados ou com drenagem restrita. São áreas rebaixadas em relação ao entorno imediato, apresentando curvatura côncava (plana-côncava ou fortemente côncava). A gênese dessas áreas tende a estar associada tanto a fatores estruturais, quanto a processos erosivos ou de subsidência local. Nessas condições, a água pluvial tende a se acumular em longos períodos, levando à saturação do solo e, muitas vezes, à formação de ambientes como brejos, veredas ou lagoas sazonais. Geralmente, ocorrem em convergências de fluxos superficiais e subsuperficiais, promovendo o acúmulo mais permanente da água, podendo, inclusive, atuar como zonas de descarga do nível freático. Tendem a apresentar solos mais espessos com fortes sinais de hidromorfismo, associados a vegetação paludícola ou macrófitas mais expressivas.

As AUs de planície de inundação se desenvolvem nas margens de rios e ribeirões, onde são diretamente moldadas pelos processos fluviais de transbordamento periódico. Constituem áreas largas, relativamente planas, junto a canais de maior ordem, associadas a rios perenes, principalmente. Durante os eventos significativos de cheia, a água ultrapassa o dique marginal

do canal ativo, depositando sedimentos finos e criando ambientes favoráveis à formação de solos aluviais hidromórficos. Esse contexto confere às AUs uma alta conectividade com o canal principal, sendo também dependente da dinâmica hidrológica do rio. A dinâmica de alagamento e secagem torna essas áreas particularmente dinâmicas, com elevada diversidade de sistemas hidrogeomorfológicos, predominando vegetação mais típica de várzeas, com indicações de adaptação à inundação prolongada.

Nos fundos de vales, as AUs se instalam ao longo de corredores de drenagem de menor hierarquia, frequentemente em áreas de baixa energia fluvial. A topografia suavemente côncava e a convergência de fluxos hídricos favorecem a saturação do solo ao longo desses eixos. Esses ambientes atuam como zonas de recarga e descarga local, conectando as AUs de cabeceiras com as planícies fluviais mais a jusante.

As AUs de fundo de vale podem estar situadas nas áreas adjacentes aos cursos d'água, porém não sofrem com fenômenos de inundação. Trata-se, principalmente, de vales relativamente elevados topograficamente, que comportam pequenos canais.

A classificação topográfica das AUs pode ser complexa, visto que uma mesma AU pode apresentar características ambíguas, como, por exemplo, depressões situadas em topos planos. Para isso, algumas diferenciações foram feitas para uma melhor definição das AUs com características ambíguas. Embora as AUs de topo plano e cabeceiras de drenagem estejam ambas em áreas elevadas, as AUs de topo plano tendem a se apresentar isoladas, enquanto que as cabeceiras são o ponto de partida da drenagem, com possível surgência da água.

As AUs de depressão se apresentam fechadas ou quase sem drenagem, enquanto as situadas em fundo de vale apresentam morfologia encaixada e linear. As de fundo de vale estão situadas nas partes mais baixas ao longo da drenagem, enquanto que as de cabeceiras são o início da drenagem. A planície de inundação se diferencia de todas por ser a única associada a inundações recorrentes por rios maiores, com paisagem ampla e plana.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapeamento geomorfológico e unidades do relevo regional

Esta seção foi estruturada com base na classificação taxonômica do relevo, conforme já foi explicado e detalhado nas seções anteriores. A apresentação dos resultados segue uma lógica descendente, iniciando pelos domínios morfoestruturais, que representam as grandes estruturas de relevo, passando pelas unidades morfoesculturais, associadas a padrões de esculturação do relevo e chegando até as subunidades morfoesculturais, que oferecem um nível mais detalhado de compartimentação da paisagem.

Os dois primeiros níveis taxonômicos, domínios morfoestruturais e unidades morfoesculturais, foram adotados conforme a classificação do IBGE (2009; 2019), e integrados ao presente estudo com o objetivo de contextualizar espacialmente os resultados obtidos. Ainda que esses níveis já estejam previamente mapeados em escala nacional, sua incorporação na análise permite estabelecer conexões diretas com as unidades propostas neste trabalho, facilitando o entendimento da organização interna do relevo.

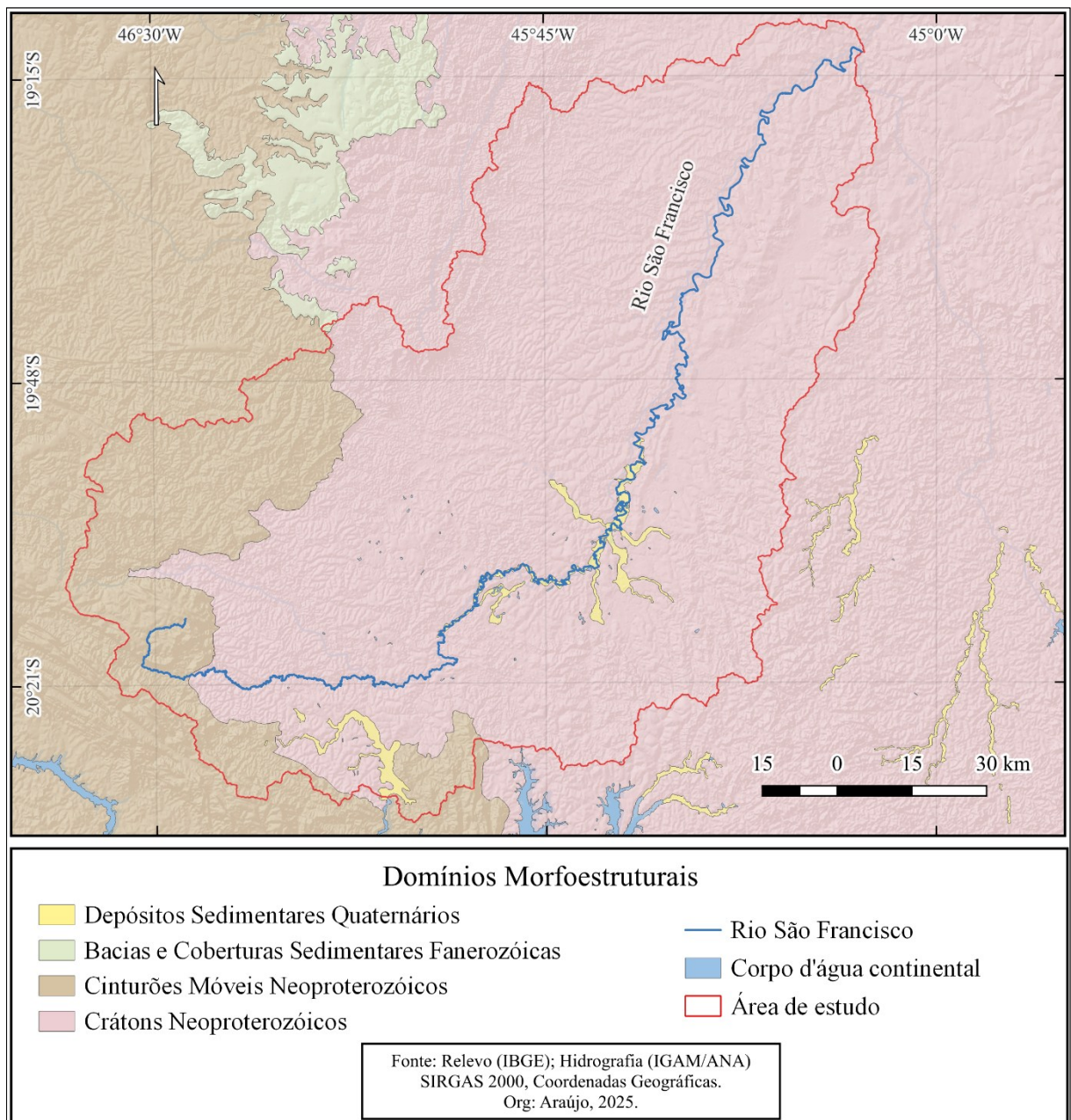
O terceiro nível de classificação, referente às subunidades morfoesculturais, corresponde à principal contribuição original desta pesquisa. Foi possível identificar 15 subunidades morfoesculturais, classificadas conforme as orientações e definições estabelecidas pelo IBGE. Para a descrição das subunidades, foi utilizada uma variedade de técnicas e abordagens, evidenciando as características mais representativas do contexto geomorfológico. Por fim, é apresentada uma síntese estatística com os principais parâmetros extraídos, de forma a apoiar quantitativamente a caracterização das unidades e reforçar a coerência dos critérios adotados no mapeamento.

5.1.1 Domínios ou Unidades Morfoestruturais

Os domínios morfoestruturais constituem o mais alto nível da hierarquia taxonômica do relevo e representam grandes compartimentos estruturais definidos a partir da interação entre as características morfológicas e as estruturas geológicas de determinada região. De acordo com o IBGE (2009; 2019), esses domínios refletem de maneira direta a dinâmica tectônica, os processos de modelagem do relevo e a natureza dos materiais geológicos presentes, sendo, portanto, elementos fundamentais para a compreensão da evolução da paisagem em escala regional.

A delimitação desses domínios permite identificar áreas com diferentes contextos geológicos e variações no grau de soergimento ou subsidência que influenciam nos padrões distintos de dissecação do relevo. Assim, ao analisar os domínios morfoestruturais do Alto São Francisco, é possível reconhecer grandes blocos com identidade morfológica própria, que influenciam diretamente a organização interna das formas de relevo em escalas mais detalhadas.

Figura 7. Domínios ou unidades morfoestruturais.



Fonte: A autora (2025).

O ASF está situado em uma área geológica de grande complexidade, inserida no limite entre dois domínios morfoestruturais: o cráton São Francisco e a Faixa Brasília pertencente ao Sistema Orogênico Brasileiro Tocantins. A porção predominante do ASF está ancorada sobre o cráton (Alkimin, 2004; Hasui, 2012), enquanto que a extremidade sudoeste da área de estudo já se encontra sob a influência da Faixa Brasília, evidenciando um contexto de transição entre estruturais estáveis e móveis da crosta.

Esse enquadramento tectônico exerce influência direta sobre a morfologia regional, pois os dois domínios apresentam dinâmicas distintas no que diz respeito à evolução do relevo. De um lado, os terrenos cratônicos, que compõem porções antigas e relativamente estáveis da litosfera continental, tendem a apresentar formas de relevo mais suavemente dissecadas, com compartimentos amplos e esculpidos ao longo de extensos períodos geológicos sob ação de processos de aplainamento. Por outro lado, as faixas móveis, como a Faixa Brasília, são áreas resultantes de episódios mais recentes de orogênese, e por isso apresentam uma topografia mais movimentada, com serras alinhadas, estruturas dobradas falhadas, refletindo maior instabilidade estrutural e maior compartimentação do relevo.

No contexto da área de estudo, o Cráton do São Francisco se expressa por formas típicas como planaltos residuais, chapadas e depressões interplanálticas, moldadas em embasamentos constituídos predominantemente por rochas granitóides e metamorfas, podendo ainda ser recobertos por pacotes sedimentares da cobertura fanerozoica (IBGE, 2009). Entre os compartimentos mais expressivos nessa porção estão a Depressão do Alto Rio São Francisco, os patamares de erosão, bem como a Serra da Saudade, que constitui uma elevação significativa com papel relevante na compartimentação da paisagem.

Já na porção sudoeste, a Faixa Brasília é composta por terrenos formados por cinturões de dobramentos neoproterozoicos, sustentados por embasamentos geológicos mais complexos e instáveis, compostos por unidades metassedimentares dobradas e falhadas (Castro e Dardenne, 2000). Nessa região, ocorrem planaltos e depressões interplanálticas, mas também serras com forte controle estrutural, cujos alinhamentos refletem diretamente a orientação dos sistemas de falhas e dobras formados durante os eventos tectônicos do ciclo Brasileiro.

Além dos domínios estruturais consolidados, a área de estudo abriga ainda porções cobertas por Depósitos Sedimentares Quaternários, principalmente associados às planícies de inundação e aos terraços fluviais do rio São Francisco e seus afluentes. Esses compartimentos de relevo plano ou suavemente ondulado têm origem recente, e sua morfologia está intimamente relacionada à atuação de processos sedimentares contemporâneos, como transporte fluvial, sedimentação aluvial e erosão das margens.

5.1.2 Unidades Morfoesculturais

As unidades morfoesculturais representam o segundo nível hierárquico da classificação do relevo proposta pelo IBGE (2009) englobando compartimentos que compartilham características genéticas, morfológicas e estruturais semelhantes. O Alto São Francisco contempla as seguintes unidades morfoesculturais: Planaltos da Canastra, Serras e Patamares do São Francisco, Planalto Centro-Sul Mineiro, Depressão do Alto São Francisco e, de forma localizada, as Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas.

As unidades inseridas sobre os terrenos das rochas do Grupo Canastra caracterizam-se por apresentarem relevos fortemente dissecados, com grandes amplitudes topográficas e altitudes elevadas (Uhlein *et al.*, 2012; Valeriano *et al.*, 1995; Valeriano *et al.*, 2004). Esses compartimentos são controlados por estruturas tectônicas, como falhas e fraturas, que condicionam áreas com expressivos escarpamentos estruturais e vales encaixados. Essa região ainda abriga o interflúvio entre as bacias dos rios São Francisco, Paranaíba e Grande, destacando-se como uma área de importância geomorfológica e hidrográfica significativa.

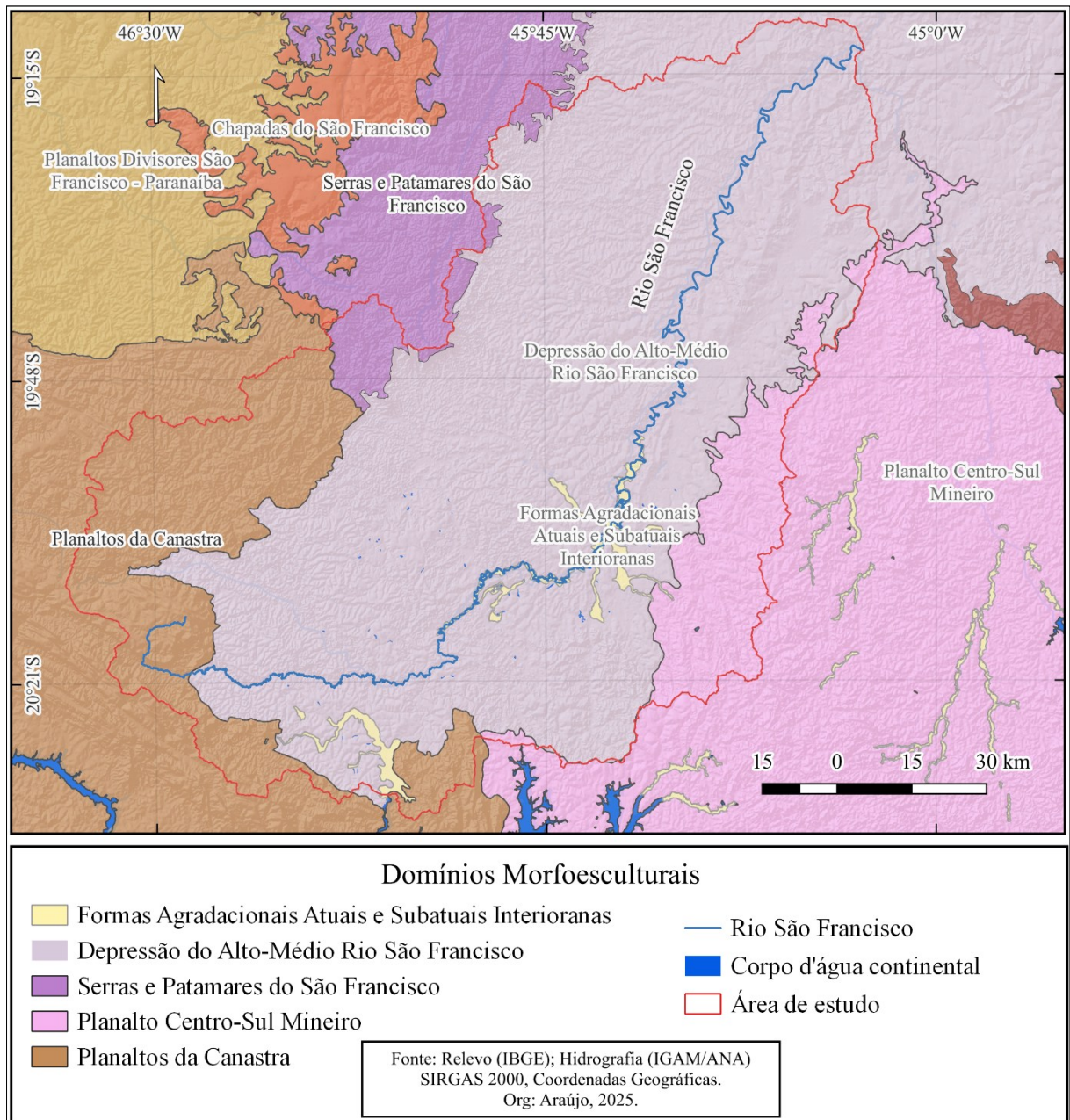
O Planalto Centro-Sul Mineiro é definido por formas mamelonares suaves, desenvolvidas sobre os complexos granito-gnáissico, em uma paisagem típica de embasamento cristalino submetido à longa atuação de processos de denudação (CETEC, 1983). Essa unidade, embora originalmente classificada como um planalto, foi reclassificada no presente mapeamento como relevo serrano, em função das variações altimétricas e das feições observadas em escala mais detalhada.

A unidade das Serras e Patamares do São Francisco encontra-se representada, na área de estudo, por elevações localizadas na porção oeste da Serra da Saudade, caracterizadas por alinhamentos estruturais e morfologia acidentada, denotando forte influência tectônica na compartimentação do relevo (Signorelli *et al.*, 2008).

A Depressão do Alto Rio São Francisco constitui a unidade mais representativa e dominante dentro da área mapeada. Essa unidade teve origem a partir da incisão fluvial, e desenvolveu-se a partir dos vales dos grandes rios, promovendo incisão a partir de fraturas e falhas, superfície esta que posteriormente foi submetida aos processos de aplainamento. Como resultado, desenvolveu-se uma paisagem com predomínio de superfícies suavemente onduladas e formas aplainadas. Localmente ocorrem áreas cársticas, associadas à presença de rochas carbonáticas, que imprimem uma morfologia peculiar e complexa ao contexto da depressão (CETEC, 1983).

As Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas representam compartimentos planos ou suavemente ondulados, associados a depósitos aluviais e coluviais formados ao longo do rio São Francisco e seus afluentes. Esses compartimentos são resultantes de processos deposicionais recentes, representando superfícies relativamente jovens, sujeitas a variações sazonais no regime fluvial (CETEC, 1983).

Figura 8. Unidades Morfoesculturais.



Fonte: A autora (2025).

É importante destacar que, no presente mapeamento, diversas áreas originalmente classificadas como planaltos foram reinterpretadas, à luz da escala de trabalho (1:250.000), como relevos serranos. Isso se aplica a porções do Planalto Centro-Sul Mineiro, dos Planaltos da Canastra e das Serras e Patamares do São Francisco, em razão da presença de fortes declividades, escarpas estruturais e compartimentação acentuada.

O mapeamento geomorfológico realizado contempla apenas porções dessas unidades, especialmente suas bordas e zonas de transição, dado o recorte espacial do Alto São Francisco. Essas áreas de contato entre diferentes compartimentos de relevo são de extrema relevância para a interpretação da dinâmica geomorfológica local, pois nelas se concentram mudanças nas características do substrato, na declividade e na forma das vertentes.

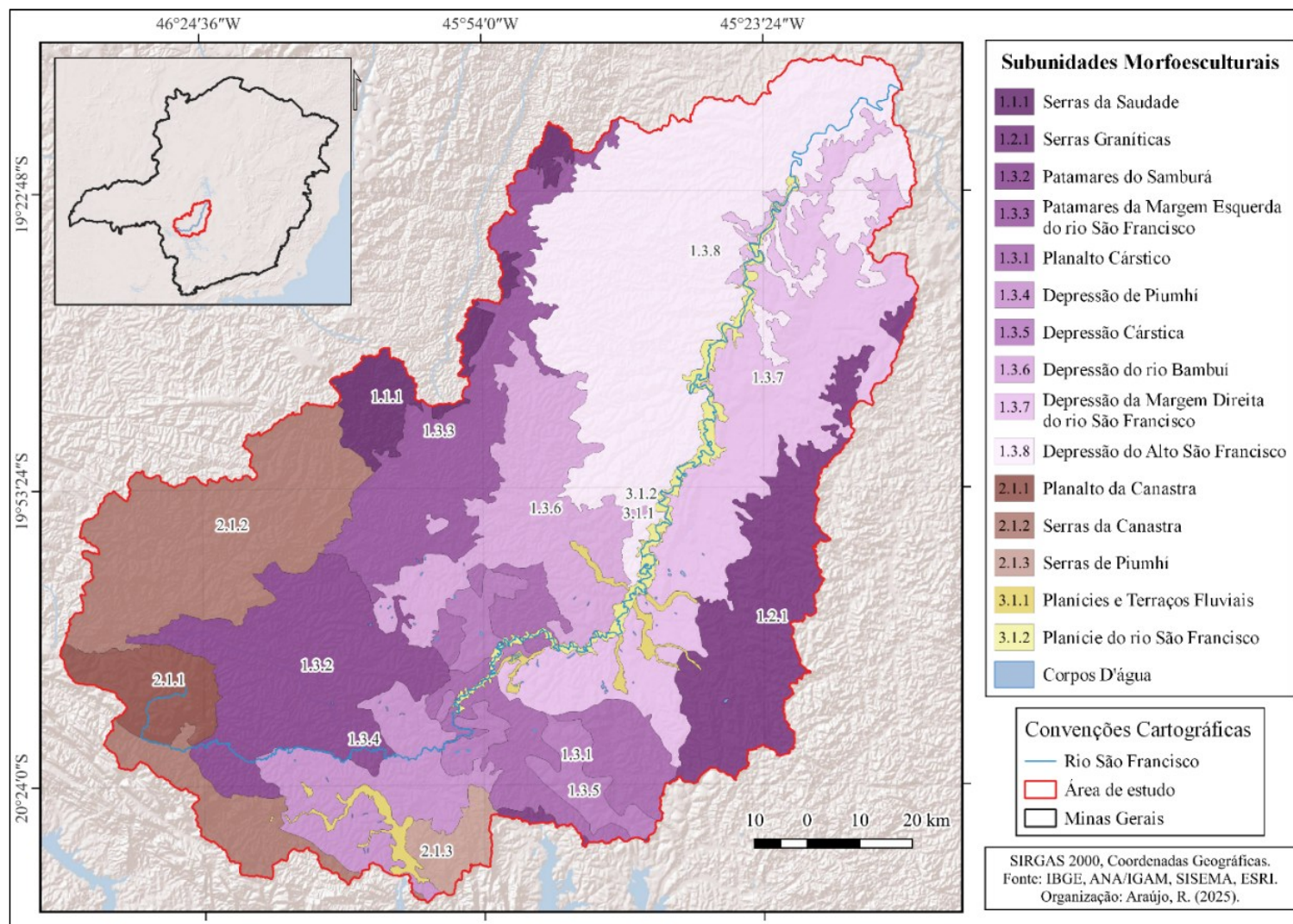
A Depressão do Alto Rio São Francisco, que se estende até a represa de Três Marias, foi individualizada em diferentes compartimentos, incluindo depressões, patamares e planaltos residuais, que refletem nuances estruturais, litológicas e evolutivas. Os patamares geomorfológicos aparecem principalmente na interseção entre os Planaltos da Canastra e a Serra da Saudade com a Depressão, enquanto os planaltos residuais indicam áreas topograficamente mais elevadas, isoladas por processos erosivos diferenciados. Além disso, foram reconhecidas outras depressões secundárias, individualizadas com base na natureza do substrato geológico e nos padrões de dissecação, oferecendo um quadro mais detalhado e representativo da compartimentação morfoescultural da área.

5.1.3 Subunidades Morfoesculturais

As subunidades morfoesculturais representam o terceiro nível hierárquico da classificação de relevo adotada neste trabalho, detalhando as unidades morfoestruturais previamente descritas. Ao todo, foram individualizadas quinze (15) subunidades morfoesculturais, conforme ilustrado na Figura 9.

As subunidades foram agrupadas conforme os grandes tipos de relevo estabelecidos: Serras, Planaltos, Patamares, Depressões e Planícies. As Serras, embora frequentemente consideradas uma denominação genérica, são adotadas para designar áreas com terreno acidentado, com altos desníveis topográficos e forte rugosidade, independentemente da natureza geológica do substrato (IBGE, 2009; 2019). Dentro da área de estudo, foram identificados quatro conjuntos serranos, que compartilham características como alta rugosidade do terreno e elevação topográfica acentuada.

Figura 9. Mapa Geomorfológico do Alto São Francisco.



Fonte: A autora (2025).

Os planaltos são definidos como superfícies elevadas, delimitada por escarpas íngremes onde o processo de degradação supera os de agradação (Guerra, p. 330). Conforme a classificação do IBGE (2009) são formas caracterizadas pela predominância de processos erosivos, variações altimétricas e podendo apresentar relevo plano ou dissecado, delimitado por superfícies mais baixas ao menos em um dos lados. No contexto da área de estudo, foram individualizados o Planalto da Canastra, um planalto clássico esculpido em rochas de estrutura predominantemente horizontal ou levemente sub-horizontal, e o Planalto Cárstico, que representa uma área elevada situada entre depressões adjacentes.

De acordo com o IBGE (2009), os patamares correspondem a superfícies intermediárias, ou degraus, entre áreas topograficamente mais elevadas e as rebaixadas. Essa definição permite que diversos compartimentos geomorfológicos sejam enquadrados nessa categoria. No Alto São Francisco, foram individualizadas duas subunidades dentro desse grupo: os Patamares do Samburá e os Patamares da Margem Esquerda do Rio São Francisco, caracterizados enquanto superfícies de transição entre a Faixa Brasília e o Cráton do São Francisco.

As Depressões são definidas como “formas de relevo que se apresentam em posição altimétrica mais baixa que as porções contíguas” (Guerra, p.125), com origens e morfologias diversas. Na área de estudo, foram identificadas cinco subunidades de depressão, diferenciadas de acordo com o substrato litoestrutural, a rugosidade do terreno e as condições de umidade.

As planícies correspondem a uma “extensão de terreno mais ou menos plano onde os processos de agradação superam os de degradação” (Guerra, p. 333). Essas feições podem ser consideradas formas de relevo relativamente recentes e, no contexto continental, estão associadas essencialmente à deposição de sedimentos fluviais, aluviais ou lacustres. No estudo em questão, a planície do rio São Francisco foi individualizada e as planícies dos afluentes do rio São Francisco foram agrupadas em uma segunda subunidade.

A influência litoestrutural é mais pronunciada nos domínios de planaltos e serras, enquanto, que orientam a compartimentação e o padrão de dissecação. As subunidades de patamares foram definidas com base nos valores de rugosidade do terreno, compondo degraus topográficos entre as serras e planaltos e as áreas deprimidas. Já no domínio das depressões, a influência litoestrutural é atenuada, prevalecendo os baixos valores de rugosidade e morfologia associada a materiais inconsolidados e aspectos hidrológicos.

Dentre as subunidades mapeadas, as depressões configuram-se como as formas de relevo mais representativas, abrangendo aproximadamente 49% da área total mapeada, com destaque para a Depressão do Alto São Francisco (DASF), que sozinha cobre cerca de 20% da área analisada. A distribuição espacial das subunidades é heterogênea, com as serras ocupando

Quadro 2. Síntese das principais características das subunidades.

1º nível	Unidades Morfoestruturais	2º nível	Unidades Morfoesculturais	3º nível	Subunidades Morfoesculturais	Área (Km²)	Altitude			ICR	TWI
							Min	Max	Maioria	Média	Média
1	Crátons Neoproterozóicos	1.1	<i>Serras e Patamares do São Francisco</i>	1.1.1	Serras da Saudade	375,2	653	1214	879	0,521	0,188
		1.2	<i>Planalto Centro-Sul Mineiro</i>	1.2.1	Serras Graníticas	1159,1	632	1116	786	0,212	0,227
		1.3	<i>Depressão do Alto São Francisco</i>	1.3.1	Planalto Cárstico	813,7	623	940	688	0,272	0,223
				1.3.2	Patamares do Samburá	1323,5	646	1066	793	0,301	0,215
				1.3.3	Patamares da Margem Esquerda do rio São Francisco	1056,9	625	1195	681	0,359	0,213
				1.3.4	Depressão de Piumhi	728,7	636	1001	784	0,201	0,235
				1.3.5	Depressão Cárstica	450,1	628	924	738	0,194	0,233
				1.3.6	Depressão do rio Bambuí	1114,4	615	840	671	0,165	0,243
				1.3.7	Depressão da Margem Esquerda do rio São Francisco	2106,6	579	875	644	0,101	0,266
				1.3.8	Depressão do Alto São Francisco	3122,4	567	891	655	0,152	0,243
2	Cinturões Móveis Neoproterozóicos	2.1	<i>Planaltos da Canastra</i>	2.1.1	Planalto da Canastra	371,8	766	1502	1356	0,351	0,209
				2.1.2	Serras da Canastra	1813,7	710	1438	1034	0,352	0,204
				2.1.3	Serras de Piumhi	187,2	737	1305	822	0,409	0,202
3	Depósitos Sedimentares Quaternários	3.1	<i>Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas</i>	3.1.1	Planícies e Terraços	421,6	593	857	624	0,078	0,316
				3.1.2	Planície do rio São Francisco	266,7	593	695	610	0,088	0,302

Fonte: A autora (2025).

23%, seguidas pelos patamares (15,5%), enquanto as planícies são as formas mais restritas, ocupando apenas 4,5%.

No mais, a Tabela 1 sintetiza as principais características das subunidades, organizando a divisão hierárquica adotada no trabalho, detalhando o primeiro nível e o segundo nível, e as subunidades morfoesculturais identificadas dentro dessas unidades, bem como os valores de área, altitude, ICR e TWI encontrados para cada subunidade.

Os próximos tópicos trazem um detalhamento das subunidades morfoesculturais mapeadas para o Alto São Francisco.

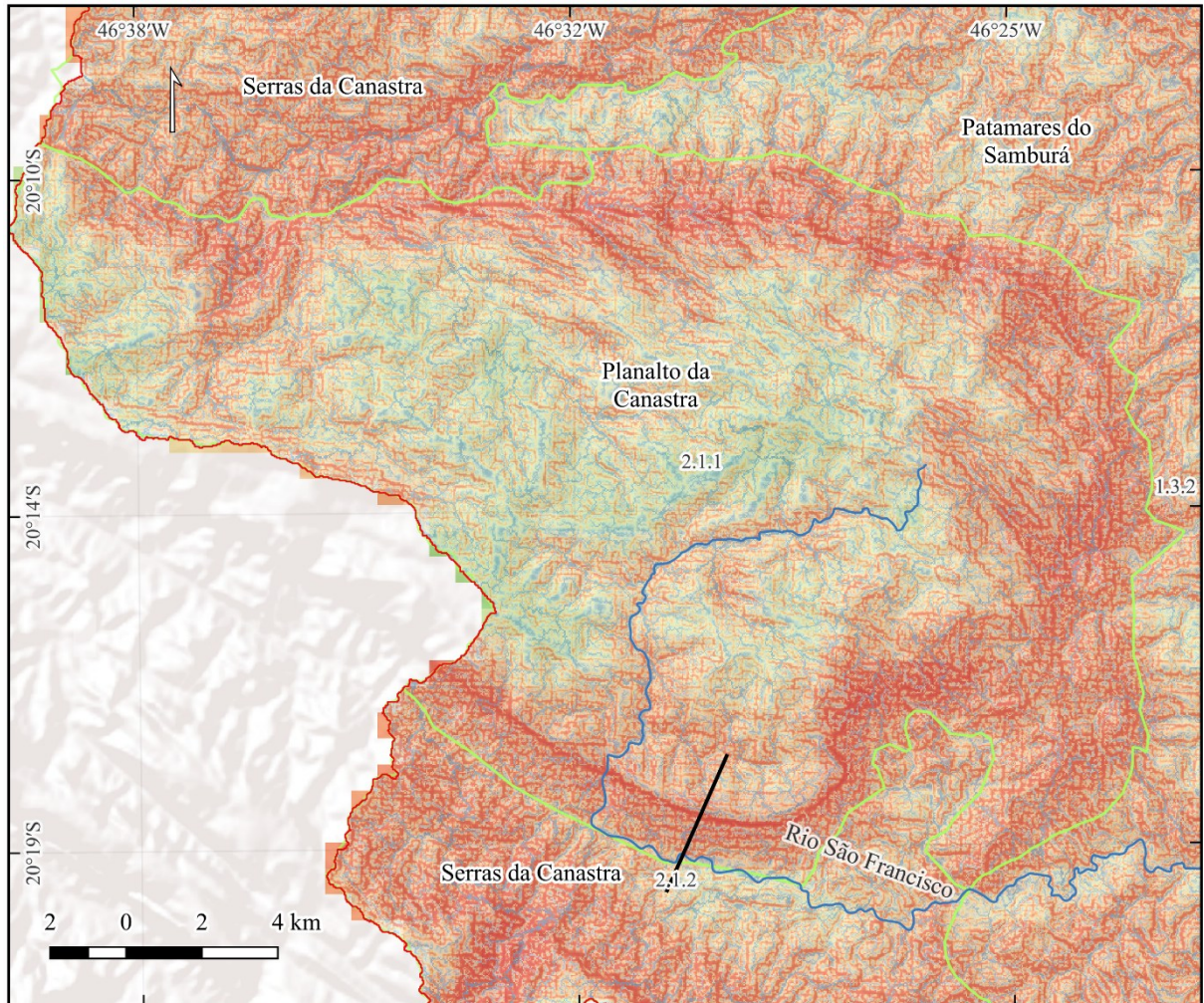
5.1.3.1 Planaltos da Canastra

O Planalto da Canastra está situado na porção sudoeste da área de estudo e representa uma extensão da Faixa Brasília, caracterizando-se por falhamentos de empurrão e zonas de cisalhamento transcorrentes (Nazar e Rodrigues, 2019; Souza e Rodrigues, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2015). A litologia predominante é composta por quartzitos e filitos do Grupo Canastra, com uma sequência dominada por quartzitos, raramente intercalados com filitos. Esses quartzitos apresentam variações, desde os mais puros até os micáceos (CODEMIG, 2015).

Em relação à classificação geomorfológica, o Planalto da Canastra é abordado de forma distinta em relação a algumas propostas. O mapeamento geomorfológico proposto para o estado considera a região como parte de um Sistema Morfoaltimétrico de Montanhas e Serras (Rodrigues, Augustin e Nazar, 2023), e a classificação do IBGE (2009), ou seja, um conjunto de serras, na escala de compartimentação do relevo. No entanto, este estudo segue a classificação de Saadi (1991), que o classifica enquanto parte dos Planaltos Marginais Elevados e Nazar (2020) que denomina a região como "Planalto do Diamante", mas optou-se por manter a nomenclatura "Canastra" neste trabalho devido ao reconhecimento da toponímia regional, o que facilita a identificação da feição.

Trata-se da subunidade mais elevada dentro da área de estudo, com altitudes variando entre 1.490 e 1.000 metros. O relevo é moldado por falhas e contatos litológicos, que separam as áreas de planalto das depressões topográficas (CODEMIG, 2015). Os escarpamentos do planalto são formados por quartzitos que cavalgam sobre o Grupo Bambuí. Esse contexto geológico e morfológico confere ao Planalto da Canastra um caráter distintivo dentro da área de estudo.

Figura 10. Localização do Planalto da Canastra com *overlay* evidenciando ICR e TWI.

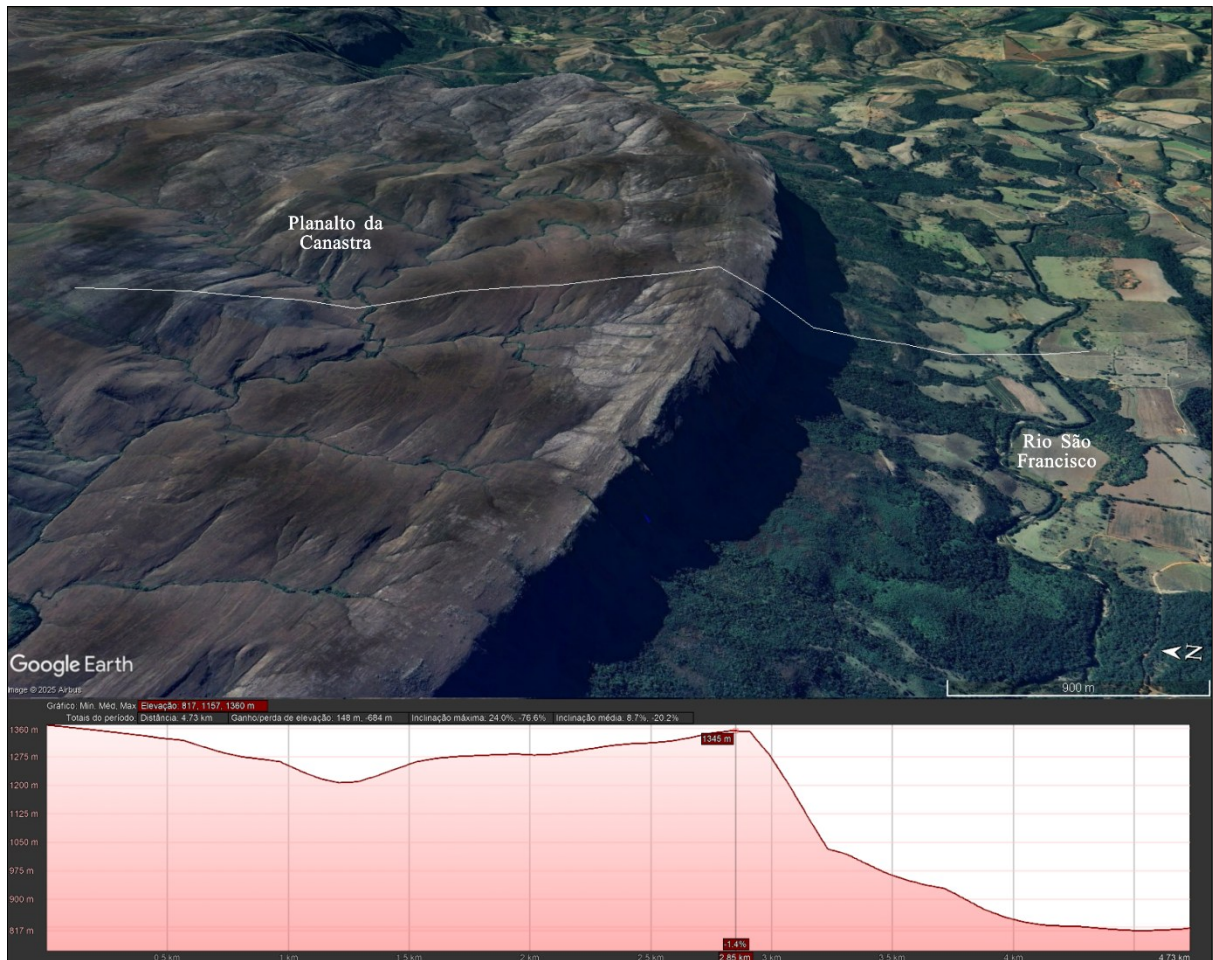


Fonte: A autora (2025).

O relevo do Planalto da Canastra é moderadamente dissecado, com áreas de topo que apresentam terreno pouco rugoso e uma densa rede de drenagem. Nas bordas do planalto, a declividade aumenta, formando escarpas que marcam a transição entre diferentes contextos morfoestruturais e morfoesculturais. Esse processo de dissecção e formação de escarpas é fundamental para a configuração do relevo regional, como pode ser observado no perfil topográfico detalhado na Figura 11.

Do ponto de vista hidrográfico, o Planalto da Canastra desempenha um papel relevante como divisor entre grandes bacias hidrográficas nacionais, como a do rio São Francisco e a do Paraná (Bacia do rio Grande). A região também constitui uma relevante área de recarga de águas subterrâneas. A litologia local influencia significativamente a configuração dos fluxos hídricos, impactando as dinâmicas de armazenamento e recarga, em consonância com as características hidrogeológicas da região (MMA, 2005).

Figura 11. Perfil topográfico ao longo das escarpas do Planalto da Canastra.



Fonte: A autora (2025).

Do ponto de vista hidrográfico, o Planalto da Canastra desempenha um papel relevante como divisor entre grandes bacias hidrográficas nacionais, como a do rio São Francisco e a do Paraná (Bacia do rio Grande). A região também constitui uma relevante área de recarga de águas subterrâneas. A litologia local influencia significativamente a configuração dos fluxos hídricos, impactando as dinâmicas de armazenamento e recarga, em consonância com as características hidrogeológicas da região (MMA, 2005).

A presença de campos de murundus, microformas de relevo caracterizadas por montículos, está associada a áreas de alagamento e flutuações no nível freático, permitindo o acúmulo de umidade nas áreas de topo da subunidade. Essa configuração hidrogeomorfológica é fundamental na evolução do relevo, pois as AUs tornam-se zonas preferenciais para a incisão da rede de drenagem, contribuindo para os processos morfogenéticos da região (Santos e Confessor, 2020; Vasconcelos *et al.*, 2013).

5.1.3.2 Serras da Canastra

As Serras da Canastra, estão inseridas nas áreas adjacentes ao Planalto da Canastra, são delimitadas por falhas que criam escarpas acentuadas, representando importantes elementos estruturais da paisagem (Souza e Rodrigues, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2015). A litologia predominante é composta por quartzitos do Grupo Canastra, localmente sobrepostos a filitos (CODEMIG, 2015). Essa configuração litoestrutural confere à região elevada resistência à erosão, resultando em formas topográficas proeminentes, como cristas e serras com declividades acentuadas.

O relevo apresenta forte dissecação, com vertentes íngremes e topos estreitos, caracterizando um padrão escarpado. Essas feições refletem tanto o controle estrutural quanto os processos erosivos atuantes, principalmente ao longo das fraturas e zonas de fraqueza litológica. O contraste entre os quartzitos resistentes e os filitos mais suscetíveis à erosão contribui para a formação de relevo escarpado, com vales encaixados e drenagens encachoeiradas.

A drenagem da região é controlada pelas estruturas geológicas e pelas características litológicas, resultando em rios encaixados com vales em "V" e desníveis abruptos (Couto Júnior *et al.*, 2010). As vertentes são propensas a processos de instabilidade, como movimentos de massa, especialmente onde há presença de filitos alterados. Essa morfologia acidentada é também influenciada pelo clima tropical úmido, que intensifica a atuação dos processos intempéricos e fluviais.

Na classificação geomorfológica, a área das Serras da Canastra é identificada por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) como parte do Sistema de Montanhas e Serras, corroborando sua morfologia escarpada e elevação significativa. Já a proposta do IBGE reconhece essas feições como compartimentos de serras. Este trabalho adota a nomenclatura "Serras da Canastra", devido à sua utilização frequente em estudos regionais e para a diferenciação com a área de ocorrência do Planalto da Canastra.

5.1.3.3 Serras de Piumhi

A subunidade faz parte do Domínio Alóctone Externo, e compõe o Sistema de Cavalcamento Ilicínea-Piumhi (Valeriano *et al.*, 1996). Segundo Schorscher *et al.* (1998), a subunidade é reconhecida como maciço de Piumhi, constituindo um remanescente da Faixa Brasília, compreendendo uma sequência metavulcano-sedimentar do tipo *geenstone belt* de

idade arqueana. Trata-se de um conjunto de escamas de empurrão deformadas em dobras abertas e em fácies xisto-verde (Folha Piumhi).

Martins também classifica a região como Serra de Piumhi, atribuindo a essa subunidade um modelado dissecado de topos aguçados. O IBGE (2009) caracteriza a área como um relevo característico de dissecação, com formas de topo convexo e tabular, resultantes de processos erosivos diferenciados, os quais são condicionados principalmente, pela susceptibilidade das diferentes litologias aos processos de denudação.

As altitudes dentro da subunidade variam entre 737 a 1305 metros. Por se situar numa posição altimétrica elevada, a Serra de Piumhi atua como um importante divisor hidrográfico entre as bacias dos rios São Francisco e Grande. No contexto hidrográfico da bacia do São Francisco, a subunidade abriga as nascentes do rio Piumhi e do ribeirão das Araras. A área apresenta elevados valores de rugosidade, e baixos valores de umidade, além de uma drenagem com densidade média a fraca.

A cobertura pedológica da Serra de Piumhi é composta principalmente por Cambissolos que recobrem quase toda a extensão da subunidade. Há, ainda, a presença de uma mancha de Neossolo Litólico a sudeste, onde concentram os maiores valores de altimétricos, em áreas associadas a solos rasos e com menor desenvolvimento pedogenético.

5.1.3.4 Serras da Saudade

Situada na porção oeste e sudoeste da área, a subunidade é representativa das Serras e Patamares do São Francisco (IBGE, 2009; 2019), e integra o Planalto do Alto São Francisco, sendo uma estrutura do tipo situada em rochas sedimentares, que são caracterizados por extensos topos planos com encostas abruptas (Rodrigues; Augustin; Nazar, 2023). Ademais, a área se encontra no contexto de transição com a Depressão do Alto São Francisco, e o relevo se apresenta na forma de serras, em sua maioria, com topos alinhados.

Para Lima, Uhlein, Britto (2007), o relevo da região constitui um domínio elevado de cristas interplanálticas. A posição altimétrica elevada está relacionada tanto ao substrato litológico quanto à influência da tectônica miocênica, responsável por um soerguimento estimado em cerca de 400m. A área está sob influência do Soerguimento do Alto Paranaíba.

Na Figura 12, observa-se o relevo típico da subunidade, com transição para os Patamares da Margem Esquerda do São Francisco, situados à direita da imagem. A rede de drenagem parece ter papel fundamental na evolução do relevo, atuando por meio da incisão fluvial e abertura dos vales.

Figura 12. Transição do domínio da Serra da Saudade (esquerda) para o domínio dos patamares (direita).



Fonte: A autora (2025).

As zonas de cisalhamento presentes nas litologias do Grupo Canastra e Araxá delimitam a mudança nos padrões morfológicos, diferenciando as Serras da Canastra da subunidade da Serra da Saudade, ainda que os primeiros ocupem apenas uma pequena porção desta última. De forma geral, o substrato é composto por siltitos da Formação Serra da Saudade, pertencente ao Grupo Bambuí, com predomínio de rochas areno-pelíticas e pelíticas, como siltitos, arenitos e pelitos verdes, estes últimos conhecidos como verdetes (CODEMIG, 2011). Quanto a cobertura pedológica, a subunidade é composta por neossolos litólicos, cambissolos e argissolos (SISEMA, 2018).

O compartimento apresenta altos valores de rugosidade, sendo a subunidade com maiores valores médios de rugosidade. A Serra da Saudade delimita a bacia do rio São Francisco com a bacia do rio Paranaíba, atuando como interflúvio local entre o Alto São Francisco e o rio Indaiá. Os altos valores de declividade favorecem o escoamento superficial, e a elevada densidade de drenagem está associada à presença das cabeceiras das bacias dos rios Bambuí, Jorge Grande, Porcos e Veados.

5.1.3.5 Serras Graníticas

A subunidade das Serras Graníticas integra o Planalto Centro-Sul Mineiro (IBGE, 2009; 2019), também denominado Planaltos do Alto São Francisco (Rodrigues; Augustin; Nazar,

2023). Trata-se de uma estrutura inserida no escudo cristalino, caracterizada por um relevo dissecado que dá origem à paisagem típica de mares de morro. A composição predominante inclui rochas do embasamento, com ocorrência pontual de pelitos do Grupo Bambuí na porção leste (CPRM, 2009).

As áreas associadas ao Complexo Divinópolis apresentam morros ondulados esculpidos sobre ortognaisses, gnaisses, migmatitos e granitóides, com diques máficos localizados esporadicamente. Segundo CETEC (1983), a gênese dessas formas de relevo está ligada às variações climáticas, que favoreceram o aprofundamento dos vales e a dissecção das superfícies, resultando em vertentes com geometrias côncavo-convexas e a formação de planícies fluviais associadas a rampas de colúvio. A região, dominada por afloramentos de rochas do embasamento cratônicos, configura um alto estrutural que se estende pela subunidade e compõe grande parte da bacia do rio Pará (Saadi, 1991).

Na Figura 13, é possível observar a transição entre as subunidades (delimitada pela linha roxa). À direita, predomina o relevo mais rugoso das Serras Graníticas, marcado por conjuntos de morros e colinas, bem como por vales frequentemente cobertos por maior vegetação. A imagem também evidencia atividades de silvicultura ao longo do domínio serrano, especialmente o cultivo de eucalipto. A área contrasta fortemente com a depressão adjacente que apresenta relevo suavemente ondulado a plano, na qual está situada a cidade de Lagoa da Prata, na porção sudoeste da imagem.

Figura 13. Transição das Serras Graníticas para a Depressão da Margem Direita do São Francisco.



Fonte: A autora (2025).

A subunidade também se destaca pela presença de diques máficos, notadamente os Enxames de Diques de Pará de Minas e Formiga (CPRM, 2009). Essas estruturas são corpos subverticais, com espessura variando de alguns centímetros a dezenas de metros, e orientação preferencial entre N40-60°W e N40-60°E. A maioria dos diques encontram-se intemperizados e recobertos por um espesso manto de alteração. Quando expostos, os afloramentos surgem sob a forma de blocos arredondados e, menos frequentemente, em drenagens.

No setor dominado pelas rochas siliciclásticas da Formação Serra de Santa Helena, o relevo é ondulado, com colinas de menor altitude e drenagem controlada por fraturas orientadas na direção NW-SE. A sudeste, ocorrem os calcipelitos da Formação Sete Lagoas, marcando a transição para a região cárstica de Arcos-Pains.

A cobertura pedológica da subunidade é dominada por Cambissolos e Latossolos, cujas características variam conforme os litotipos subjacentes (SISEMA, 2018). Os solos originados de rochas cristalinas apresentam coloração predominantemente rosada, podendo apresentar tonalidades amareladas. As manchas de solo avermelhado estão frequentemente associadas à presença dos diques máficos (CPRM, 2009).

A subunidade define o interflúvio entre a bacia do Alto São Francisco e a bacia do rio Pará, apresentando altitudes médias de 800 metros, atingindo mais de 1110 metros nas áreas de topo e aproximadamente 630 metros nos vales principais. Em comparação com outras subunidades serranas, apresenta baixos valores médios de rugosidade, sendo a menos acidentada entre elas. Apesar da alta densidade de drenagem, o potencial para acúmulo de umidade é reduzido, com valor médio de 0,22 para o TWI, resultado da configuração geométrica das vertentes e das características do substrato, que favorecem o escoamento superficial e inibem a acumulação de água.

Os principais afluentes da margem direita do rio São Francisco que têm suas nascentes na subunidade incluem os rios São Domingos, Santana, Jacaré, Capetinga e Picão. As estruturas geológicas exercem influência significativa na rede de drenagem, especialmente a presença dos diques máficos. Quando os cursos d'água atravessam esses diques, ocorrem rupturas de declive ao longo do perfil longitudinal. No entanto, essa relação nem sempre é direta, podendo a ruptura ocorrer a montante ou a jusante do dique. Esse padrão sugere que os diques desempenham um papel relevante na organização do relevo da subunidade, atuando como zonas mais resistentes ao intemperismo e como níveis de base locais para os canais fluviais.

Assim, a subunidade das Serras Graníticas evidencia uma configuração de relevo influenciada pelas variações litológicas, que controlam a morfologia, os padrões de drenagem e as características da cobertura pedológica. A presença dos diques máficos destaca-se na segmentação do relevo e na formação de rupturas de declive, reforçando a sua importância na organização da paisagem.

5.1.3.6 Patamares do Samburá

A subunidade dos Patamares do Samburá está situada entre as subunidades Planalto e Serras da Canastra e a área de ocorrência de depressões. Essa subunidade integra as rochas do Grupo Bambuí e as Coberturas Cenozoicas. A transição do Planalto da Canastra para esta subunidade é marcada por falhas de empurrão, que estabelecem o contato entre as rochas do Grupo Canastra e as do Grupo Bambuí. As rochas mais deformadas do Grupo Bambuí distribuem-se ao longo da subunidade, resultado da colisão da Faixa Brasília com o cráton do São Francisco, que levou ao empurrão das rochas quartzíticas sobre os pelitos e carbonatos (CODEMIG, 2011).

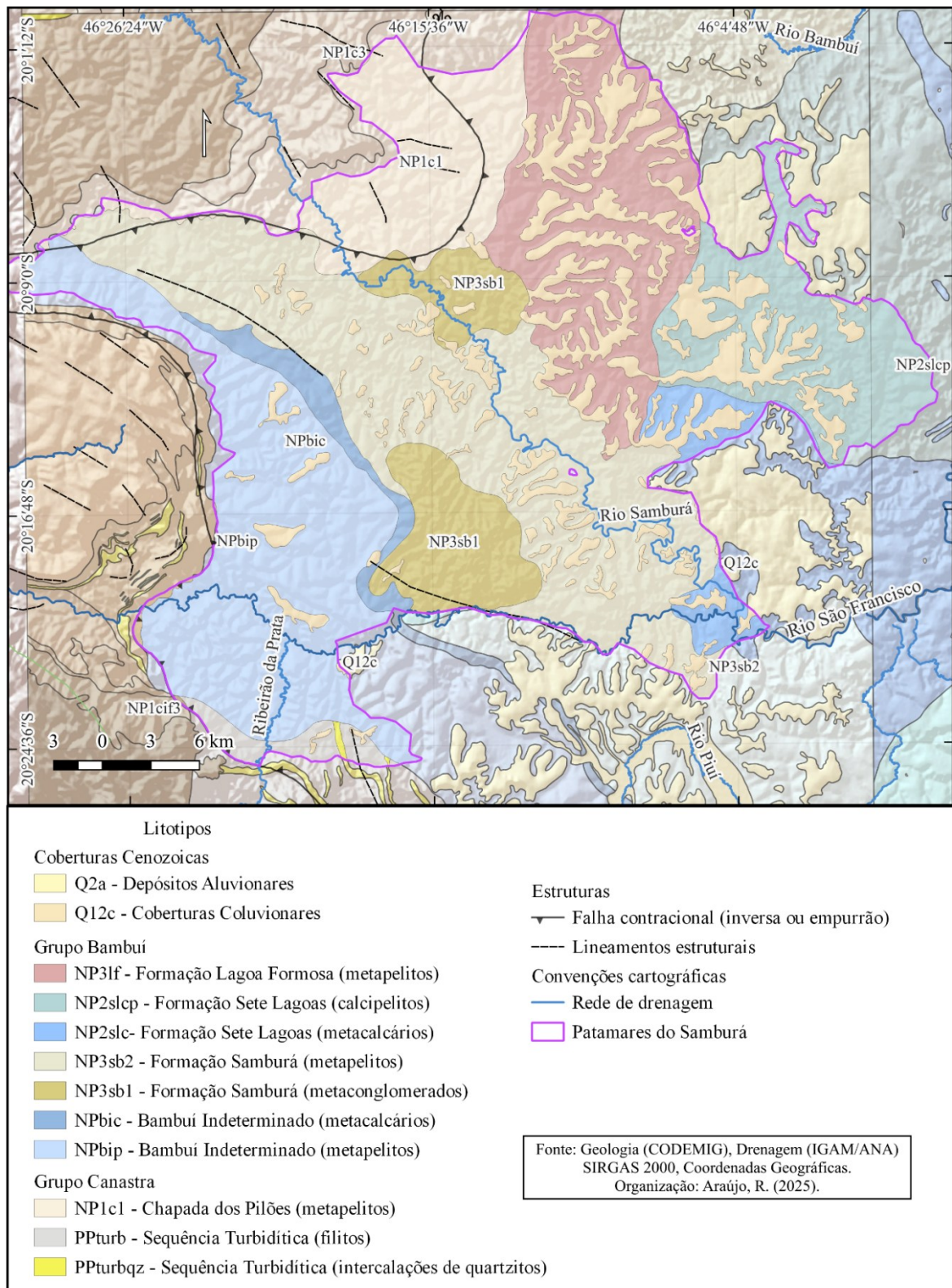
A subunidade é composta por pelitos, psefitos e carbonatos, apresentando altitudes que variam entre 1.100 m e 650 m, com média de 780 m. A região apresenta valores moderadamente altos de rugosidade (0,7), especialmente sobre as rochas psefíticas, enquanto as áreas mais suavizadas estão associadas aos domínios pelíticos. No geral, a subunidade apresenta alta densidade de drenagem, contrastando com um baixo potencial de acúmulo de umidade, cujos valores médios não ultrapassam 0,2.

O Grupo Bambuí está representado na subunidade pela unidade Bambuí Indeterminado, caracterizada pela presença de metapelitos (NPbip), predominantemente ardósias, e uma faixa de metacalcário (NPbic), que marca a transição para a Formação Samburá (Figura 14). Esta formação, por sua vez, é expressa por duas fácies distintas: uma metapelítica (NP3sb2), caracterizada pela ocorrência de ardósias intercaladas com metarenitos; e outra metapsefítica (NP3sb1), composta por rochas metassedimentares conglomeráticas (CODEMIG, 2015).

A configuração do relevo reflete a organização litológica. Relevos suaves predominam nas áreas de metapelitos, enquanto relevos mais movimentados ocorrem nas regiões com rochas conglomeráticas. A presença de pelitos favorece um relevo de colinas amplas com vales pouco encaixados, nas quais predomina um padrão dendrítico de drenagem. Os solos associados a esses domínios são espessos, compostos por material argiloso e avermelhado (SISEMA, 2018).

A faixa de afloramento dos metacalcários, composta principalmente por mármore, é propensa à dissolução química, originando um relevo cárstico pouco desenvolvido, onde se

Figura 14. Mapa detalhando o contexto litológico da subunidade Patamares do Samburá.



Fonte: A autora (2025).

destacam feições como dolinas e campos de lapiás (CODEMIG, 2015). Já no domínio dos metapelitos da Formação Samburá, o relevo assume a forma de colinas de topos angulosos,

com vales profundamente encaixados e alta densidade de drenagem. A subunidade também é marcada pela presença de diversos pontos com erosão avançada.

Os metaconglomerados ocorrem em áreas com morros de topo cônico a arredondado, feições que se destacam no relevo suave dos metapelitos. Nesses locais, a alta densidade de drenagem prevalece, e a rede hidrográfica tende a apresentar o padrão radial. As coberturas coluvionares (Q12c) estão associadas a áreas aplainadas nos topos dos morros, caracterizadas por relevo interno suave e baixa densidade de drenagem, atualmente sendo dissecadas pela rede de hidrográfica. Já os depósitos aluvionares restringem-se aos cursos d'água e possuem baixa representatividade dentro da subunidade.

Figura 15. Mudança nos padrões de relevo dentro da subunidade Patamares do Samburá.



Fonte: A autora (2025).

Devido à sua posição intermediária, a subunidade apresenta grande diversidade litológica e geomorfológica, integrando diferentes tipos de rochas e granulometrias, o que resulta em uma ampla variedade de formas de relevo. Essa diversidade marca a transição entre os domínios das serras e planaltos e a instalação das áreas de depressão do Alto São Francisco. A Figura 15 ilustra a diversidade de formas associadas à subunidade, com o relevo dos pelitos à esquerda e, à direita, a predominância dos conglomerados. O substrato pouco permeável contribui para a alta densidade de drenagem, destacando-se os principais cursos d'água: o rio Samburá, na margem esquerda do rio São Francisco, e o ribeirão da Prata, à direita.

5.1.3.7 Patamares da Margem Esquerda do São Francisco

A subunidade dos Patamares da Margem Esquerda do São Francisco (PMESF) está localizada no extremo oeste da Depressão do Alto São Francisco (IBGE, 2009; Rodrigues, Augustin e Nazar, 2023), representando uma transição entre as Serras da Saudade e a Depressão do São Francisco. Suas características geológicas e geomorfológicas refletem essa condição, sendo um elemento fundamental na compreensão da dinâmica da subunidade.

O PMESF apresenta orientação predominantemente sul-norte, ocupando a porção oeste da área de estudo. A distribuição litológica é heterogênea, refletindo sua posição de transição. Pequenas áreas de afloramento do Grupo Canastra ocorrem no extremo oeste, enquanto os metapelitos da Formação Lagoa Formosa predominam nas áreas mais próximas às Serras da Saudade (CODEMIG, 2015). No entanto, o principal componente do substrato da subunidade são os argilitos e siltitos da Formação Serra da Saudade.

Figura 16. Padrões de relevo associados à subunidade PMESF.



Fonte: A autora (2025).

A geomorfologia é caracterizada por cristas alinhadas nas proximidades do domínio serrano, com altitudes próximas a 1.110 metros e elevados índices de rugosidade. Nas demais áreas, predominam as formas de topo convexo, moldadas por intensos processos de dissecação do relevo, apresentando valores médios de rugosidade. A amplitude topográfica da subunidade é significativa, com pontos mais altos situados nas adjacências das Serras da Saudade e altitudes

em torno de 630 metros nas planícies do rio Bambuí. Os vales dos rios Bambuí, Jorge Grande e Veados, que atravessam a área, exibem uma topografia suavizada, com menor rugosidade.

A partir da Figura 16, é possível observar em detalhe a organização do relevo na subunidade. A noroeste, destaca-se a predominância das serras com topos alinhados, áreas que concentram as maiores declividades. Em direção sudeste, o relevo torna-se menos íngreme, predominando colinas de topo convexo com menores concentrações de rugosidade. O canal de drenagem que corta a imagem na porção sudoeste exemplifica o papel da rede de drenagem como um elemento contrastante na subunidade, favorecendo a formação de planícies associadas a baixos valores de rugosidade e alto potencial de acúmulo de umidade.

Assim, a subunidade PMESF se destaca pela alta densidade de drenagem, que juntamente com a morfologia dos vales, contribui para um elevado potencial de acúmulo de umidade, nessas áreas. Esses aspectos influenciam diretamente a distribuição da vegetação e dos aspectos pedológicos

A cobertura pedológica da subunidade é variada. Predominam os cambissolos, presentes em praticamente toda a área, com alta suscetibilidade à erosão. Nas áreas de influência das serras, ocorrem os neossolos litólicos. Pequenas manchas de Latossolos são encontradas na transição para as depressões adjacentes, evidenciando um maior desenvolvimento pedogenético. Nas áreas onde cambissolos e neossolos coincidem com zonas de elevada rugosidade, observa-se o desenvolvimento de processos erosivos (SISEMA, 2018).

Assim, a subunidade PMESF configura-se como importante zona de transição, destacando-se por sua complexidade geológica, geomorfológica e pedológica. A alta densidade de drenagem e a amplitude topográfica contribuem para a diversidade de formas de relevo e padrões de solos.

5.1.3.8 Planaltos Cársticos

Essa subunidade abrange áreas elevadas situadas no centro-oeste da região de estudo, próximas à Província Cárstica de Arcos–Pains–Doresópolis. Os planaltos cársticos se destacam pela presença expressiva de afloramentos de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, especialmente dolomitos e calcários da Formação Sete Lagoas. A região é classificada pelo IBGE (2009) como carste exumado ou em exumação, indicando que feições cársticas antigas foram retrabalhadas por processos erosivos e estruturais mais recentes.

O relevo é mais elevado e dissecado em comparação às depressões cársticas vizinhas, com altitudes entre 750 e 1.050 metros. As formas do terreno são marcadas por escarpas, colinas alongadas e campos de lapiás, resultantes da interação entre os processos de dissolução do

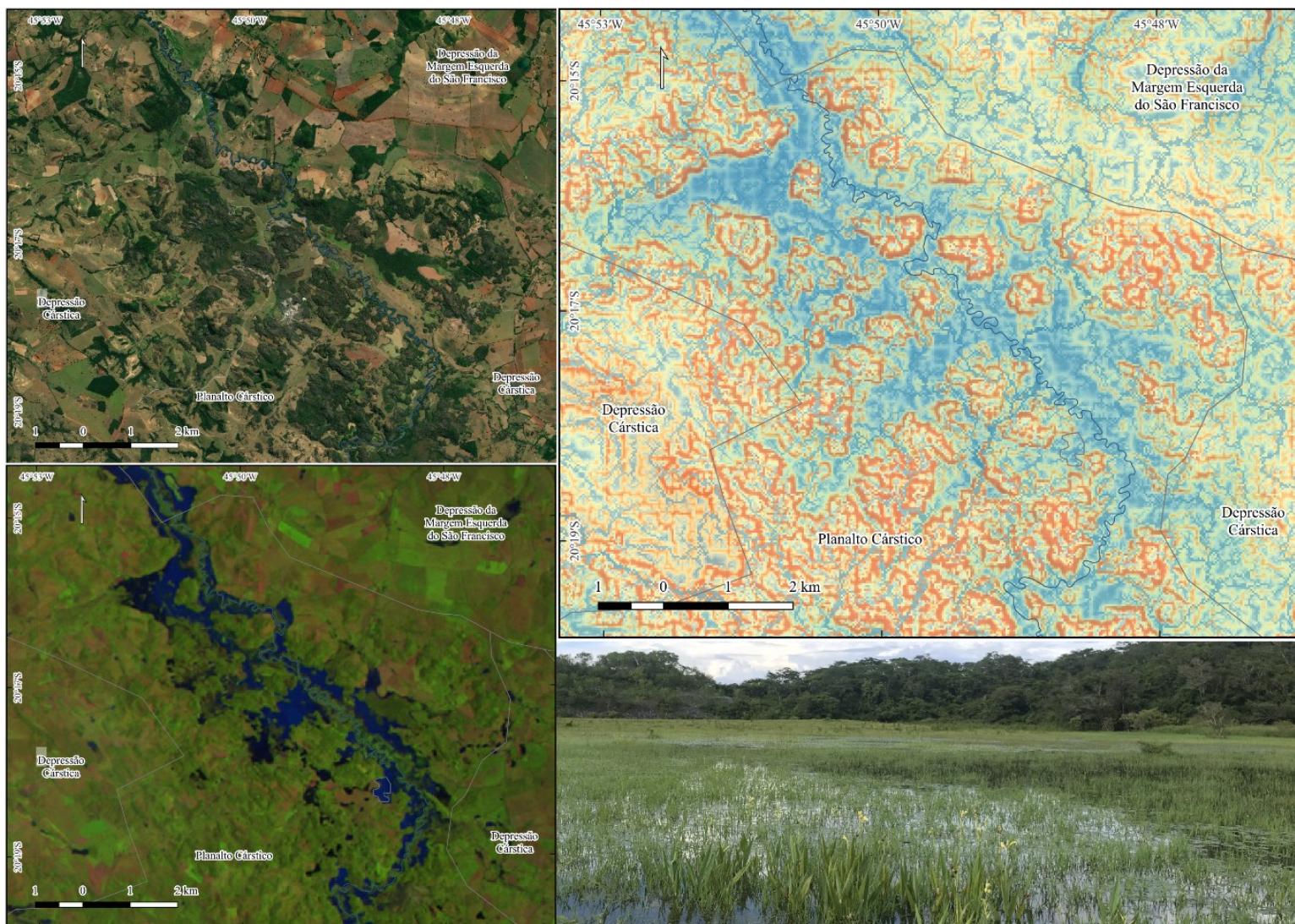
calcário e a estrutura geológica fraturada (Timo, 2014). A atuação de zonas de falhas com orientação predominante N50W (Martins e Rodrigues, 2016) favoreceu a infiltração da água e a intensificação dos processos de carstificação.

Embora o relevo seja mais acidentado, há também a presença de dolinas e depressões cársticas isoladas, que podem reter água temporariamente. No entanto, devido à elevada declividade e permeabilidade do substrato, os valores médios de TWI são baixos, em torno de 0,35, indicando um potencial reduzido para a formação de AUs contínuas. A rugosidade é mais elevada nas áreas com maior exposição de rochas e forte dissecação do relevo.

A drenagem apresenta padrões irregulares, com trechos intermitentes e perda de água por infiltração, características típicas de terrenos cársticos. São comuns os padrões retangulares e drenagens controladas por fraturas, com canais que desaparecem ou mudam de direção subitamente. Pequenas nascentes cársticas ocorrem nas altitudes mais elevadas, próximas a zonas de recarga.

Os planaltos cársticos expressam uma evolução geomorfológica de origem poligênica, marcada pela combinação entre carstificação, movimentação tectônica e variações climáticas ao longo do tempo. As condições tropicais úmidas atuais contribuem para a continuidade da dissolução das rochas carbonáticas, promovendo o aprofundamento de dolinas e a ampliação de condutos subterrâneos (Timo e Travassos, 2023; Auler & Smart, 2003).

Figura 17. Imagens evidenciando o contexto hidrogeomorfológico do vale do ribeirão dos Patos.



Fonte: A autora (2025).

5.1.3.9 Depressão Piumhi

A Depressão do rio Piumhi está inserida entre as unidades de Serras e Patamares, em transição com os Patamares do Samburá ao norte, o Planalto Cárstico a leste e as Serras da Canastra e de Piumhi ao sul. A subunidade apresenta um desnível altimétrico superior a 200 metros, com cotas próximas a 950 metros nas áreas de cabeceira, situadas junto às Serras da Canastra e de Piumhi, e altitudes em torno de 695 metros nos trechos baixos do Piumhi. Na planície do rio Piumhi, predominam altitudes médias em torno de 742 metros.

Litologicamente, a subunidade está assentada sobre as rochas do Grupo Bambuí, com a ocorrência dos metapelitos e matacalcários da Formação Samburá. Contudo, a área é amplamente recoberta por coberturas cenozoicas. As coberturas coluvionares, apresentam-se laterizadas, compostas por material argiloso com presença significativa de minerais resistentes ao intemperismo, distribuídas ao longo de encostas e topos suavemente ondulados (CODEMIG, 2015).

Do ponto de vista pedológico, quase toda a subunidade é recoberta por Latossolos Vermelhos, com ocorrência de cambissolos nas faixas marginais, onde se dão as transições para outras subunidades. Pequenas manchas de argissolos vermelho-amarelos são encontradas nas proximidades com as Serras da Canastra (SISEMA, 2018).

5.1.3.10 Depressão cárstica

A subunidade é marcada pela presença de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, inseridas em um contexto estrutural complexo, caracterizado por zonas de falhas e fraturas. Predominam as fácies da Formação Sete Lagoas, com destaque para os calcários, que compõem a maior parte da depressão e integram a Província Espeleológica de Arcos-Pains (CPRM, 2008). Nas proximidades do rio São Francisco e do baixo curso do ribeirão dos Patos, ocorrem também fácies de calcipelitos. A paisagem se diferencia pela presença de afloramentos expressivos nas áreas de calcário, em contraste com os domínios pelíticos, onde predominam relevos planos ou suavemente ondulados, recobertos por um espesso manto pedológico.

A morfogênese da região está intimamente associada à atividade neotectônica, especialmente às zonas de cisalhamento verticais e horizontais com orientação N50W, conforme descritas por (Martins e Rodrigues, 2016). Timo (2014) também destaca o papel das variações pluviométricas e paleoclimáticas na configuração geomorfológica atual. Trata-se, portanto, de um relevo de gênese poligênica, no qual a carstificação ocorreu concomitante à

movimentação de blocos tectônicos, resultando na formação de grábens quaternários na zona calcária de Arcos-Doresópolis, como descritos por Saadi (1991).

Com uma área aproximada de 450km², essa é a depressão com maior amplitude altimétrica dentro da área de estudo, variando de 628 a 924 metros, com média de 740 metros. Essa variação se reflete também nos índices de rugosidade: os afloramentos de calcário, que ocupam as porções mais elevadas, apresentam altos valores de rugosidade, enquanto as áreas planas adjacentes, registram valores mínimos em torno de 0,02. Apesar da baixa rugosidade, essas últimas áreas apresentam elevado potencial de acúmulo de umidade, com valores médios de 0,85.

Dentro da subunidade há alterações nos padrões de rugosidade, essas alterações de áreas mais declivosas estão associadas principalmente a área de afloramentos do substrato carbonático. Nas áreas onde o relevo se apresenta mais suave há a instalação de sistemas hidrogeomorfológicos diversos, como lagoas associadas a presença de dolinas.

Marcada pelos padrões irregulares de drenagem, com fortes índices de um controle estrutural da rede de drenagem, com a ocorrência de padrões retangulares. Situada em ambas as margens do rio São Francisco, as principais drenagem são o próprio São Francisco e o ribeirão dos Patos

A subunidade em análise evidencia um controle litoestrutural significativo, estando assentada sobre os calcipelitos da Formação Sete Lagoas. Nesse contexto, os processos de dissolução exercem um papel predominante na modelagem do relevo. A intensificação desses processos ocorre por meio de um sistema de retroalimentação, no qual o clima tropical quente, associado à ampla disponibilidade hídrica nos diversos sistemas hidrogeomorfológicos, favorece a dissolução das rochas carbonáticas, resultando na formação de feições típicas de ambientes cársticos (Timo e Travassos, 2023).

5.1.3.11 Depressão Bambuí

A Depressão do rio Bambuí corresponde a parte da Depressão do Alto São Francisco (IBGE, 2009; 2019), compartimentada devido às características distintas de rugosidade e topografia. A depressão ocupa uma área expressiva da bacia do rio Bambuí e se estende para sudoeste, incorporando parte da alta bacia do rio Ajudas; para o sul, incorporando toda a bacia do Córrego do Capoeirão; e para o norte, as cabeceiras da margem direita do ribeirão Jorge Grande. Sua área total é de aproximadamente 1.114 km², com altitudes variando entre 615 m nas proximidades do rio São Francisco e 840 m nas proximidades dos PMESF.

A subunidade também abrange ocorrências de lentes de calcário da Formação Sete Lagoas, em áreas onde predominam principalmente dolinas, além de calcipelitos laminados, especialmente na porção sul da depressão, ao longo da carta de Piumhi (CPRM, 2008).

Na porção norte da depressão predominam os argilitos e siltitos da Formação Serra da Saudade. A subunidade incorpora ainda uma lente de calcário situada mais ao norte, onde se observa uma grande área deprimida, na qual o Córrego da Charqueada se encontra com o Ribeirão do Bom Sucesso. Essa área deprimida, aqui denominada Depressão do Bom Sucesso, apresenta indícios de uma gênese também associada aos processos de carstificação do relevo. Do ponto de vista hidrogeomorfológico, é significativa para a ocorrência de processos de inundação e, conseqüentemente, para os fluxos de água e sedimentos.

Na área de ocorrência das coberturas, no extremo sudoeste da subunidade, o relevo é composto por topos planos, nos quais predominam dolinas, sendo essas áreas largamente utilizadas para agricultura. Nas bordas, em transição com os Patamares do Samburá, o relevo apresenta maior rugosidade, com as drenagens entalhando os vales e criando grandes desníveis na passagem das coberturas para os pelitos e metapelitos da Formação Lagoa Formosa, além dos metacalcipelitos da Formação Sete Lagoas.

Na porção que abrange parte da bacia do ribeirão Jorge Grande, o relevo é constituído por pelitos da Formação Serra da Saudade, com ocorrência de coberturas nas áreas de topo. Entretanto, o relevo não se apresenta tão suavizado quanto na porção sudoeste. A área é formada por colinas típicas associadas aos siltitos, com poucos afloramentos, os quais estão altamente intemperizados. O padrão de drenagem varia de dendrítico a subparalelo, sendo este último mais comum sob a influência das litoestruturas da Serra da Saudade. Os vales se caracterizam como áreas pantanosas, preenchidas por sedimentos.

O mesmo ocorre ao longo das drenagens situadas à direita do rio Bambuí. Vale destacar que a área de ocorrência dos pelitos apresenta encostas instabilizadas, com feições erosivas localizadas ao longo dos topos dessas colinas, expondo os Latossolos da região e, principalmente, nas áreas de ocorrência dos cambissolos.

A planície do rio Bambuí constitui uma feição importante dentro da depressão, estendendo-se ao longo de um vale quase retilíneo, que acompanha o eixo das zonas de falha. Ao longo dos vales inseridos na Depressão do rio Bambuí, é possível perceber uma correlação entre esses vales entulhados e brejosos e os eventos de inundação. Como são bem encaixados no relevo, estão situados em posição topográfica que favorece a proximidade com o nível freático e, conseqüentemente, o alagamento dessas áreas nos períodos de cheia e elevação do nível freático.

5.1.3.12 Depressão da margem direita do rio São Francisco

A área analisada apresenta aproximadamente 65 km de extensão no sentido norte-sul, estendendo-se paralelamente ao canal do rio São Francisco. Trata-se de uma depressão alongada, delimitada a leste pelas subunidades das Serras Graníticas, e a oeste pela Planície do rio São Francisco. A altimetria da subunidade varia entre 610 e 670 metros, sendo sua delimitação determinada principalmente por valores de ICR e TWI, que permitem diferenciar claramente essa área das subunidades adjacentes.

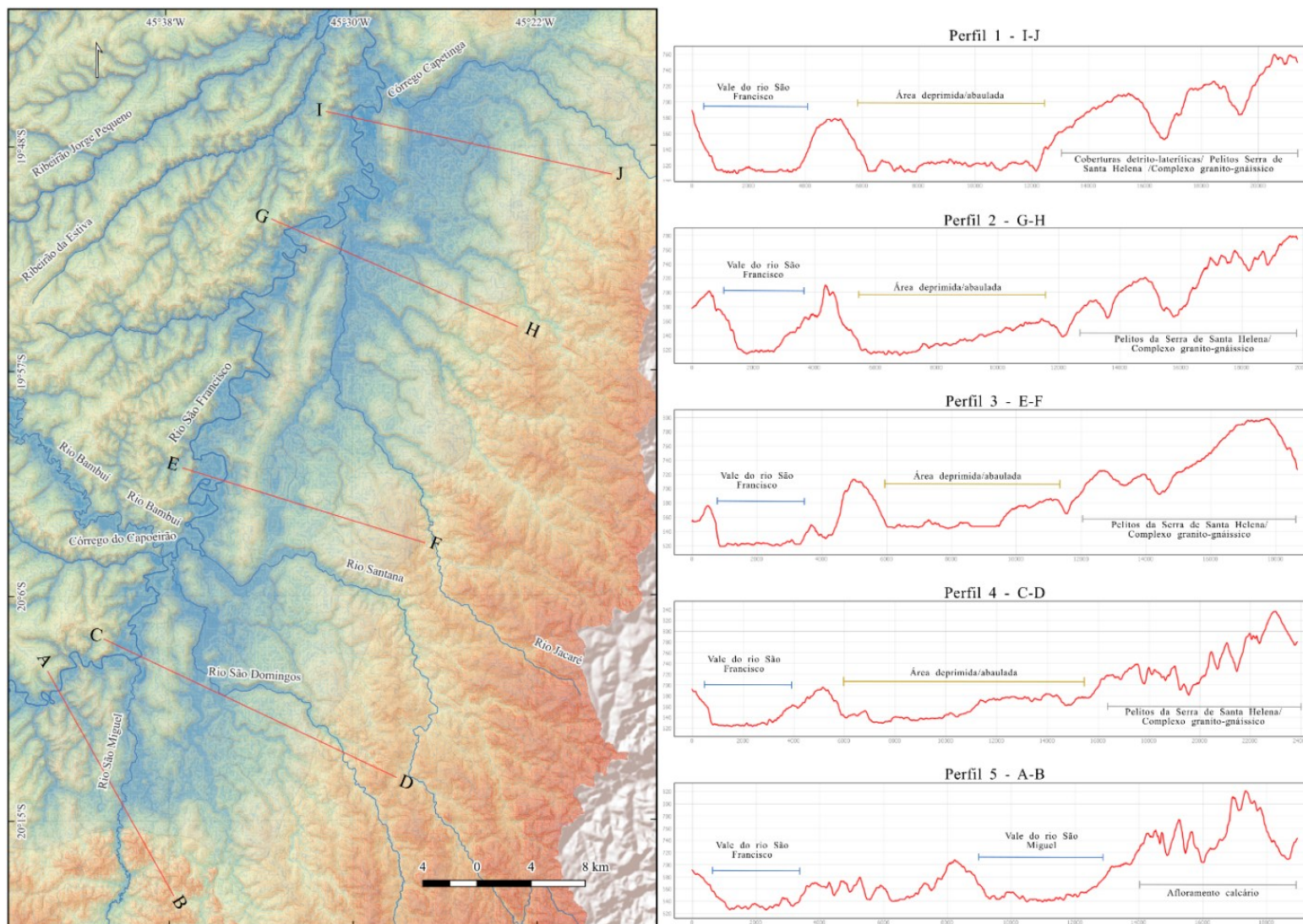
O substrato geológico é predominantemente pelítico-carbonático, recoberto por depósitos cenozoicos, conferindo à região um relevo de baixa rugosidade. O solo é composto, em sua maioria, por Latossolos e cambissolos, com destaque para o Neossolo Flúvico, que ocorre em associação com a planície do rio São Francisco. A distribuição da cobertura pedológica se configura num mosaico de Latossolos predominando nas áreas mais baixas, cambissolos ocupando as regiões intermediárias e mais elevadas (Kuchenbecker e Pedrosa-Soares, 2013).

Foram elaborados diversos perfis topográficos ao longo da depressão com o objetivo de compreender com maior precisão a compartimentação do relevo na área. Esses perfis permitiram identificar variações altimétricas e morfológicas importantes entre os diferentes setores da subunidade e estão ilustrados na Figura 18.

Os perfis topográficos foram analisados em sequência, de A-B a I-J, seguindo o curso a jusante do rio São Francisco. O perfil A-B marca a transição entre os patamares carbonáticos e a depressão, evidenciando o vale do rio São Francisco, cuja morfologia apresenta ondulações associadas às variações no perfil longitudinal do rio, na transição entre diferentes sequências pelítico-carbonáticas. Esse perfil também abrange o vale do rio São Miguel, caracterizado por uma ampla planície, enquanto as áreas de topo são sustentadas pelos afloramentos de calcários da Formação Sete Lagoas.

No perfil C-D, observa-se a expansão do vale do rio São Francisco e o surgimento de uma superfície abaulada na margem direita. As áreas de topo são sustentadas por pelitos da Formação Serra de Santa Helena e por rochas do embasamento. O canal do rio São Domingos está inserido em uma grande área deprimida, onde ocorrem diversas mudanças na orientação da drenagem dentro da depressão.

Figura 18. Perfis topográficos ilustrando o relevo da DMDSF.



Fonte: A autora (2025).

O perfil E-F, majoritariamente inserido na sub-bacia do rio Jacaré, evidencia a continuidade da ampliação do vale do rio São Francisco, que atinge aproximadamente 3,5 km de largura. A elevação também se acentua, chegando a 720 m. As vertentes inclinadas das regiões elevadas se destacam no perfil topográfico, enquanto as áreas de topo aplainado apresentam correlação com coberturas detrito-lateríticas e depósitos pelíticos.

No perfil G-H, observa-se a baixa da bacia do rio Jacaré, ilustrando a planície fluvial inserida na extensa área deprimida. Já no perfil I-J, a área atinge sua máxima extensão, com altitudes médias de 520 m. As áreas mais elevadas apresentam drenagens que esculpem sulcos nos perfis topográficos, incidindo sobre rochas granito-gnáissicas e pelíticas da Formação Serra de Santa Helena.

A análise dos perfis topográficos permitiu identificar feições geomorfológicas contínuas ao longo da subunidade, destacando-se uma extensa zona abaulada que margeia a leste o rio São Francisco, bem como a elevação paralela ao seu eixo principal do rio que marca o interflúvio com a bacia do rio Picão. Esse ressaltado topográfico estabelece a transição entre a planície fluvial e a depressão adjacente, atingindo altitudes máximas de 750 m. O desnível médio entre o topo da elevação e o piso da depressão é de aproximadamente 60 metros, chegando a 70 metros quando comparado à planície do rio São Francisco.

A depressão é caracterizada por depósitos cenozoicos de duas fácies distintas. A primeira corresponde aos depósitos aluvionares, compostos por sedimentos inconsolidados com granulometria variando de argila a cascalho, predominantes ao longo das planícies dos cursos d'água. A segunda fácies consiste em coberturas detrito-lateríticas, associadas a áreas aplainadas e amplamente distribuídas na depressão, representando sedimentos mais antigos vinculados a sistemas fluviais pretéritos. Além dessas coberturas, ocorrem afloramentos pontuais de pelitos da Formação Serra de Santa Helena e lentes calcárias associadas à Formação Lagoa do Jacaré.

Sobre o embasamento granitoide, a rede de drenagem apresenta um padrão dendrítico e alta densidade. No entanto, ao adentrar a subunidade da depressão, próximo à cota de 660 m (ou a uma distância superior a 15 km do rio São Francisco), a morfologia da drenagem torna-se mais alongada, com vales mais amplos e direcionamento predominante do fluxo no sentido noroeste-sudeste.

A dinâmica hidrogeomorfológica da região é evidenciada pela baixa densidade de drenagem da subunidade, em contraste com o alto potencial para acúmulo de umidade. Esse padrão sugere a predominância de processos ligados à circulação hídrica subsuperficial, à

atuação de processos fluvio-lacustres e ao transporte de sedimentos como mecanismos fundamentais para a evolução do relevo.

A organização espacial dos materiais e das formas de relevo indica um estágio de incisão da rede de drenagem, particularmente nas cabeceiras inseridas sobre rochas granito-gnáissicas aflorantes nas porções mais elevadas. O material erodido dessas áreas é transportado para jusante e se acumula na depressão, onde se observa a sobreposição de coberturas cenozoicas formadas em dois períodos distintos: uma fase pretérita, mais extensa, e uma fase recente, restrita às planícies ativas dos cursos d'água.

A extensa área topograficamente rebaixada e de baixa rugosidade apresenta um alto potencial para a ocorrência de diversos sistemas hidrogeomorfológicos. Quando há presença de lâmina d'água, observa-se que as bordas dessas feições apresentam maior declividade, sugerindo a existência tanto de sistemas rasos quanto de sistemas mais profundos e encaixados. O limite da subunidade com a planície do rio São Francisco é marcado pela transição entre o relevo suavemente ondulado da depressão e a planície fluvial adjacente.

Sob a perspectiva dos sistemas hidrogeomorfológicos, essa subunidade se destaca pela diversidade de tipologias, que podem estar associadas a cursos fluviais ou apresentar configuração isolada. Além disso, sua considerável extensão dentro do contexto do Alto São Francisco reforça sua relevância. A variabilidade de formas e dimensões desses sistemas levanta questões sobre os processos responsáveis por sua gênese e evolução, bem como sobre as dinâmicas ambientais que influenciam sua distribuição.

A origem e a evolução da depressão ainda requerem investigações adicionais. No entanto, os dados obtidos nesta pesquisa indicam uma possível relação entre essa feição e eventos de abatimento tectônico, potencialmente associados ao substrato carbonático e a ajustes morfotectônicos regionais, hipótese essa corroborada por padrões morfológicos compatíveis com reativação tectônica e subsidência diferenciada (Magalhães, 1989). Por fim, a depressão se destaca como uma feição atípica no contexto do ASF, diferenciando-se tanto pela morfologia dos vales quanto por sua extensão e conexão com o rio São Francisco.

A bacia do rio Picão é pertencente à subunidade DMDSF, porém é descrita de forma individualizada pelas características singulares que compõem a bacia. A bacia apresenta substrato litológico variado. Nas áreas de cabeceira, ocorrem rochas do complexo gnáissico-migmatítico e pelitos da Formação Serra de Santa Helena (CPRM, 2009). A Formação Serra da Saudade está presente ao norte, ao longo do médio e baixo curso do rio. As formações cenozóicas predominam na área, com depósitos aluvionares nas planícies dos afluentes e do próprio rio Picão. Coberturas laterizadas aparecem em áreas com drenagem rarefeita. Destaca-

se também a presença de calcários da Formação Lagoa do Jacaré nas proximidades do canal principal.

O relevo das áreas elevadas é caracterizado por colinas dissecadas, desenvolvidas sobre rochas granito-gnáissicas nas proximidades da cidade de Bom Despacho. A maior parte da bacia, no entanto, apresenta um relevo suavemente ondulado a plano, com altitudes variando entre 576 e 811 metros, predominando em torno de 604 metros. A área é marcada pela baixíssima rugosidade, com os menores valores de ICR da área analisada, com esses valores distribuídos principalmente ao longo do amplo vale do rio Picão.

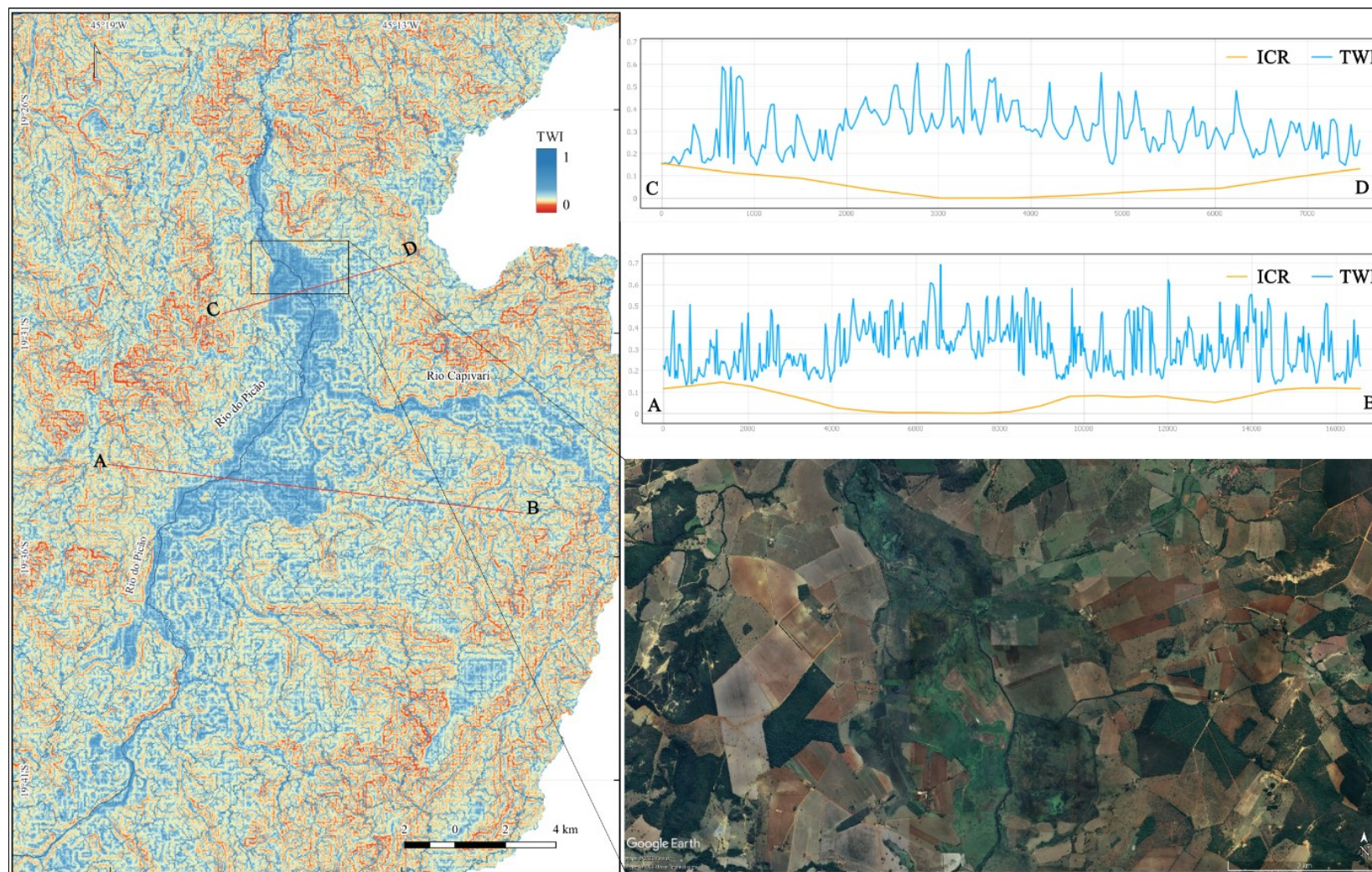
Em contrapartida, observa-se altos índices para o TWI, principalmente nos vales do rio Picão e do rio Capivarí (principal afluente), indicando áreas com maior concentração de umidade (Figura 19). A combinação de um terreno com baixa rugosidade e alto potencial para acúmulo de umidade aponta para um alto potencial de ocorrência de sistemas hidrogeomorfológicos diversos.

A bacia do Rio Picão apresenta padrão de drenagem predominantemente dendrítico nas áreas de cabeceira, com diminuição da densidade de drenagem à medida que se adentra na bacia. Nessa região, os canais tornam-se mais alongados, o que indica uma alteração no padrão de drenagem. Esse padrão é semelhante ao observado na intersecção entre a DMDSF e as Serras de Bom Despacho. O Rio Picão, afluente do Rio Pará, tem sua nascente localizada em um baixo divisor topográfico, com características hidromórficas marcantes.

A bacia do rio Picão se distingue de outras bacias pela sua inserção na bacia do Rio Pará. A geometria do vale, a organização da rede de drenagem e as características geológicas indicam uma possível origem tectônica, sugerindo um processo de abatimento tectônico. Essa configuração está também associada à conectividade hidrogeomorfológica com o Vale do Rio São Francisco, sugerindo uma interdependência entre as bacias.

A região apresenta solos de alta fertilidade caracterizados pelo alto teor de argila, predominando latossolos e argissolos ao longo da depressão, com cambissolos na área de transição para as Serras Graníticas a nordeste (SISEMA, 2018). A vegetação predominante é de cerrado secundário bastante fragmentado, com áreas hidromórficas no vale, especialmente nas margens do Rio Picão, onde se observa um canal de drenagem frequentemente indefinido em áreas de baixíssima declividade.

Figura 19. Mosaico evidenciando as características de rugosidade e umidade na bacia do rio Picão.



Fonte: A autora (2025).

Em termos de uso do solo, a bacia é marcada pela presença de monoculturas, principalmente associadas à irrigação por pivôs centrais. A monocultura e a irrigação intensiva na bacia do Rio Picão são questões ambientais centrais, uma vez que a região é a que mais concentra pivôs centrais para irrigação. Isso levanta preocupações sobre o uso insustentável dos recursos hídricos e os impactos sobre os sistemas bióticos e abióticos. Relatos de redução nos níveis de água indicam a necessidade urgente de ações para a conservação do sistema hídrico, com foco na recuperação ambiental e na preservação dos recursos naturais (Silva, 2016; Wild e Queirogas, [s.d.]).

Assim como observado na em toda a DMDSF, a bacia do rio Picão destaca-se pela apresenta uma geologia, geomorfologia e dinâmica hidrográfica complexas, que refletem interações entre processos tectônicos, características do relevo e a drenagem fluvial. O uso intensivo do solo, especialmente pela monocultura e irrigação, impõe desafios para a sustentabilidade hídrica e a conservação ambiental da bacia.

A bacia do rio do Picão ajuda a exemplificar a relação existente entre as áreas de baixa rugosidade e com potencial de acúmulo de umidade como principais fatores para a configuração hidrogeomorfológicas das depressões do Alto São Francisco. Dessa forma, é possível apontar uma gênese relacionada à aos processos de dissolução e agradação com a predominância dos processos hidrogeomorfológicos atuando sobre os materiais cársticos e pelíticos, dando origem a um relevo suave que preenche o piso das depressões e colinas suaves nas áreas de transição para outras subunidades.

5.1.3.13 Planícies e Terraços

A subunidade integra as principais áreas de ocorrência de coberturas cenozoicas do tipo depósitos fluviais, também referidos como depósitos aluvionares (CODEMIG, 2011; 2015) ou aluviões (Minas Gerais, 1999), sendo os materiais mais recentes dentro da correlação estratigráfica. São compostos por sedimentos inconsolidados, como depósitos de argila, silte, areia e, localmente, cascalho, de coloração predominantemente esbranquiçada, tendendo ao bege e ao amarelo. Esses depósitos resultam do retrabalhamento de coberturas mais antigas, redistribuídos em terraços e planícies (CPRM, 2009).

Os depósitos aluvionares ocorrem com frequência nas áreas deprimidas, localizando-se nas margens e planícies das principais drenagens. Na área de estudo, estão concentrados principalmente em duas regiões: a primeira corresponde ao centro da depressão ocupada pelo São Francisco e seus principais afluentes, onde se identificam manchas de sedimentos fluviais neo-cenozoicos (Saadi, 1991). Esses depósitos característicos da subunidade distribuem-se ao

longo dos rios São Miguel, São Domingos, Santana, Jacaré, e Capetinga, situados na margem direita do São Francisco, além do rio Bambuí, à esquerda. Importante destacar que esta subunidade contempla apenas os sedimentos dos afluentes, visto que a planície do rio São Francisco foi delimitada como uma subunidade à parte.

A segunda região de ocorrência situa-se na porção sul da área de estudo, inserida na bacia do rio Piumhi, onde há uma extensa mancha de sedimentos fluviais recobrimo a região. Essa área abriga também uma expressiva quantidade de sedimentos inconsolidados de idade cenozoica. A origem desses sedimentos já foi discutida por Rezende, Salgado e Castro (2018), sendo associada à reativação tectônica, dada a magnitude do aporte sedimentar em uma bacia de dimensões reduzidas.

Segundo o IBGE (2009), trata-se de uma unidade com modelados de acumulação do tipo fluvial, apresentando formas típicas de planícies e terraços aluviais. Também é considerada uma planície aluvial de acordo com o mapeamento geomorfológico do estado. Geomorfologicamente, a subunidade é marcada pela baixa rugosidade, com valores médios de 0,12, atingindo máximos de 0,46 nas transições com as Serras da Canastra e de Piumhi.

Segundo a CODEMIG, a área representa um antigo terreno alagadiço, conhecido como “Pantanal do Piumhi”. Na década de 60, ao longo da construção do reservatório hidroelétrico de Furnas houve a transposição do rio Piumhi, antes pertencente ao rio Grande, para a bacia do rio São Francisco, a partir da conexão com o ribeirão Sujo e as características de pantanal foram alteradas após a transposição (Moreira Filho; Buckup, 2005).

A transposição foi facilitada pela presença de um divisor hidrográfico de baixa altitude entre as bacias dos rios Grande e São Francisco, o que sugere a existência de uma antiga conexão natural entre esses cursos d’água. O rio Piumhi apresenta uma inflexão de 90° em seu trajeto, e sua planície aluvial é desproporcionalmente ampla em relação ao canal atual, o que sugere uma gênese tectônica para o vale. Essas características acentuam o potencial de acúmulo de umidade dentro da subunidade

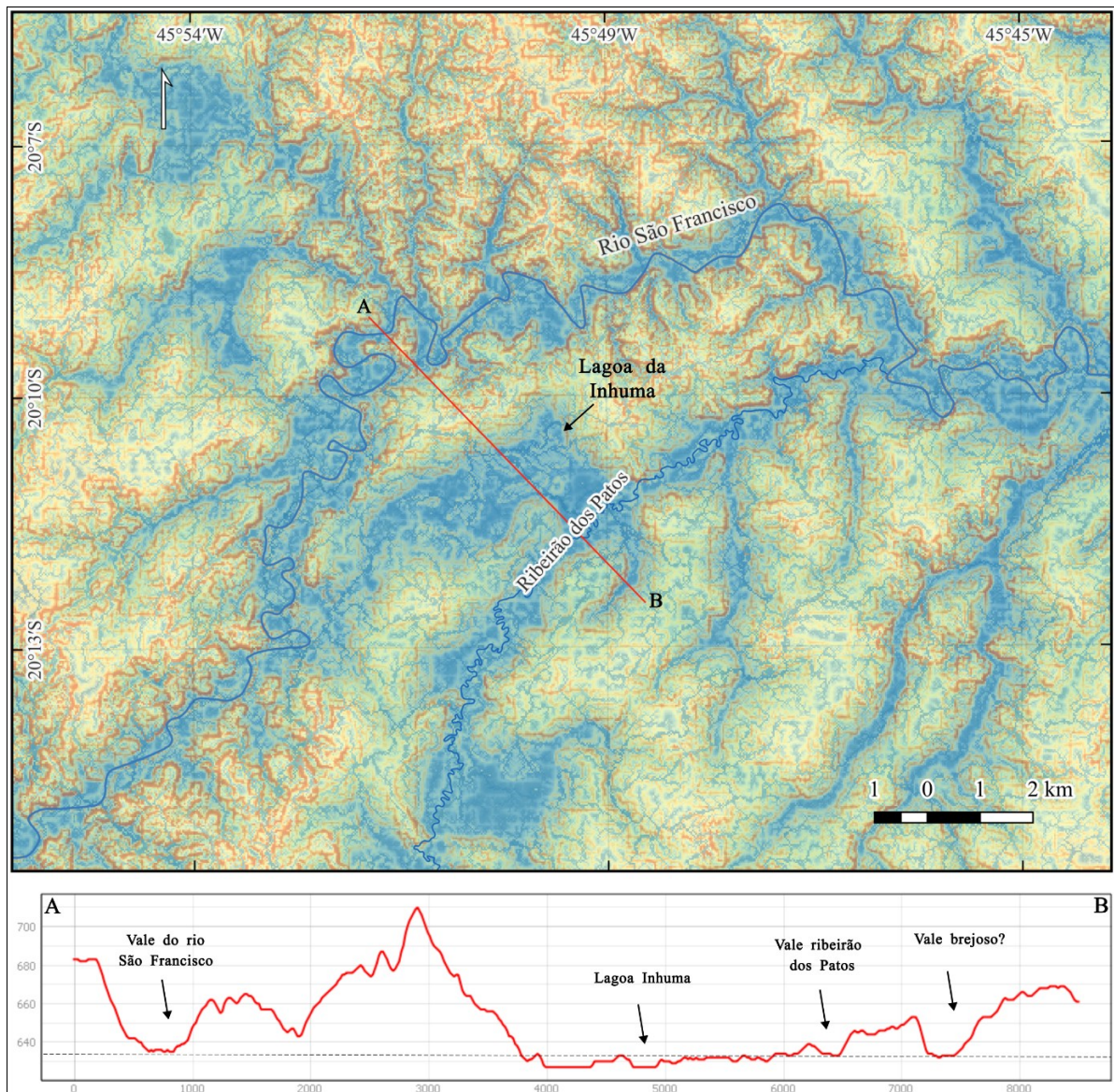
A planície do Rio Piumhi configura-se como uma paisagem distinta dentro do contexto meridional do interflúvio do Alto São Francisco. Sua gênese está associada a processos morfotectônicos, o que reforça o caráter poligenético do relevo regional, além da importância dos processos hidrogeomorfológicos na configuração do relevo e da rede de drenagem local.

As planícies e terraços dos rios Santana e São Domingos compartilham diversas características. Suas cabeceiras estão inseridas em áreas de embasamento cristalino, de onde provém a maior parte do sedimento arenoso, composto principalmente por grãos de quartzo originados de rochas do tipo TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito) (CPRM, 2009). As

drenagens apresentam forte controle estrutural, com inflexões influenciadas por zonas de cisalhamento que atravessam a subunidade. Em contraste, os depósitos associados ao rio São Miguel têm como principais fontes de sedimentos os calcários e pelitos do Grupo Bambuí.

As áreas cobertas por esses depósitos são reconhecidas pelo mapeamento do estado como planícies aluviais, caracterizadas por relevo plano a levemente ondulado, baixa altitude relativa e estreita ligação com a dinâmica fluvial (Rodrigues, Augustin e Nazar, 2023). As feições predominantes desta subunidade têm em comum: o substrato marcado pelo expressivo aporte de sedimentos, a relação direta com processos fluviais recentes e a capacidade de retenção de umidade, especialmente durante períodos de cheia, que favorece a formação de vastas áreas alagadas.

Figura 20. Mosaico ilustrando a relação do rio São Francisco com as Planícies e Terraços.



Fonte: A autora (2025).

Entre os depósitos mais notáveis, destaca-se aquele localizado próximo ao rio São Francisco, nas imediações da cidade de Iguatama, ilustrado na Figura 20. Nessa região, observa-se o rio São Francisco inserido na subunidade geomorfológica da planície homônima e, adjacente a ela, a subunidade de Planícies e Terraços, representada localmente pela Lagoa da Inhuma e seus arredores. Ao longo desse segmento, o vale do rio São Francisco apresenta largura inferior a um quilômetro. O trecho ilustrado mostra o rio com inflexão em direção noroeste, e ao longo do seu eixo axial destaca-se a da Lagoa da Inhuma, cuja extensão supera a do próprio São Francisco. Topograficamente, tanto a lagoa quanto a foz do ribeirão dos Patos encontram-se rebaixadas em relação ao nível do rio, que atua como o nível de base regional.

Essa feição ilustra a relevância do rio São Francisco não apenas na conformação da planície de inundação, mas também como agente condicionador da morfologia das planícies e terraços de seus afluentes. Os processos hidrogeomorfológicos associados, especialmente os pulsos de inundação, estabelecem uma conexão hidrossedimentológica entre o São Francisco e as planícies e terraços de seus tributários.

5.1.3.14 Planície do rio São Francisco

A delimitação da subunidade foi baseada na mancha de inundação registrada em 8 de janeiro de 1997, um dos eventos de cheia mais significativos das últimas décadas (Aarão *et al.*, 2020), permitindo a diferenciação entre a planície fluvial atual e outras formas de relevo, como terraços e áreas deprimidas adjacente à planície.

O substrato é majoritariamente composto por coberturas cenozóicas, referidas como depósitos aluvionares ou aluviões, que se acumulam em ambientes fluviais ou fluviolacustres. Esses depósitos, incluem cascalhos, areias e siltes e argilas. Apesar do predomínio dos sedimentos inconsolidados, ocorrem, pontualmente, afloramentos de carbonatos ao longo do canal do rio e em setores próximos.

O relevo da planície caracteriza-se por superfícies aplainadas, interrompidas ocasionalmente por suaves elevações associadas a siltitos e argilitos altamente intemperizados (Araújo, Oliveira e Veloso, 2022). O substrato da área aplainada apresenta forte adaptação às condições de umidade. Observações em campo evidenciaram uma transição pedológica entre os latossolos argilosos nos topos das vertentes, cambissolos em porções intermediárias e baixas, juntamente com a ocorrência de gleissolos nas áreas mais baixas e frequentemente inundadas. Esses últimos apresentam coloração acinzentada, com indícios de hidromorfismo e, por vezes, presença de matéria orgânica associada com material argiloso.

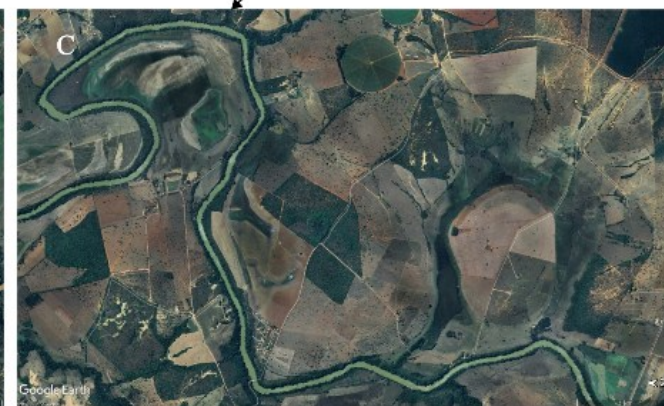
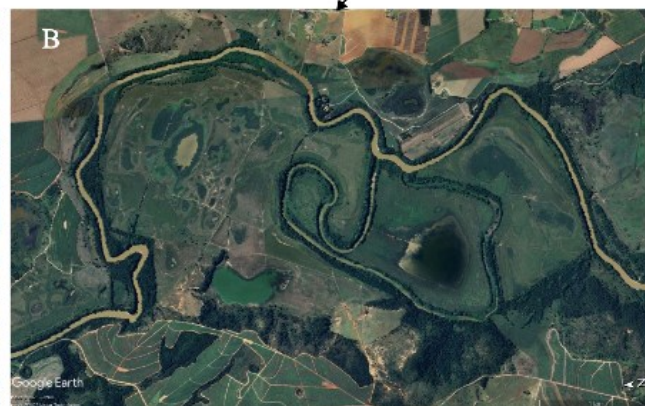
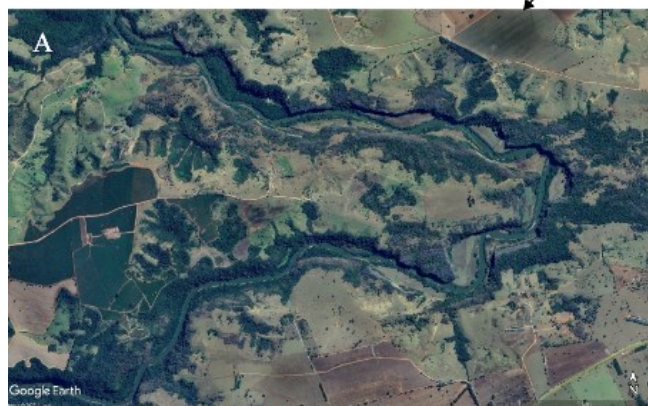
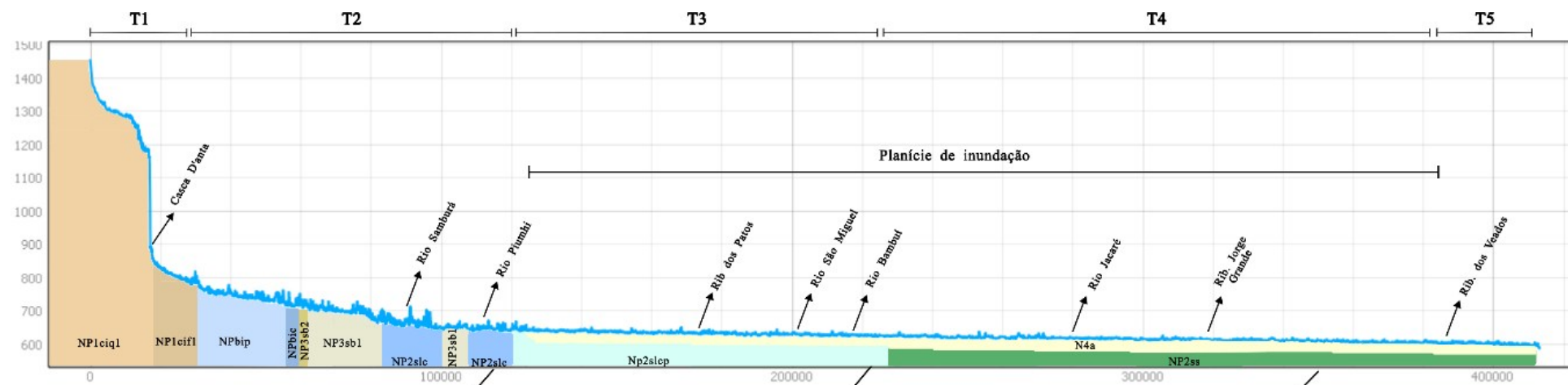
A subunidade situa-se entre as cotas altimétricas de 593 e 695 metros de altitude, com um desnível de 102 metros, sendo que a maior parte da área se encontra em torno de 610 metros. Apresenta baixíssimos valores de rugosidade (0,08). Em contrapartida, os valores de TWI são elevados (atingindo até 0,95), coincidindo com as áreas de meandros abandonados, lagoas marginais, e outras formas planas típicas da planície.

Destaca-se, nesse contexto, o dique marginal do rio como uma feição geomorfológica relevante, separando o canal principal da planície de inundação. Embora tal diferenciação não tenha sido formalmente mapeada, a presença do dique está associada aos altos valores de rugosidade e baixos valores de retenção de umidade observados localmente. A dinâmica sedimentar da subunidade é marcada predominantemente por processos de agradiação, nos quais sedimentos transportados pela drenagem principal são depositados na planície. Esses processos são fundamentais para a morfogênese da planície e a estruturação dos sistemas hidrogeomorfológicos locais.

Também foi traçado o perfil longitudinal do rio São Francisco de modo a compreender a distribuição da planície de inundação ao longo do alto curso do rio (Figura 21). Ao longo do trecho analisado, o perfil apresenta altitudes variando entre 1.453 metros, na nascente, e 558 metros nos trechos mais à jusante. O segmento inicial (T1) localiza-se sobre as rochas do Grupo Canastra, inserido na subunidade Planalto da Canastra. A drenagem nesse setor é predominantemente voltada para o sul, e ao longo do planalto apresenta desnível de até 110 metros. As escarpas que marcam a borda do planalto geram um acentuado desnível topográfico superior a 250 metros, evidenciado localmente pela Cachoeira Casca D'Anta, que marca a transição litológica entre os quartzitos, mais resistentes, e os filitos, mais susceptíveis ao intemperismo (Bento e Rodrigues, 2019).

No segmento T2, ao atingir os terrenos do Grupo Bambuí, a drenagem passa a ter direção predominante para oeste ao longo da subunidade dos Patamares do Samburá. O canal torna-se encaixado e pouco meandrante, com paredões nas bordas formando cânions ou vertentes declivosas, sem a presença de grandes planícies (Figura 21a). O trecho ao longo da Formação Samburá é marcado pela maior rugosidade, especialmente nos pontos onde afloram os metaconglomerados (NP3sb2) e metacalcários (NP3sb1). A ruptura de declive marcada pela falha de empurrão assinala a transição para os metacalcários da Formação Sete Lagoas.

Figura 21. Perfil longitudinal do rio São Francisco.



Fonte: A autora (2025).

A planície de inundação do Rio São Francisco se desenvolve ao longo dos trechos T3 e T4, predominantemente sobre coberturas cenozoicas depositadas sobre pelitos e carbonatos do Grupo Bambuí. O primeiro trecho marca o início da ocorrência da planície de inundação próximo às províncias carbonáticas representadas localmente pelos calcipelitos laminados da Formação Sete Lagoas (NP2slcp). Inicialmente discreta, a presença da planície de inundação representa uma importante ruptura geomorfológica entre o trecho anterior e a área onde a planície se estabelece.

Ao longo da planície de inundação, importantes rios têm suas desembocaduras no Rio São Francisco, como os rios Bambuí, São Miguel Jacaré e ribeirões como Patos, Santana, São Domingos, Jorge Grande e Veados. A presença da foz desses canais auxilia na expansão das áreas alagáveis durante os períodos de inundação, permitindo uma conexão mais direta dos canais com o Rio São Francisco.

A planície de inundação atinge sua máxima extensão ao adentrar os terrenos pelítico-carbonáticos do Subgrupo Paraopeba. Nesse trecho, a morfologia do canal se torna mais meandrante, formando vastas áreas aplainadas e inundáveis, que originam um complexo de lagoas temporárias e efêmeras após eventos de inundação.

Por fim, o trecho final (T5) marca o fim da planície de inundação do Rio São Francisco, tornando-se novamente discreta sem mudanças abruptas de declividade no canal.

A análise da delimitação da subunidade, fundamentada em registros de eventos de cheia significativos, permitiu distinguir a planície fluvial atual de outras formas de relevo adjacentes, como terraços e áreas deprimidas, evidenciando a atuação de uma dinâmica deposicional ativa na região. Essa dinâmica influencia diretamente a morfologia do canal e a formação de feições associadas, como meandros abandonados, lagoas marginais e diques naturais, que se destacam como elementos-chave para a compreensão da evolução morfológica da planície.

O perfil longitudinal do rio São Francisco revelou variações significativas na rugosidade do relevo e na orientação da drenagem ao longo do percurso, refletindo a influência direta do substrato litoestratigráfico sobre a organização e o comportamento da paisagem fluvial.

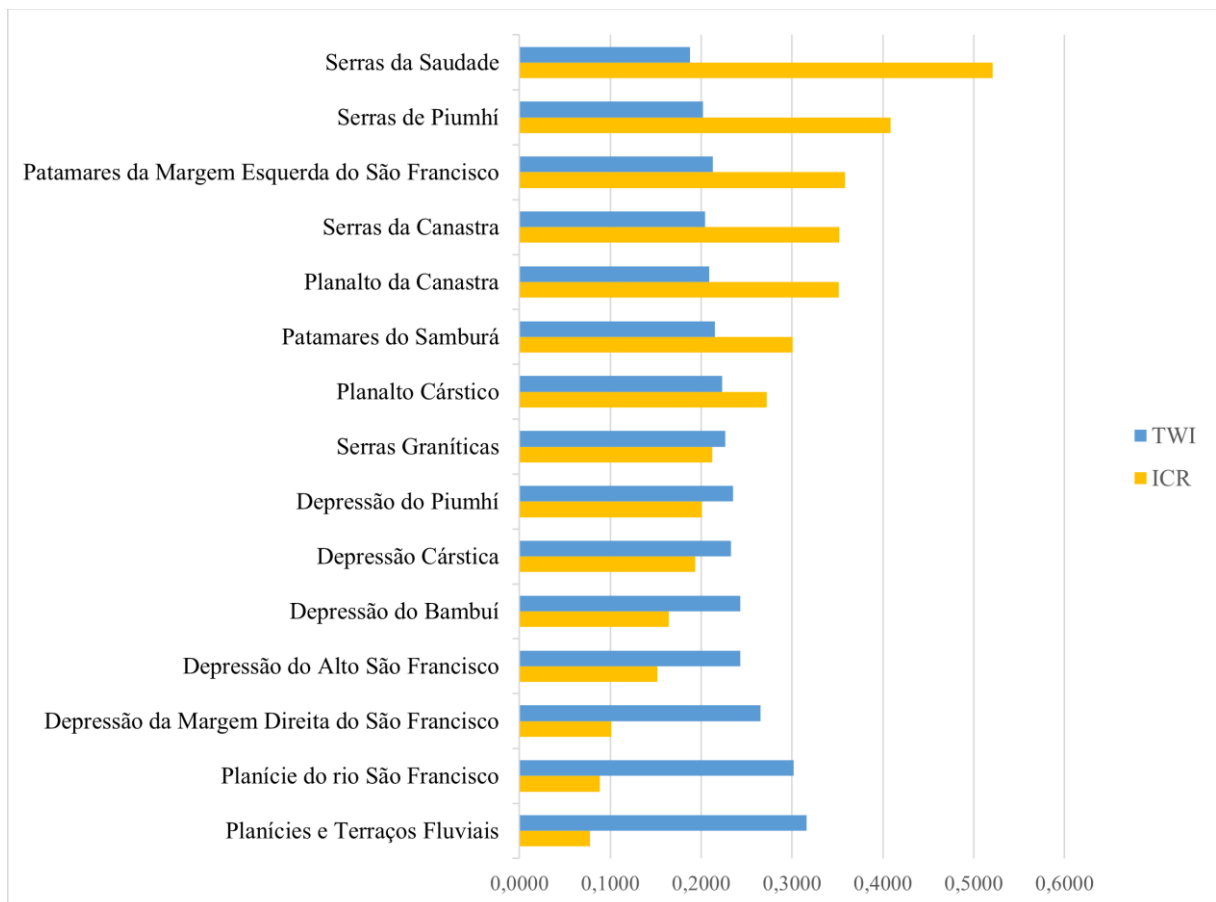
5.1.4 Resumo estatístico dos dados

A análise estatística dos dados obtidos a partir dos índices utilizados no mapeamento geomorfológico evidenciou uma correlação negativa entre os valores de rugosidade (ICR) e umidade (TWI) nas subunidades analisadas. Em geral, quanto maior a rugosidade média de uma subunidade, menores tendem a ser seus valores médios de umidade, o que reflete uma relação inversa entre relevo acidentado e acúmulo de água.

O Gráfico 1 ilustra os valores médios de ICR (representados em amarelo) e TWI (representados em azul) para cada subunidade geomorfológica. Nota-se que as subunidades serranas, planálticas e os patamares se destacam por apresentar elevada rugosidade e baixos valores de umidade. Por outro lado, as subunidades de planícies e depressões revelam um comportamento oposto, com baixa rugosidade e altos valores de TWI, consistentes com suas condições morfológicas mais planas e propensas à retenção de água.

Entretanto, essa correlação não se aplica em toda a área analisada. Algumas subunidades intermediárias, como o Planalto Cárstico, as Serras Graníticas e as Depressões Cárstica e de Piumhi, apresentam valores médios de ICR e TWI mais equilibrados. No caso das subunidades inseridas em contexto carbonático, proximidade entre valores médios de umidade e rugosidade é uma característica da própria subunidade, que se configura num mosaico de áreas de carste encoberto, com alta capacidade de acúmulo de umidade intercalas por afloramentos que aumentam localmente a rugosidade.

Gráfico 1. Relação entre os valores de ICR e TWI para as subunidades.



Fonte: Araújo (2025).

Nas Serras Graníticas, os valores de umidade se concentram especialmente nos vales e nas transições para unidades adjacentes, enquanto a rugosidade é atenuada nas áreas com afloramento de pelitos. Já a Depressão de Piumhi, apesar de apresentar certa elevação altimétrica, recebe influência direta da Serra de Piumhi, o que confere à unidade uma maior rugosidade, e seus valores de TWI são elevados em função da área de influência da planície do rio Piumhi, também conhecida como pantanal do rio Piumhi.

As relações entre rugosidade e umidade, embora evidentes em muitas subunidades, não se mostram lineares ou diretas. Áreas com maior rugosidade tendem, de fato, a apresentar menor retenção de umidade devido à acentuada declividade, menor cobertura pedológica e vegetal, além de maior exposição às perdas por evaporação. Contudo, fatores como geologia, vegetação, posição altimétrica, e dinâmica climática introduzem variações significativas, torando essa relação complexa.

Foi possível identificar também uma correlação negativa entre TWI e altitude, corroborando a tendência de que áreas mais elevadas tendem a ser mais secas. Ainda assim, algumas subunidades, como o Planalto da Canastra, destoam dessa tendência ao apresentarem simultaneamente altos valores de rugosidade, altitude e umidade, reforçando a complexidade das interações entre forma do relevo e dinâmica hidrológica.

Dentre os grandes compartimentos, os planaltos apresentam comportamento estatístico mais heterogêneo. O Planalto da Canastra representa a subunidade de maior altitude média (1234 m) e maior amplitude altimétrica da área de estudo, o que justifica seus elevados valores de ICR (0,3514). Esse valor evidencia a combinação entre trechos aplainados no topo do planalto e escarpas abruptas nas suas bordas, onde ocorrem transições morfoestruturais e morfoesculturais importantes. O TWI, por sua vez, registra 0,2090, valor relativamente baixo, mas não tão expressivo quanto o das serras.

O Planalto Cárstico, com ICR de 0,2720 e TWI de 0,2233, apresenta um comportamento singular. Apesar de apresentar relevo predominantemente plano, os afloramentos calcários elevam a rugosidade do terreno, enquanto as áreas cársticas promovem retenção hídrica em determinadas zonas, gerando uma distribuição heterogênea dos índices. Esse mosaico de feições associadas ao carste encoberto resulta em uma confluência de valores médios de ICR e TWI, caracterizando a complexidade típica dos terrenos carbonáticos.

As subunidades serranas apresentam os maiores valores de rugosidade dentre todas as unidades analisadas, evidenciando a forte dissecação do relevo e a predominância de formas com alta declividade. A Serra da Saudade se destaca como a unidade com maior ICR da área de estudo, atingindo 0,5207, seguida pelas Serras de Piumhi (0,4086) e Serras da Canastra

(0,3521). Tais valores refletem um relevo acentuadamente acidentado, com alta declividade e significativo contraste topográfico. Essas unidades também estão entre as mais elevadas em termos altimétricos, com médias superiores a 900 metros.

Os valores de TWI nas serras são, em geral, os mais baixos observados, variando de 0,2044 a 0,1880. Essa baixa umidade pode ser atribuída às fortes declividades que favorecem o escoamento superficial, à escassa cobertura pedológica e à maior exposição às condições climáticas; são fatores que reduzem a retenção hídrica e aumentam a evaporação. A relação entre altos valores de ICR e baixos valores de TWI nas serras reforça a correlação negativa observada entre esses índices, expressando um padrão típico contextos serranos.

As subunidades classificadas como patamares ocupam posições altimétricas intermediárias, com altitudes médias entre 722 m e 798 m. Os Patamares da Margem Esquerda do São Francisco, com 722 m, apresentam valores de ICR e TWI relativamente equilibrados, 0,3586 e 0,2131, respectivamente. Já o Patamares do Samburá, com altitude de 798 m, apresenta ICR de 0,3006 e TWI de 0,2154.

Esses valores indicam que os patamares são unidades com relevo moderadamente acidentado, com declividades suficientes para gerar certa rugosidade, mas ainda preservando áreas de acumulação hídrica em pontos mais rebaixados. A variabilidade nos índices pode estar relacionada à própria origem dessas unidades, muitas vezes associadas a níveis de dissecação diferenciados, configurando superfícies erosivas em estágios distintos.

A combinação de ICR alto e TWI intermediário nos patamares indica um padrão misto, no qual os processos erosivos e acumulativos coexistem. Essas subunidades funcionam como zonas de transição geomorfológica e hidrológica entre compartimentos mais elevados (serras e planaltos) e as áreas de depressão, refletindo em sua morfologia aspectos tanto de degradação quanto de agradação.

As depressões configuram-se como subunidades de altitudes médias e baixas dentro do contexto da área de estudo, variando entre 660 e 779 metros, e com valores de ICR relativamente baixos, entre 0,1010 (Depressão da Margem Direita do São Francisco) e 0,2012 (Depressão de Piumhi). Essas características indicam relevos suavemente ondulados, resultado de longos períodos de denudação e menor atividade tectônica.

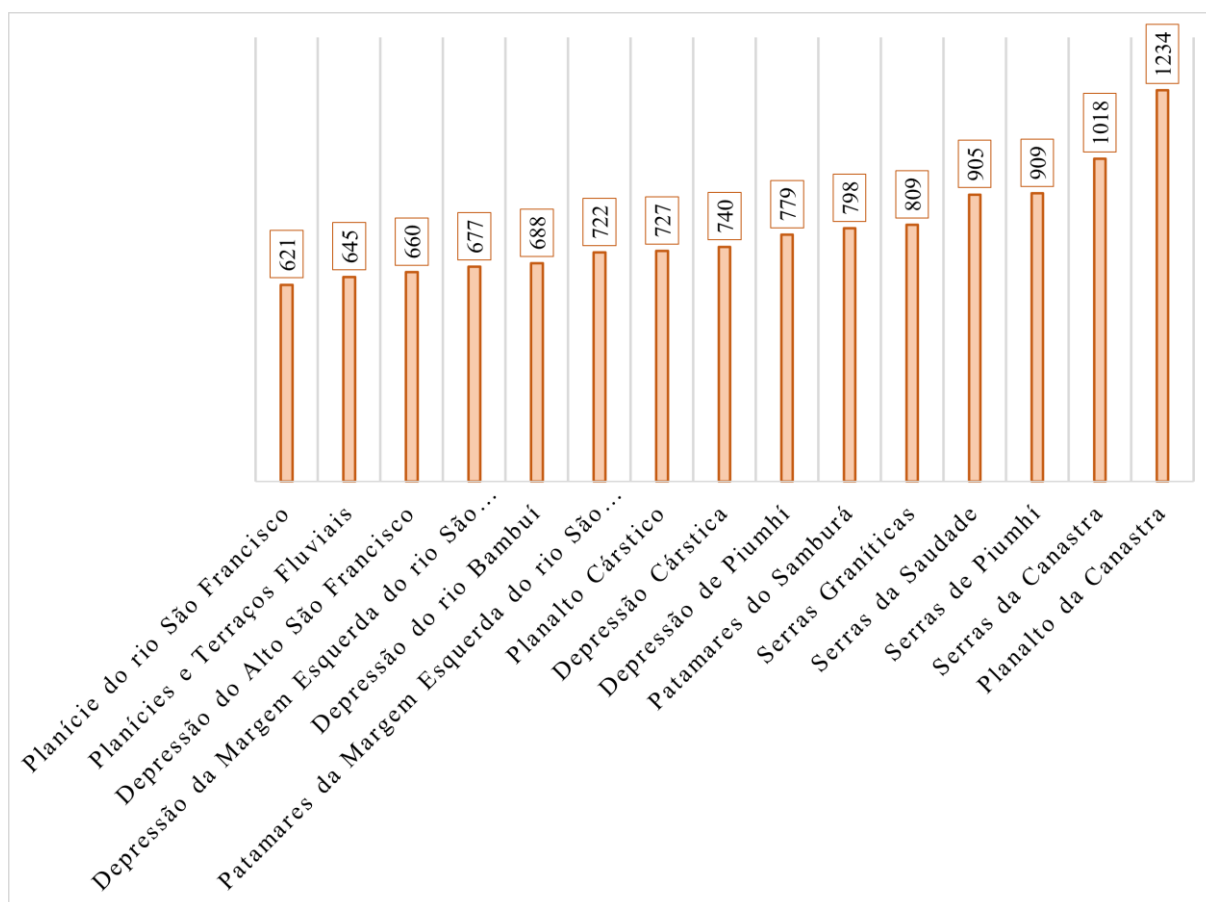
Os valores de TWI nas depressões também se mantêm numa faixa intermediária, com médias entre 0,2656 e 0,2349. Destaca-se a Depressão da Margem Direita do São Francisco, com valor de TWI de 0,2656, que indica maior potencial de retenção de água em relação a outras depressões. A Depressão do Piumhi, apesar de apresentar o maior ICR entre as

subunidades, possui um TWI também muito elevado, indicando que a presença da planície fluvial do rio Piumhi influencia significativamente na umidade da subunidade.

De modo geral, as depressões parecem atuar como compartimentos de transição entre as subunidades mais elevadas (planaltos, serras e patamares) e as planícies. Sua morfologia suavizada e a presença de solos mais profundos favorecem uma moderada acumulação de umidade, enquanto sua posição altimétrica intermediária as torna áreas importantes para o escoamento de fluxos e o armazenamento hídrico.

As subunidades de planícies apresentam os menores valores de altitude da área de estudo, com médias de 621 m (Planície do rio São Francisco) e 645 m (Planícies e Terraços Fluviais). Em termos de ICR, ambas as subunidades também representam as áreas menos rugosas, com valores de 0,0884 e 0,0779, respectivamente, refletindo a morfologia extremamente plana dessas áreas.

Gráfico 2. Distribuição dos valores médios de altimetria para as subunidades.



Fonte: A autora (2025).

Quanto aos valores de TWI, observa-se que as planícies concentram as maiores médias de umidade relativa, com 0,3016 e 0,3159, sendo as subunidades mais úmidas do Alto São Francisco. Essa elevada umidade é coerente com a função hidrogeomorfológica dessas unidades, que atuam como áreas de deposição e armazenamento de água e sedimentos, desempenhando papel fundamental nos processos de manutenção do nível freático e na regulação hidrológica regional.

A correlação inversa entre rugosidade e umidade é especialmente evidente nas planícies, que reúnem baixa rugosidade e alta umidade, reforçando a tendência geral observada na região. As planícies funcionam como zonas de base dos sistemas de drenagem, recebendo fluxos provenientes de compartimentos mais elevados e desempenhando papel-chave na dinâmica fluvial e nos processos deposicionais associados ao São Francisco e seus principais afluentes.

Foi possível observar uma correlação negativa entre TWI e altitude e entre TWI e ICR, com as áreas mais elevadas e mais rugosas tendendo a ser mais secas, com menor concentração de umidade. Algumas unidades fogem a essa correlação, como é o caso da unidade Planalto, com altos valores de rugosidade, elevação e umidade. No entanto, vale destacar que a relação entre rugosidade e umidade é complexo e depende de diversas variáveis, como clima, formas de relevo, vegetação, geologia.

5.2 Panorama das áreas úmidas: tipologias e conexões com o quadro hidrogeomorfológico

5.2.1 Contextualização dos níveis classificatórios

A classificação hidrogeomorfológica está organizada em três níveis hierárquicos, que serviram como base para a identificação de zonas onde predominam determinados processos. A compreensão da distribuição espacial desses processos geomorfológicos é fundamental para a classificação e análise das AUs. Do mesmo modo, a delimitação dessas zonas processuais fornece o suporte hidrogeomorfológico para o entendimento das diferentes gêneses potenciais das AUs e das formas que abrigam esses sistemas.

Esses níveis foram definidos com base nas características morfogenéticas, hidrológicas e topográficas das AUs. Trata-se de uma tentativa de organizar e compreender a diversidade de processos e formas associados as AUs na paisagem do Alto São Francisco. E a construção dessa abordagem foi fundamentada nos resultados do mapeamento e análise geomorfológica da área descritos anteriormente.

O primeiro nível da classificação adotada considera os processos geomorfológicos que atuam na formação e manutenção das AUs, considerando três categorias principais (Figura 22): erosão, dissolução e sedimentação (Bridge e Demicco, 2008; Julien, 2010). Essa etapa foi construída com base nas informações do mapeamento geomorfológico, nas análises morfométricas e nas observações de campo.

As AUs associadas à sedimentação são as mais representativas do Alto São Francisco, especialmente nas planícies aluviais. Esses ambientes são modelados pelo acúmulo de sedimentos finos, favorecido pela baixa declividade que contribui para a perda de energia e deposição dos materiais carreados, e a elevada conectividade com canais, que favorece a ocorrência de pulsos de inundações sazonais (Graf, 1988; Phillips, 1989).

É o caso das lagoas marginais ao longo do rio São Francisco e seus principais tributários, que são influenciadas pelos processos fluviais e a deposição em áreas rebaixadas. Essas feições comumente apresentam solos hidromórficos e cobertura vegetal típica de ambientes saturados, como gramíneas, buritis e espécies adaptadas à presença prolongada de água.

Nas áreas de deposição, o potencial de acúmulo de água expresso pelo TWI, apresenta valores elevados, indicando acúmulo de água no solo. Nesses locais, a rugosidade apresenta tendência de valores baixos, reforçando o papel de sedimentação como processo dominante.

Figura 22. Exemplo de AUs no nível 1 de classificação. A - Sedimentação; B - Dissolução; C - Erosão.



Fonte: A autora (2025).

No contexto topográfico, são frequentemente encontrados ambientes de sedimentação nas proximidades rios, corroborando para a importância da rede de drenagem para os processos deposicionais na área (Tooth e McCarthy, 2007).

Já as AUs relacionadas à erosão estão mais restritas e ocorrem principalmente em áreas topograficamente elevadas, concentrando em áreas de cabeceiras onde há a dissecação do relevo por drenagens primárias (Etchelar e Alegre, 2017; Hernández-Romero *et al.*, 2022). São AUs menores e mais pontuais, como nascentes difusas, pequenos brejos e veredas encaixadas em vales estreitos. O relevo nessas regiões é mais ondulado, com maior influência do substrato rochoso, e a presença de solos pouco desenvolvidos.

Embora a rugosidade nesses trechos seja mais alta, a morfologia local favorece o acúmulo de água, geralmente em trechos côncavos nas vertentes. O potencial para acúmulo de água é restrito, e na maioria dos casos não é satisfatório para a identificação dessas áreas, podendo estar relacionado com a sua baixa expressividade espacial. A vegetação mais densa ao longo das linhas de drenagem é um fator decisivo para o reconhecimento desses sistemas.

As AUs formadas por dissolução ocorrem de forma localizada nas áreas sob influência dos calcários do Grupo Bambuí, onde o relevo cárstico favorece a presença de depressões fechadas, como dolinas e uvalas (Barbosa Timo e Panisset Travassos, 2023). Esses sistemas hidrogeomorfológicos podem ou não estar diretamente ligados aos canais fluviais, mas podem acumular água por infiltração, ressurgência e proximidade com o nível freático. Embora sejam menos expressivas em extensão, são relevantes para a recarga subterrânea.

Portanto, a análise dos processos geomorfológicos predominantes ilustra a diversidade de AUs existentes no Alto São Francisco, sendo que a sedimentação é o processo mais comum, especialmente nas planícies fluviais, enquanto a erosão e a dissolução aparecem em contextos mais específicos, relacionados à morfologia e à geologia local. Essa diferenciação ajuda a entender como a paisagem influencia a distribuição e o funcionamento das AUs, e serve de base para os níveis seguintes da classificação.

No segundo nível de classificação, as AUs foram organizadas conforme o tipo de processo hidrológico que predomina em sua dinâmica: inundação, alagamento ou regime misto (Tucci, 2020). Essa diferenciação está diretamente relacionada à posição dessas áreas na paisagem, ao regime dos cursos d'água, às características do relevo e à permeabilidade dos materiais geológicos e pedológicos.

As AUs por inundação são aquelas que surgem a partir do extravasamento sazonal dos cursos d'água nos períodos chuvosos, o qual pode gerar zonas alagadas nas planícies (Junk, Bayley e Sparks, 1989). Há, portanto, uma conexão genética entre os processos de inundação e

a formação de AUs de alagamento, ainda que AUs de alagamento não surjam, necessariamente, a partir de inundações. Esse tipo ocorre, sobretudo, nas planícies de inundação do alto curso do rio São Francisco e de seus principais afluentes, como os rios Bambuí, Patos e Jacaré, sendo que há um maior potencial nos afluentes da margem direita.

As AUs de inundação constituem sistemas hidrogeomorfológicos como as lagoas marginais, meandros abandonados e várzeas, funcionando como áreas de armazenamento de água durante os pulsos de cheia, mantendo a umidade por períodos prolongados. A permanência da umidade é condicionada, principalmente, pela morfologia e composição do substrato, podendo ter lâmina d'água (variável ao longo do ano hidrológico) ou solos encharcados. As imagens de satélite utilizadas evidenciaram a permanência da lâmina d'água em muitos desses sistemas, fato confirmado em campo por indícios de solos hidromórficos e vegetação adaptada.

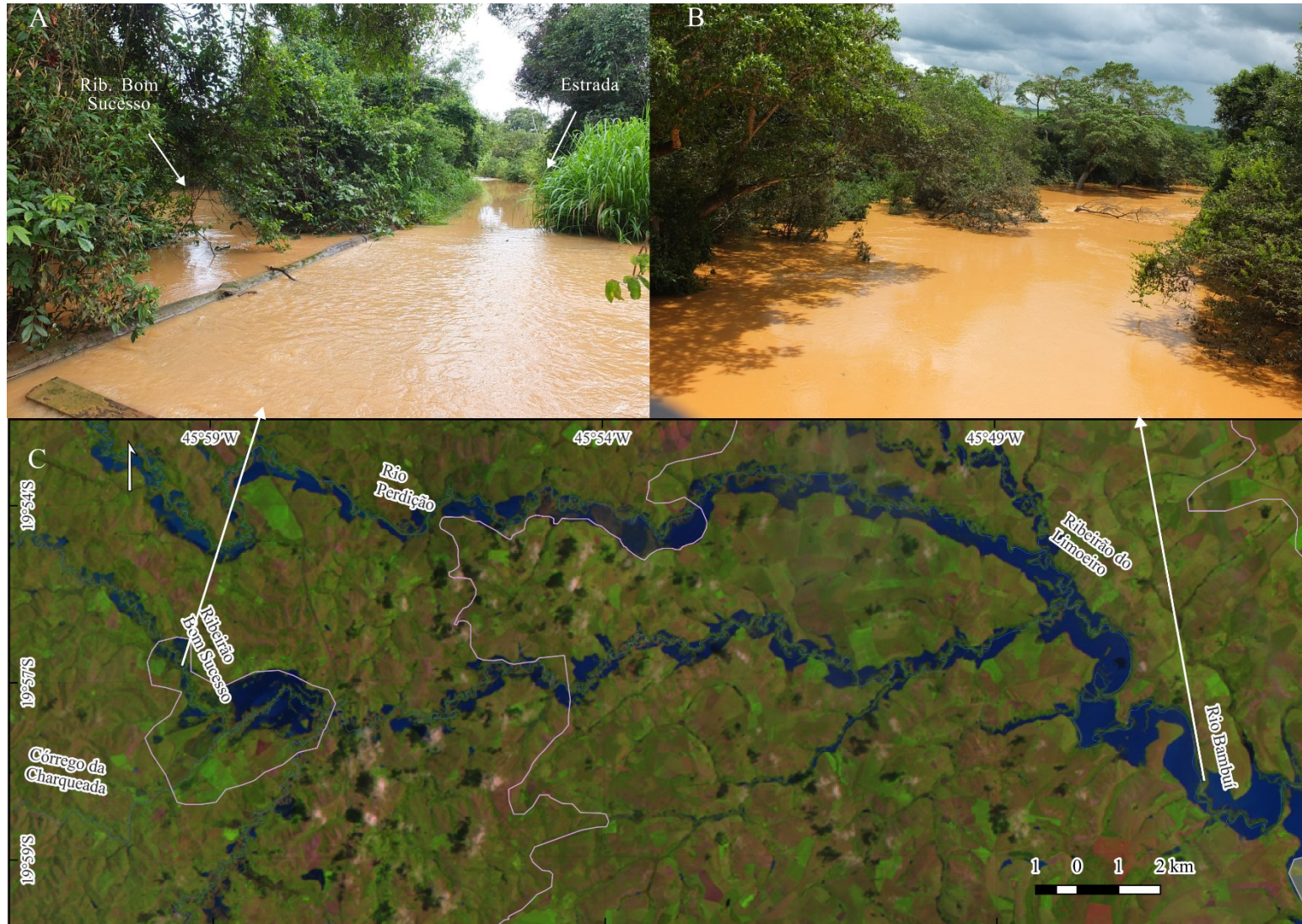
Na Figura 23, é possível observar eventos de inundação ao longo de dois cursos d'água da área de estudo: o ribeirão da Charqueada e o rio Bambuí. A imagem de satélite registra a área alagada durante o pulso de inundação, evidenciando a elevação do nível da água no período chuvoso de 2025. No caso do rio Bambuí, nota-se a ocupação do leito menor e o enchimento progressivo da calha, com o avanço da lâmina d'água sobre a vegetação marginal, como se observa pela altura da água em relação às copas das árvores adjacentes.

A propagação da inundação ocorre ao longo da bacia de forma gradativa, iniciando-se nos canais de menor ordem, como o ribeirão da Charqueada, e estendendo-se para rios de maior porte, como o Bambuí, até atingir o rio São Francisco. A velocidade de propagação e a extensão do alagamento estão diretamente associadas à morfologia da bacia hidrográfica e ao volume de precipitação. A forma da bacia influencia o tempo de concentração e o acúmulo dos fluxos, condicionando a dinâmica hidrológica e a resposta do sistema fluvial aos eventos de cheia.

As AUs por alagamento são aquelas cuja umidade no solo é mantida de forma constante ou sazonal, devido à saturação dos solos devido à influência do nível freático ou de fluxos subsuperficiais próximos à superfície, excluindo-se, aqui, as AUs relacionadas às inundações (Arruda, Cunha e Junk, 2023). Estão mais presentes em áreas de cabeceira, depressões isoladas e veredas em solos mal drenados.

Essas AUs são comumente associadas aos sistemas desconectados da rede fluvial, ou quando próximos, em áreas onde não há a ocorrência de processos de inundação. A precipitação também se torna um elemento essencial para a manutenção hídrica dessas AUs, que, devido à desconexão com a rede de drenagem, tendem a ter o seu regime variando mais ao longo do ano hidrológico. A presença de solos hidromórficos favorece o acúmulo de água nesses sistemas.

Figura 23. Registros de inundação ao longo da bacia do rio Bambuí.



Fonte: A autora (2025).

Já os ambientes de regime misto apresentam características tanto de alagamento quanto de inundação fluvial. Esse tipo é recorrente em trechos de várzea mais amplos e nas confluências de drenagens, onde a presença de solos saturados e o contato direto com cursos d'água formam sistemas úmidos complexos. São áreas que podem alternar entre diferentes regimes hidrológicos ao longo do ano, dependendo do comportamento da bacia hidrográfica, da recarga do solo e da intensidade das chuvas. Algumas veredas e lagoas próximas aos canais principais ou em regiões de fraturamento intensivo representam esse tipo de funcionamento hidrológico misto.

Essa classificação hidrológica permite compreender como a dinâmica da água superficial e subsuperficial influencia diretamente a formação e manutenção das AUs no Alto São Francisco. A identificação desses processos é fundamental para definir estratégias de conservação e manejo, uma vez que cada tipo de AU responde de forma distinta a variações climáticas e a mudanças no uso da terra.

Por último, o terceiro nível da classificação propõe a diferenciação das AUs com base em sua posição na paisagem, ou seja, a localização relativa dessas feições dentro do relevo, refletindo a forma como se inserem nos sistemas hidrogeomorfológicos (Gomes e Magalhaes Júnior, 2018). Esse critério complementa os níveis anteriores e reforça a importância do relevo e da conectividade hidrológica para a gênese e funcionamento das AUs.

5.2.2 Distribuição das AUs por compartimentos do relevo

O potencial de ocorrência das AUs no Alto São Francisco demonstra estreita relação com os compartimentos geomorfológicos da paisagem. Com base no mapeamento geomorfológico e na análise espacial dos indicadores morfométricos, hidrológicos e topográficos, foram identificados diferentes padrões de distribuição e organização das AUs em serras, planaltos, patamares, depressões e planícies. A seguir, apresentam-se as características geomorfológicas e hidrológicas das AUs em cada um desses compartimentos.

No entanto, ressalta-se que os subtítulos a seguir tratam dos grandes compartimentos geomorfológicos no qual um determinado conjunto de sistemas está inserido, sendo diferente da posição topográfica na qual as AUs estão inseridas (terceiro nível da classificação), que tratam da posição na vertente que esses sistemas ocupam. Embora as nomenclaturas possam ser parecidas, trata-se de uma escala de análise distinta, que permite evidenciar processos diferentes. Enquanto o compartimento geomorfológico permite compreender uma gênese mais ampla desses sistemas investigando aspectos litoestruturais e hidrogeomorfológicos, na escala

de análise da posição topográfica são evidenciados os processos geomorfológicos e hidrológicos associados à dinâmica das vertentes.

5.2.2.1 Áreas úmidas em Serras

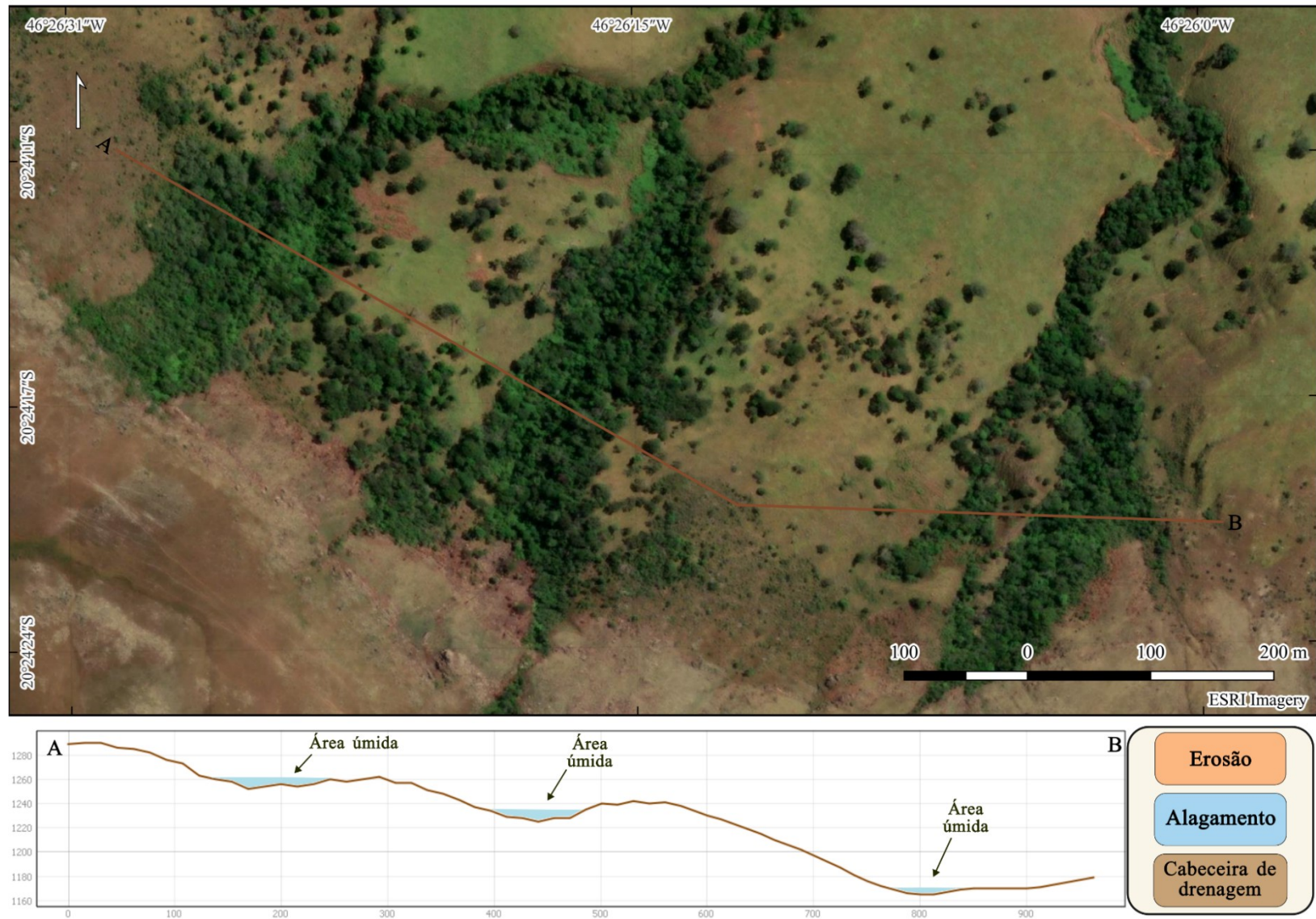
As serras constituem formas de relevo marcadas por altos gradientes altimétricos, encostas íngremes e dissecação acentuada, o que, em geral, limita a formação de AUs extensas (Guimarães, Barros e Felipe, 2022). A compartimentação do relevo e a elevada energia conferem a esses ambientes características hidrológicas diferenciadas, com maior predominância de escoamento superficial e menor retenção hídrica nas vertentes. Nesse contexto, as AUs ocorrem de forma mais restrita, surgindo principalmente em cabeceiras de drenagem, em depressões topográficas ou setores de topo suavizado com afloramento do nível freático, onde a percolação da água é dificultada por condições geológicas e pedológicas locais.

Essas AUs, embora pontuais e com menor expressão espacial, desempenham papel fundamental como zonas de recarga e nascentes, exercendo influência direta sobre a formação e manutenção da rede hidrográfica. Funcionam também como zonas de transição ecológica (ecótonos), conectando compartimentos úmidos e secos da paisagem. Seu papel é intensificado em períodos chuvosos, quando o aporte hídrico superficial e subsuperficial alimenta esses sistemas, contribuindo para o armazenamento temporário de água e o início de canais efêmeros.

A presença de AUs nessas áreas é fortemente condicionada pela interação entre estrutura geológica e processos morfogenéticos. As feições são frequentemente associadas a estruturas lineares, como fraturas, dobramentos e falhamentos, que facilitam a concentração e ascensão do fluxo hídrico. Além disso, a ocorrência de solos rasos e pedregosos, como os Neossolos litólicos, favorece o acúmulo de água em pontos específicos da paisagem, principalmente onde há concavidades e material de baixa permeabilidade.

Um exemplo ocorre nas áreas associadas às rochas do Grupo Canastra, onde a drenagem superficial se organiza em sulcos e ravinas que conduzem os fluxos hídricos e interrompem a uniformidade dos afloramentos (como exemplificado na Figura 24). Nessas áreas de relevo fortemente ondulado a escarpado, com predomínio de neossolos litólicos, as AUs costumam surgir como pontos de início da rede de drenagem. Ocorrências isoladas, como no Planalto da Canastra, são menos frequentes. Devido ao forte controle estrutural da drenagem e às declividades acentuadas, o acúmulo de água tende a se concentrar nos sulcos do relevo.

Figura 24. Classificação de AUs: erosão (1º nível), alagamento (2º nível), cabeceira de drenagem (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

Em alguns trechos, ocorrem depressões intramontanas que possibilitam a formação de AUs mais extensas em fundos de vale, embora sejam pouco frequentes. Essas feições estão associadas a processos erosivos que, ao removerem material ao longo do tempo, criam concavidades na vertente favoráveis ao acúmulo de água (Vasconcelos *et al.*, 2013).

Na paisagem, essas AUs se destacam pelo maior vigor vegetativo e aparecem como enclaves nos topos das vertentes ou nos fundos de vale. Por estarem frequentemente associadas a nascentes em áreas rochosas e de baixo valor econômico, tendem a estar mais preservadas, especialmente aquelas situadas dentro dos limites do Parque Nacional da Serra da Canastra.

Essas AUs são alimentadas principalmente por exfiltração, com intensificação do fluxo após o período de cheia, devido à elevação do nível freático. Apesar de pequenas em extensão, são fundamentais para a manutenção dos fluxos hídricos, sobretudo quando analisadas em conjunto com a dinâmica da paisagem.

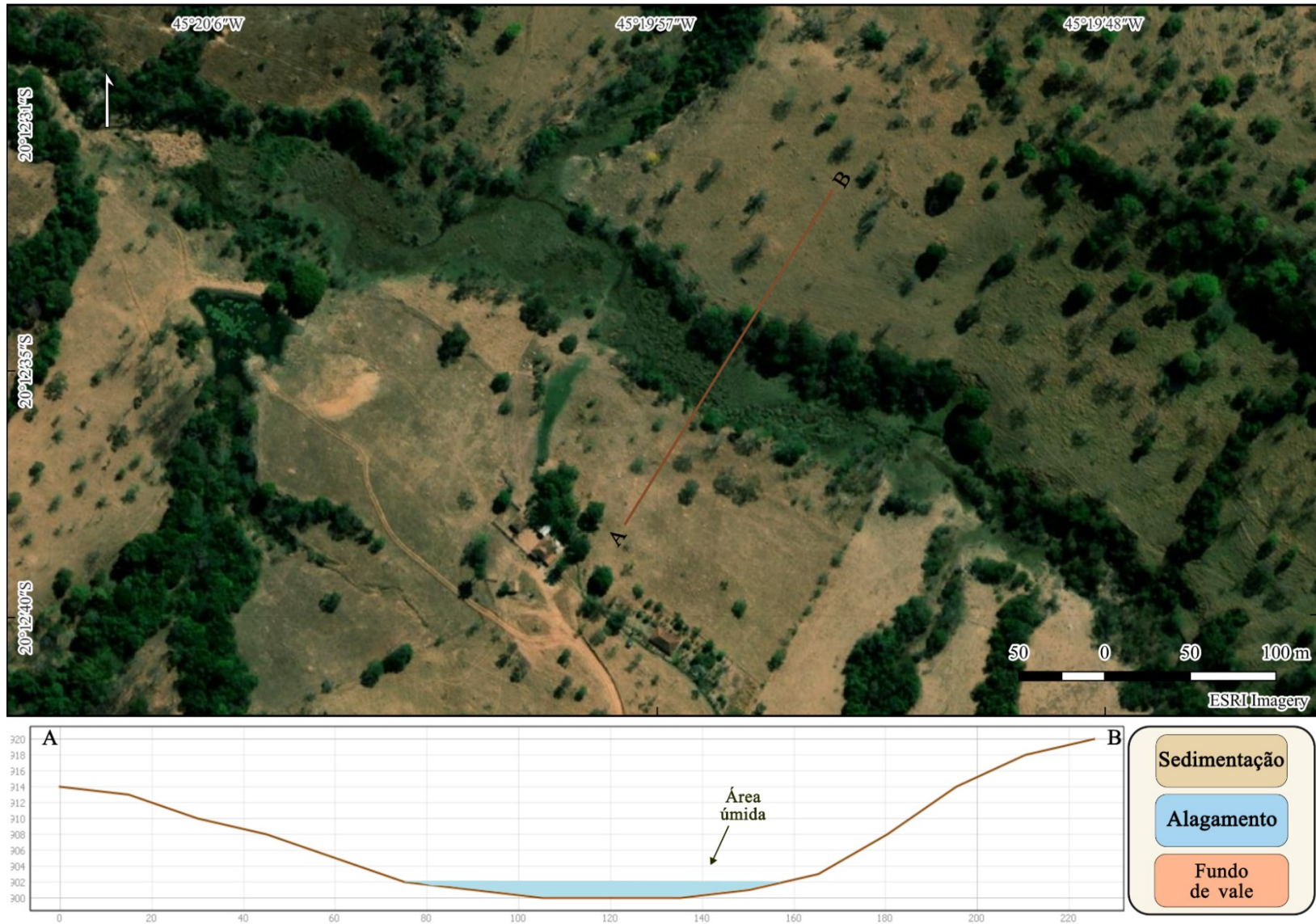
Outro exemplo relevante refere-se às AUs situadas em setores de afloramento do embasamento cristalino, inseridas em relevo ondulado, e geralmente associadas à rede de drenagem (Guimarães, Barros e Felipe, 2022). Por se tratar de um contexto serrano, os vales tendem a ser profundos e estreitos, o que faz com que esses sistemas úmidos ocorram predominantemente confinados nos fundos de vale.

O compartimento geomorfológico das Serras Graníticas apresenta alta densidade hidrográfica, com destaque para as cabeceiras de drenagem, que concentram a maior ocorrência de AUs. A AU ilustrada na Figura 25 situa-se na parte alta da bacia do ribeirão da Grotada (ou Usina), sobre domínio de gnaisses, sendo uma das poucas áreas com depósitos aluvionares identificadas nesse compartimento. Em termos pedológicos, predominam os cambissolos háplicos, solos instáveis em encostas, que podem contribuir para o entulhamento dos fundos de vale.

O sistema úmido é identificado por manchas vegetadas mais escuras no fundo do vale, onde predominam processos de sedimentação relacionados tanto ao transporte fluvial quanto ao escoamento superficial. Hidrologicamente, é caracterizado pela presença de alagamentos, que podem estar associados à baixa infiltração e à proximidade com o nível freático.

Nas bordas desse sistema, observa-se a presença de veredas, indicando a coexistência de diferentes tipologias hidrogeomorfológicas em uma mesma área. Essas variações refletem pequenas diferenças na topografia, no regime hidrológico e nas características da vegetação.

Figura 25. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), fundo de vale (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

As demais AUs do compartimento ocorrem, em sua maioria, na parte alta das vertentes, geralmente em áreas côncavas com vegetação mais densa. Nesses locais, as AUs podem assumir a forma de nascentes difusas ou pontuais, com presença de umidade no entorno. São sistemas de pequena extensão, dominados por processos de remoção de material, e cuja principal dinâmica hidrológica está relacionada ao alagamento, intensificado por pontos de exfiltração.

De forma geral, as AUs nas Serras Graníticas sofrem forte pressão antrópica, sendo frequentemente interceptadas por estradas e outras infraestruturas que fragmentam e comprometem a conectividade dos sistemas, afetando sua resiliência e funcionalidade ecológica.

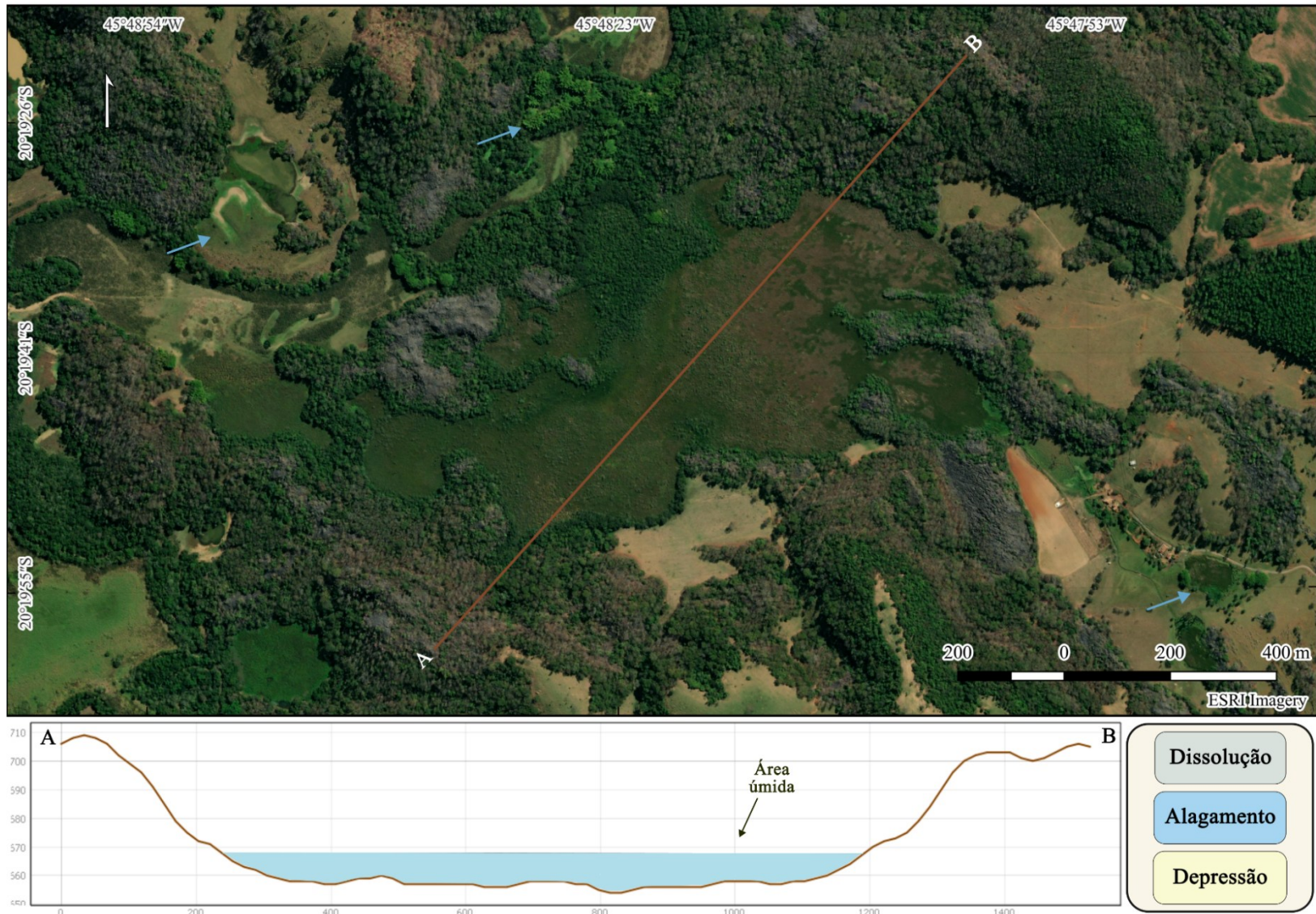
5.2.2.2 Áreas úmidas em Planaltos

Os planaltos da região do Alto São Francisco constituem compartimentos elevados, com dissecação moderada e com grande variedade litológica e morfológica entre si. Esses atributos favorecem a ocorrência de AUs em setores mal drenados, onde predominam processos de saturação do solo. Nessas condições, desenvolve-se uma diversidade de tipologias de AUs, incluindo brejos, campos úmidos e lagoas, cuja distribuição espacial está fortemente relacionada às características litoestruturais.

No contexto dos Planaltos Cársticos, as AUs assumem feições singulares formadas por processos de dissolução do substrato carbonático. Essas AUs instalam-se preferencialmente em dolinas, vales cegos e depressões estruturais controladas por fraturas e falhas, configurando sistemas cársticos de alagamento sazonal ou permanente (Timo e Travassos, 2023). A compartimentação do relevo por estruturas tectônicas, favorece o acúmulo de água em superfície, sobretudo quando a percolação vertical é limitada. Essas AUs, embora pontuais, exibem grande complexidade hidrogeomorfológica, sendo alimentadas por mecanismos de exfiltração e por escoamento superficial concentrado, e funcionam como importantes núcleos de biodiversidade e regulação hídrica em meio ao relevo aflorante (Assunção *et al.*, 2023; Lucon *et al.*, 2020).

Outro exemplo é o Planalto da Canastra, modelado em topos estruturais de quartzitos e filitos, onde predominam AUs do tipo brejos, campos úmidos e campos de murundus (Nazar e Rodrigues, 2020; Santos e Confessor, 2020). Essas feições distribuem-se principalmente em setores planos ou suavemente ondulados, com solos rasos e baixa capacidade de infiltração. Em muitos casos, essas áreas correspondem a cabeceiras de drenagem ou pequenas depressões topográficas.

Figura 26. Classificação de AUs: dissolução (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

A ação de processos erosivos, em combinação com a resistência diferencial das litologias, também contribui para o desenvolvimento de microdepressões que funcionam como focos de alagamentos (Vasconcelos et al., 2013). Tais ambientes atuam como zonas de recarga difusa e manutenção da vazão regular dos sistemas fluviais.

A diversidade morfológica e funcional das AUs nos planaltos reflete a interação entre fatores geológicos, morfológicos e hidrológicos. Os processos de dissolução, erosão e alagamento desempenham papel central na gênese desses sistemas, cuja localização tende a se concentrar em topos planos, cabeceiras de drenagem e depressões topográficas. Essa combinação confere aos planaltos um caráter hidrogeomorfológico complexo, onde a presença das AUs constitui um indicador da conectividade entre relevo, substrato e dinâmica hídrica. Além de sua relevância ecológica, esses sistemas exercem funções críticas na regulação hídrica regional, evidenciando a importância dos planaltos como compartimentos-chave para a manutenção dos recursos hídricos no Alto São Francisco.

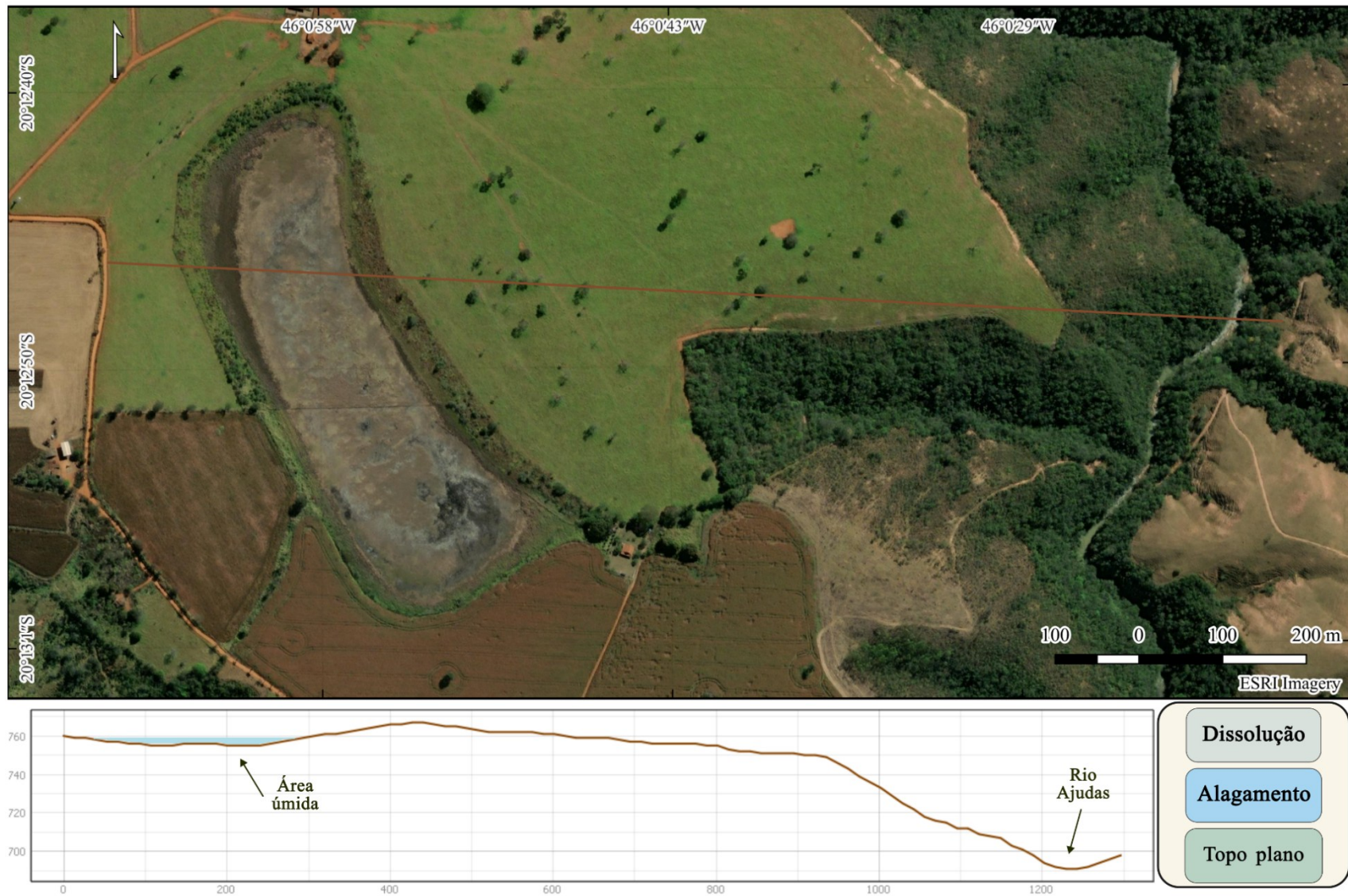
5.2.2.3 Áreas úmidas em Patamares

Os patamares configuram compartimentos de transição entre o contexto serrano e as depressões adjacentes, caracterizando-se por uma combinação singular de diversidade litológica, morfológica e hidrológica. Embora apresentem relevo ondulado a fortemente ondulado e alto grau de rugosidade, a presença de AUs revela um contexto hidrogeomorfológico complexo, especialmente em zonas de transição entre diferentes domínios morfoestruturais e morfológicos.

Nos Patamares da Margem Esquerda do São Francisco, as AUs ocorrem preferencialmente associadas à rede de drenagem, manifestando-se em cabeceiras e fundos de vale encaixados, muitas vezes situados no sopé das encostas. Esses sistemas se instalam em setores de relevo suavemente abaulado ou em depressões localizadas, onde a morfologia e a estrutura do terreno favorecem o acúmulo de água, ainda que condicionadas pelas rugosidades locais. A instalação das AUs reflete a interação entre os fluxos superficiais concentrados, o aporte sedimentar e a natureza impermeável ou semipermeável do substrato geológico.

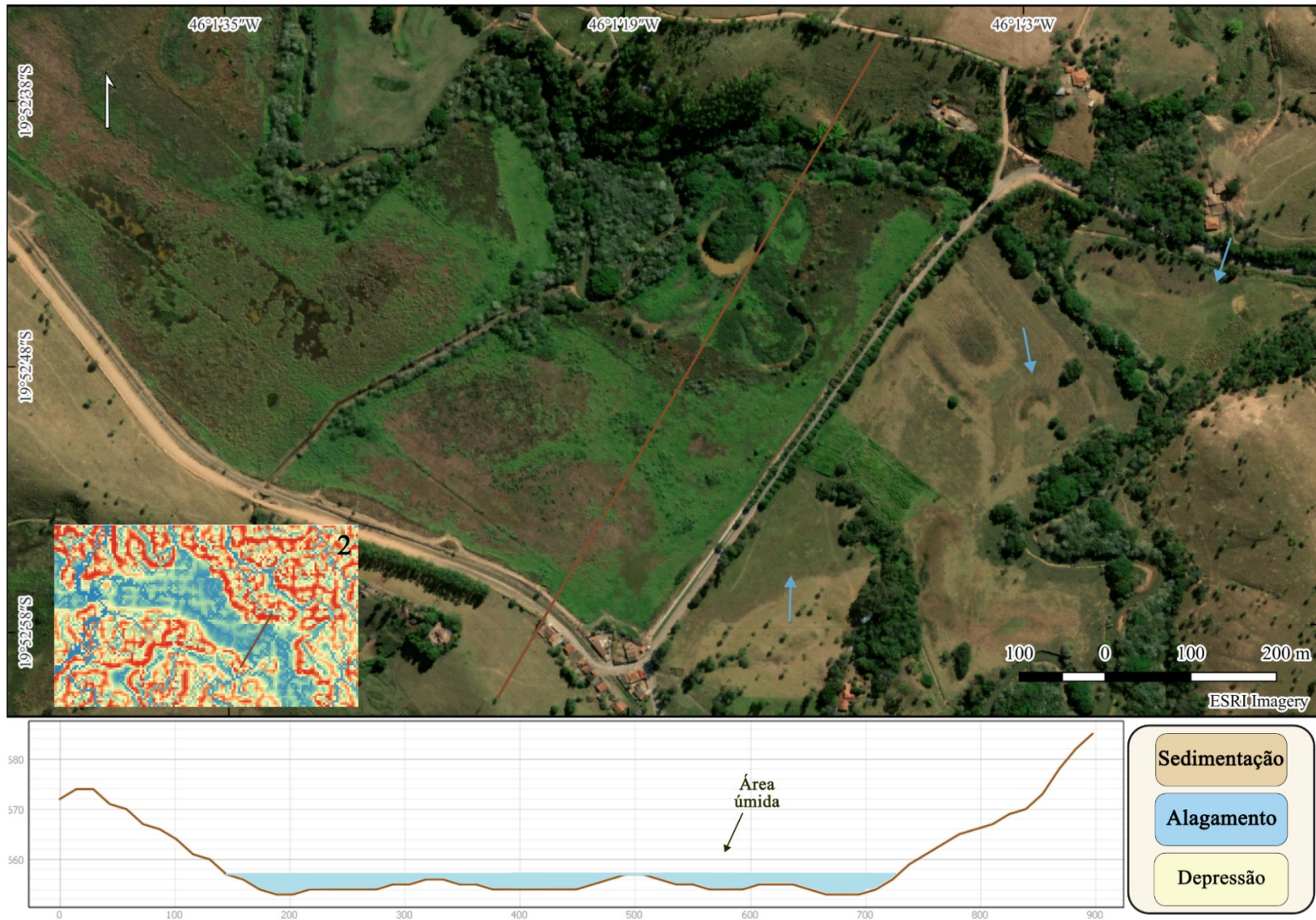
A geologia é marcada pela predominância de argilitos e siltitos, sobre os quais ocorrem coberturas cenozoicas nos interflúvios, e lentes carbonáticas pontuais que dão origem a feições cársticas (Signorelli *et al.*, 2008). Um exemplo representativo é a lagoa ilustrada na Figura 29, formada sobre as coberturas inconsolidadas que recobrem os topos planos. Trata-se de uma AU de origem cárstica, resultante dos processos de dissolução, configurando um sistema de alagamento permanente ou semipermanente em posição topográfica elevada.

Figura 27. Classificação de AUs: dissolução (1° nível), alagamento (2° nível), topo plano (3° nível).



Fonte: A autora (2025).

Figura 28. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

De forma geral, o substrato pelítico predominante nos patamares contribui para a retenção de umidade, devido à baixa permeabilidade e à elevada capacidade de retenção hídrica desses materiais. A dinâmica sedimentar, por sua vez, está intimamente ligada ao escoamento superficial, sobretudo em áreas de encostas instabilizadas, onde a mobilização de sedimentos favorece a formação de vales entulhados e a posterior instalação de sistemas úmidos em condições de concavidade e represamento natural. Ainda que o relevo dos patamares apresente menor dissecação em comparação às serras adjacentes, a compartimentação do terreno e a presença de barreiras morfológicas criam ambientes favoráveis à persistência de zonas encharcadas, ainda que em menor extensão se comparadas às AUs das grandes depressões.

A cobertura pedológica predominante é composta por cambissolos, com ocorrência de neossolos litólicos em áreas com maior controle estrutural, como nas regiões influenciadas pelas cristas da Serra da Saudade (Silva *et al.*, 2024). Nessas localidades, a combinação entre litologia resistente, declividades acentuadas e instabilidade de encostas intensifica a ação do escoamento superficial e dos processos de remobilização de material, que atuam como mecanismos fundamentais na gênese das AUs.

Um exemplo expressivo de AU está localizado ao longo do rio Perdição, onde ocorre a formação de um sistema úmido em uma depressão topográfica (Figura 28). A presença dessa depressão pode estar associada à atuação de falhas e fraturas, considerando a proximidade com a Serra da Saudade, o que pode ter favorecido o rebaixamento do relevo e o acúmulo de água superficial e subsuperficial.

Essa AU é uma das maiores registradas no contexto dos patamares geomorfológicos da região (Figura 29). Nela predominam processos de sedimentação, resultantes tanto da ação fluvial quanto da contribuição de materiais transportados por encostas adjacentes. A baixa declividade e a convergência de fluxos favorecem a deposição de sedimentos finos, o que contribui para o alargamento da planície e o surgimento de feições típicas de ambientes úmidos.

O Encarte 2 da Figura 28 mostra que a área é facilmente identificável a partir do índice TWI, que destaca as zonas com maior acúmulo de umidade no terreno. A delimitação é clara, indicando a efetividade do índice na detecção de áreas potencialmente saturadas. Evidenciando também a importância das microtopografias para a definição de áreas com maior ou menor teor de umidade.

A continuidade do sistema foi interrompida por uma estrada que o corta ao meio, alterando parcialmente a dinâmica natural. Mesmo assim, a jusante da estrada ainda são visíveis manchas úmidas e feições associadas, como meandros abandonados e áreas encharcadas,

indicadas pelas setas azuis (Figura 28). Esses elementos mostram que, apesar da intervenção, a área mantém características hidromorfológicas típicas de ambientes úmidos.

Figura 29. Vista de depressão do rio Perdição.



Fonte: Ribeiro (2025).

5.2.2.4 Áreas úmidas em Depressões

As subunidades geomorfológicas das depressões são compartimentos rebaixados em relação às unidades adjacentes e marcados pela baixa rugosidade e elevado potencial de umidade, configurando ambientes privilegiados para a instalação de AUs. O rebaixamento do relevo, associado à baixa declividade e à morfologia suavemente ondulada, cria condições favoráveis ao acúmulo de água e à deposição de sedimentos, resultando em uma combinação de processos de alagamento, sedimentação e, pontualmente, dissolução.

Esses sistemas úmidos encontram-se majoritariamente inseridos em áreas de sedimentação colúvio-aluvionar. A posição topográfica predominante nos fundos de vale e em depressões topográficas permite que funcionem como zonas de concentração de fluxo, onde os excedentes hídricos da bacia são temporariamente armazenados. A conectividade hidrológica com canais intermitentes ou permanentes intensifica o papel dessas áreas como reguladoras do escoamento superficial, atenuadoras de picos de cheia e mantenedoras de vazões de base.

No que diz respeito à gênese e à morfologia das AUs nas depressões, observa-se forte influência de processos de sedimentação e, em menor escala, de dissolução, sobretudo nas áreas com presença de lentes calcárias. A deposição sucessiva de sedimentos finos, associados a eventos de enxurradas ou transportes em massa, contribui para o entulhamento de fundos de

vale e para a criação de microdepressões. Isso favorece o desenvolvimento de solos hidromórficos e a manutenção de um regime de saturação prolongado. Em trechos pontuais onde ocorrem carbonatos intercalados aos argilitos e siltitos, os processos de dissolução também participam da formação de concavidades rasas e feições cársticas mal desenvolvidas, aumentando a diversidade morfológica das AUs.

O substrato litológico, dominado por rochas pelíticas pouco permeáveis, reforça a retenção de umidade, dificultando a percolação e favorecendo a persistência de lâminas d'água superficiais ou subsuperficiais. A baixa infiltração resultante contribui para a recorrência de alagamentos temporários ou permanentes, especialmente em eventos de maior aporte pluviométrico.

Do ponto de vista da organização espacial, as AUs nas depressões se distribuem de forma mais contínua e conectada do que nos compartimentos serranos ou planálticos. Essa continuidade espacial está diretamente relacionada ao controle morfológico do relevo e à presença de zonas de convergência e acúmulo de fluxo superficial. Essa configuração favorece AUs mais extensas e conectadas ao longo dos fundos de vale e vertentes suavizadas. Além disso, essas áreas configuram ambientes de interface entre compartimentos mais dissecados e zonas de relevo mais aplainado, desempenhando o papel de receptores naturais do excedente hídrico proveniente das porções mais altas da paisagem.

Por fim, essas áreas cumprem um papel funcional relevante na dinâmica hidrogeomorfológica regional, ao atuarem como pontos de retenção, infiltração e recarga hídrica. Sua configuração espacial e regime hidrológico tornam as depressões compartimentos fundamentais para a manutenção dos recursos hídricos no Alto São Francisco. Ao mesmo tempo, por apresentarem relevo suavizado, solos mais profundos e frequentemente argilosos e com maior retenção de umidade, essas áreas tem sido amplamente utilizadas para atividades agrícolas, o que intensifica a pressão antrópica sobre os sistemas úmidos.

A Figura 30 mostra uma área úmida situada na Depressão de Piumhi, em uma depressão topográfica ao longo do ribeirão dos Almeidas. A feição é claramente destacada pelo índice TWI (Encarte 2) e ocorre em relevo plano a suavemente inclinado, com limites bem definidos, como evidencia o perfil topográfico.

O sistema é dominado por processos de sedimentação e alagamento, favorecidos pela baixa declividade e pela capacidade de retenção hídrica do terreno. As setas azuis indicam setores sujeitos a maior variação sazonal do regime hidrológico, provavelmente relacionada a sutis diferenças morfológicas internas, que influenciam diretamente a distribuição da umidade e a frequência de encharcamento.

Figura 30. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).



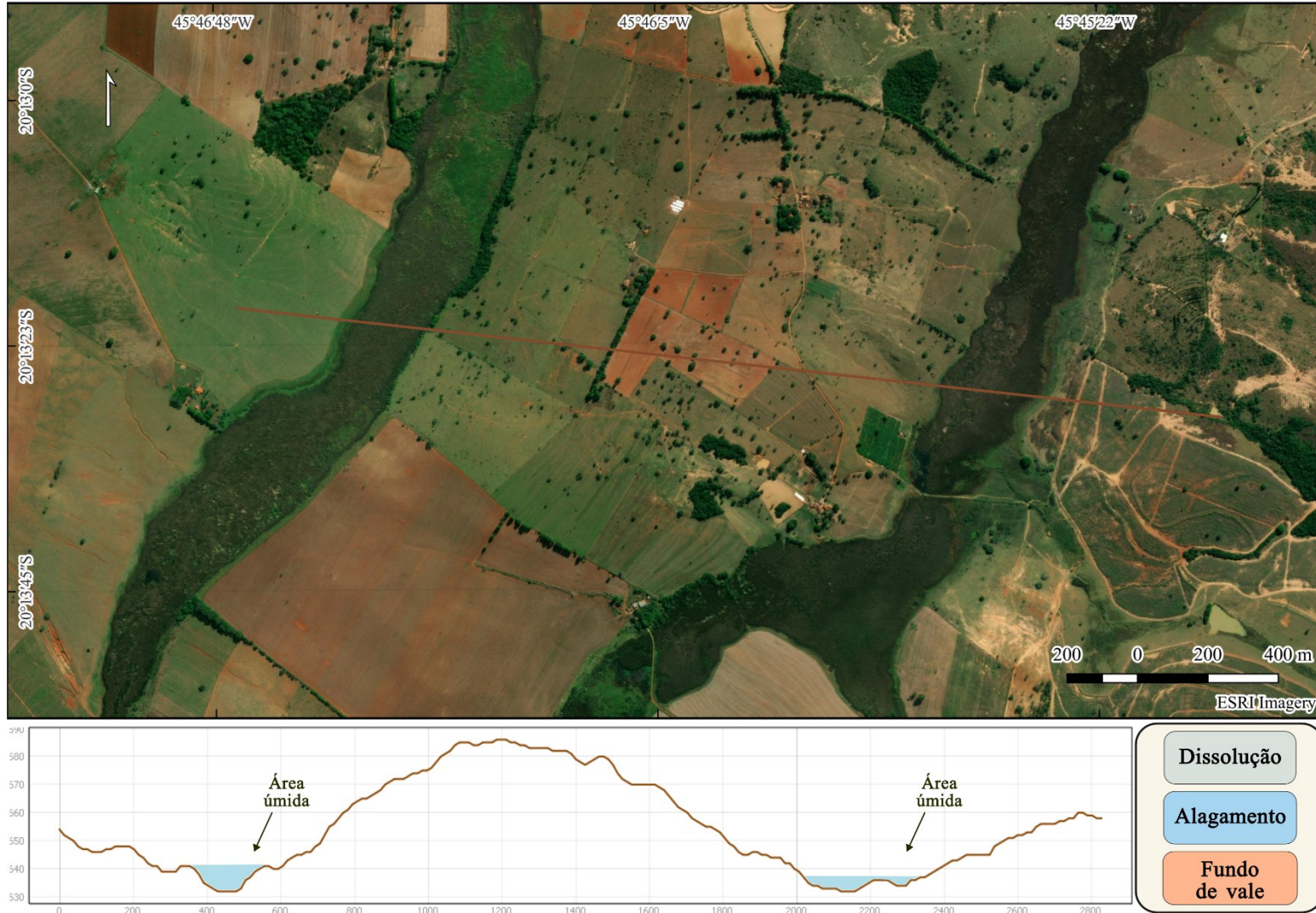
Fonte: A autora (2025).

Figura 31. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), alagamento (2º nível), depressão (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

Figura 32. Classificação de AUs: dissolução (1º nível), alagamento (2º nível), fundo de vale (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

A Figura 31 apresenta a AU desenvolvida na planície do rio Picão, uma das feições de maior destaque da área de estudo. Trata-se de um sistema inserido em depressão topográfica ampla, com relevo plano e margens suavemente inclinadas, o que favorece a estagnação hídrica e a deposição de sedimentos finos. Predominam processos de sedimentação e alagamento. O sistema também apresenta feições associadas à dinâmica fluvial pretérita, como meandros abandonados e paleocanais, indicando uma migração lateral do leito e reforçando o caráter dinâmico da planície.

Apesar de sua importância hidromorfológica, a AU da planície do Picão apresenta alto grau de antropização. Drenagens artificiais e culturas agrícolas ocupam grande parte da planície, promovendo a fragmentação da conectividade hidrológica e a alteração dos fluxos superficiais e subsuperficiais. Essas intervenções podem comprometer as funções ecológicas e hidrossedimentares do sistema, como a retenção de sedimentos, a recarga hídrica e a regulação de cheias.

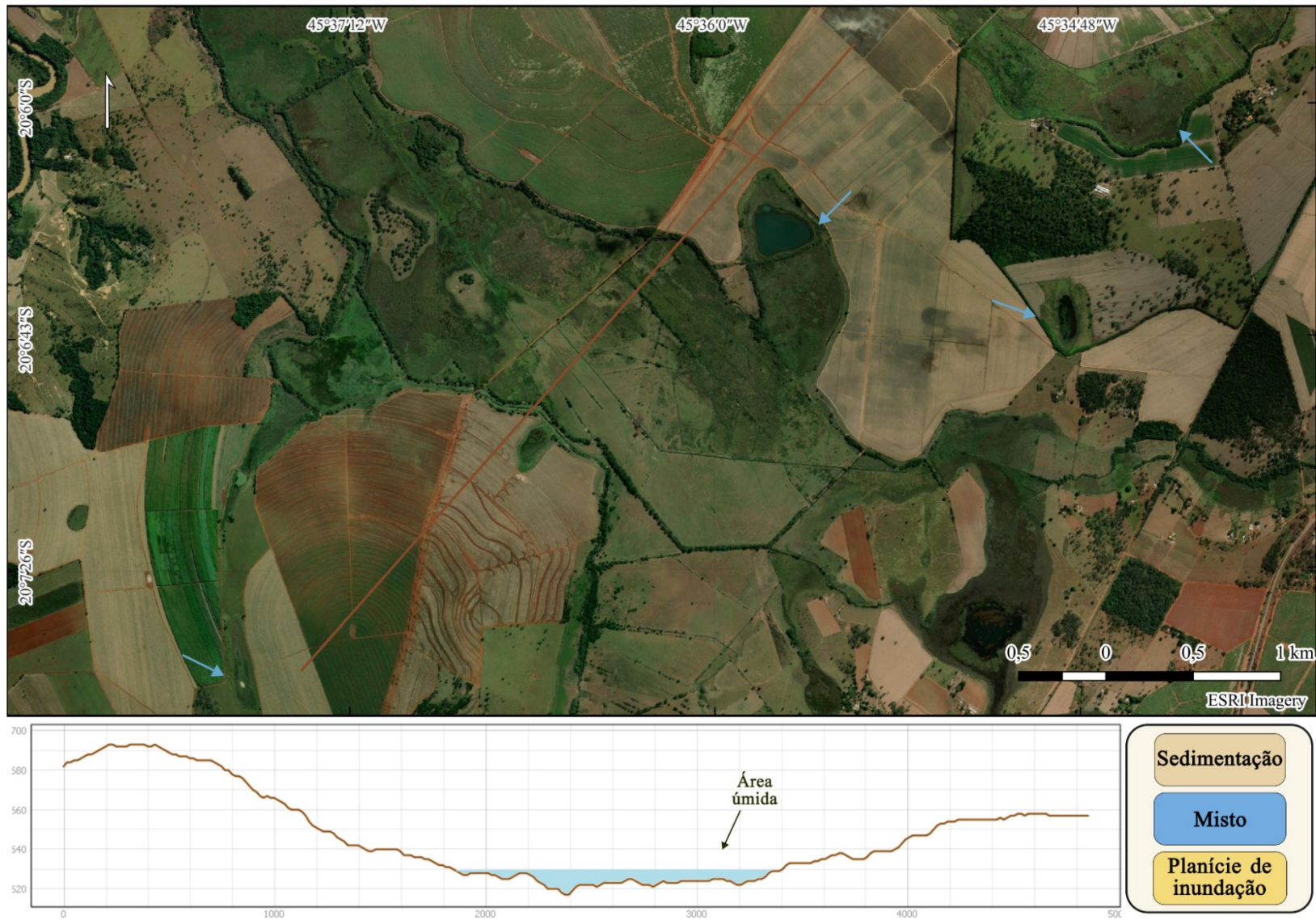
Outro exemplo refere-se a AUs localizadas em setores próximos à região cárstica (Figura 32). Esses sistemas se desenvolvem no fundo de vales encaixados, provavelmente controlados por fraturas e zonas de fraqueza estrutural, o que favorece a formação de feições lineares de dissolução ao longo da drenagem. Os vales apresentam-se fortemente entulhados, com deposição significativa de material coluvionar e aluvionar, resultado da atuação intensa de processos de encosta. A instabilidade das vertentes na região contribui diretamente para o aporte sedimentar e a elevação do fundo dos vales.

Do ponto de vista hidrológico, essas áreas são mantidas principalmente por processos de alagamento superficial, embora a variação do nível freático, especialmente nos períodos de cheia, possa desempenhar papel importante na recarga e permanência da umidade nos sistemas.

5.2.2.5 Áreas úmidas em Planícies

As planícies configuram os compartimentos com maior densidade e continuidade espacial das AUs no Alto São Francisco. Essas unidades são marcadas por relevo plano a suavemente ondulado, baixa altitude relativa e elevada conectividade hidrológica com os canais, sendo ambientes onde os processos de inundação sazonal e sedimentação predominam. A deposição recorrente de sedimentos finos durante eventos de transbordamento e a flutuação do nível freático favorecem a formação de solos hidromórficos, frequentemente saturados por longos períodos.

Figura 33. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), misto (2º nível), planície de inundação (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

Do ponto de vista hidrogeomorfológico, essas AUs se formam e se mantêm a partir da interação entre a dinâmica hidrológica fluvial, incluindo cheias sazonais e escoamento superficial lateral, e os processos de deposição em zonas de baixa declividade. Essa combinação de fatores confere às planícies um regime predominantemente misto, em que coexistem mecanismos de alagamento por inundação e por exsudação freática. A recorrência desses processos resulta em alta conectividade entre as AUs e a rede de drenagem, com trocas frequentes de água, sedimentos e matéria orgânica entre os compartimentos.

As feições úmidas mais comuns incluem lagoas marginais, brejos, paleocanais, leques aluviais e fundos de vales rebaixados. Sua distribuição espacial reflete a organização morfológica das planícies, que, embora predominem áreas de relevo plano, apresentam localmente colinas e elevações topográficas que fragmentam parcialmente a continuidade desses sistemas. A presença de canais meandantes ativos, diques marginais e as variações microtopográficas influenciam diretamente a dinâmica hídrica das planícies, condicionando a frequência, a intensidade e a duração dos alagamentos. Esses fatores controlam não apenas o regime de saturação do solo, mas também a configuração morfológica e a tipologia das AUs, que variam conforme a posição na paisagem e o grau de conectividade com a drenagem principal.

A Figura 33 apresenta o baixo curso do rio São Domingos, caracterizado pela presença de uma planície entulhada por sedimentos recentes e depósitos aluvionares, formando uma extensa AU. Trata-se de um afluente do rio São Francisco, cujo trecho é hidrologicamente marcado por um regime misto: a área é alagada durante eventos de cheia, mas também recebe recarga hídrica oriunda de inundações. Esta é uma das AUs de grande extensão situadas ao longo do rio São Francisco, com forte ligação à rede fluvial e ao aporte contínuo de sedimentos.

Na Figura 34, é possível observar as AUs situadas na planície de inundação do rio São Francisco. Essas AUs se concentram principalmente ao longo das margens convexas (ou margens internas), onde predominam os processos de deposição de sedimentos. A área é sazonalmente inundada e, após a retração do nível da água, apenas alguns pontos específicos permanecem com lâmina d'água. Essas características de maior permanência da água estão relacionadas a pequenas variações na morfologia do terreno e no substrato adjacente.

As AUs localizadas nas margens do rio São Francisco também sofrem interferência antrópica, principalmente por meio de intervenções que visam a drenagem dessas áreas, o que pode afetar a dinâmica hidrogeomorfológica e influenciar na distribuição da umidade residual. O perfil topográfico evidencia como a planície do rio São Francisco se apresenta bem

demarcada em relação aos compartimentos adjacentes, favorecendo a maior concentração de água e sedimentos.

Nesse contexto, essas AUs são classificadas segundo os processos de sedimentação, apresentam hidrologia de alimentação mista e estão inseridas no contexto geomorfológico de planície de inundação. As setas azuis indicam outras tipologias de AUs também situadas na planície de inundação, como meandros abandonados e lagoas.

Figura 34. Classificação de AUs: sedimentação (1º nível), misto (2º nível), planície de inundação (3º nível).



Fonte: A autora (2025).

6 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS RESULTADOS

A abordagem integrada entre o mapeamento geomorfológico e a classificação hidrogeomorfológica permitiu uma análise mais completa da paisagem do Alto São Francisco. O mapeamento geomorfológico delimitou as unidades e subunidades com base nos aspectos litoestruturais, morfológicos, hidrológicos e topográficos. Essas informações foram fundamentais para identificar os compartimentos da paisagem com maior potencial para a ocorrência de AUs, em consonância com perspectivas já discutidas por Verstappen ao relacionar formas de relevo e processos à esses sistemas.

A partir dessa base, a classificação hidrogeomorfológica considerou os processos geomorfológicos e hidrológicos e a posição das AUs. Com isso, foi possível classificar as AUs de forma mais precisa, relacionando diretamente suas características com os contextos geomorfológicos em que ocorrem. Essa análise integrada mostrou que a geomorfologia influencia diretamente a gênese, a distribuição e o tipo de AUs encontradas, aspecto amplamente reconhecido pela literatura internacional (Brinson, 1993; Semeniuk e Semeniuk, 1995; Tooth e McCarthy, 2007) e em avanços recentes no contexto brasileiro (Gomes e Magalhães Júnior, 2018; Silva, Souza e Guerra, 2023). A combinação entre os dois eixos, geomorfológico e hidrogeomorfológico, permitiu não apenas identificar as AUs, mas também compreender os fatores que controlam a sua presença na paisagem.

Ressalta-se que os níveis de abordagem e análise utilizados para o mapeamento geomorfológico e a classificação hidrogeomorfológica são distintos. O mapeamento opera em uma escala regional, tratando dos conjuntos de formas de relevo que estruturam a área de estudo, enquanto a classificação foca em um nível mais detalhado, na escala das AUs, considerando formas e processos associados a amostras pontuais dentro do contexto das subunidades, especialmente na escala das vertentes.

O mapeamento geomorfológico teve ênfase na identificação de subunidades baseadas em elementos morfológicos, estruturais, litológicos e hidrológicos. A delimitação dessas subunidades permitiu representar feições geomorfológicas regionais em uma escala inédita para a área, possibilitando a compreensão das interações entre forma, estrutura e processo na organização da paisagem regional. Essa perspectiva proporcionou compreender as características que mais contribuem para o entendimento da compartimentação do relevo e da gênese e ocorrência das AUs, reforçando a importância da compartimentação geomorfológica para fins ambientais (Ross, 1992; Florenzano, 2008).

As descrições das subunidades revelaram a diversidade geomorfológica da região, que se reflete em uma maior variedade de AUs e nos processos que as formam. Neste sentido, trabalhos como o de Gomes e Magalhães Júnior (2020), também destacam a diversidade de AUs em diferentes contextos hidrogeomorfológicos. Além disso, o sistema fluvial se confirma como um fator central na ocorrência de AUs tropicais, conforme evidenciado por Latrubesse e Suizu (2022) e Junk *et al.*, (1989).

A análise morfométrica, fundamentada em índices como o ICR e TWI, possibilitou quantificar e comparar os compartimentos do relevo, demonstrando correlações relevantes. Observou-se, por exemplo, uma tendência de relação negativa entre rugosidade e umidade, evidenciando padrões morfométricos distintos em diferentes compartimentos da paisagem. Esses índices foram fundamentais para a identificação de zonas potenciais para a ocorrência de sistemas hidrogeomorfológicos diversos, em consonância com outros trabalhos (Guasselli, Simioni e Laurent (2020).

Do ponto de vista metodológico, a combinação de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, análises estatísticas e observações de campo mostrou-se eficaz na identificação e caracterização das subunidades. Os índices utilizados desempenharam bem a função de integrar relações entre formas, processos e a estruturação da paisagem. Contudo, limitações inerentes à qualidade do MDE e à escala de análise influenciaram a detecção das formas de relevo, impondo certa generalização espacial. Ademais, esses índices não explicam integralmente os processos hidrológicos e geomorfológicos que moldam a paisagem, demandando a incorporação de outras variáveis ambientais, como cobertura do solo, permeabilidade dos materiais geológicos e variabilidade climática. Uso da Tecnologia e Geomorfologia (Viles, 2016)

Em síntese, os métodos adotados foram eficientes para a delimitação e interpretação inicial das subunidades geomorfológicas. Avanços futuros poderão se beneficiar da aplicação de técnicas mais sofisticadas de modelagem espacial, análises multicritério, aprendizado de máquina, séries temporais de precipitação, dados de uso e cobertura da terra, além de análises laboratoriais, como granulometria e taxas de denudação (Trindade, 2016; Oliveira, 2021).

A análise da distribuição das unidades, baseada nas características morfológicas, contribui para a espacialização das formas do relevo e auxilia no entendimento da dinâmica da energia potencial da região, impactando diretamente processos de erosão, transporte e deposição. A identificação das zonas de maior ocorrência de processos erosivos e áreas de deposição aprofunda a compreensão da dinâmica dos materiais na bacia e sua contribuição para a formação do relevo, em linha com estudos investigando a relação sedimentar em AUs.

Em resumo, a análise das subunidades revelou importantes variações espaciais na distribuição e nas características das AUs ao longo da paisagem do Alto São Francisco. Essas diferenças estão diretamente relacionadas as características como litologia, topografia, rugosidade, umidade e organização da rede de drenagem, que são fatores centrais para a ocorrência dos sistemas úmidos. Esses resultados contribuem para trabalhos anteriores que apontavam para essas relações na área de estudo.

Subunidades com relevo mais plano, baixa rugosidade e presença de materiais inconsolidados, como colúvios e depósitos aluvionares, apresentam maior densidade de AUs. Nesses compartimentos, predominam feições associadas a planícies de inundação e depressões topográficas, onde há favorecimento ao acúmulo de água e permanência de umidade no solo. Já em unidades com relevo mais movimentado, maiores declividades e forte dissecação, a ocorrência de AUs é mais restrita, limitando-se a trechos específicos ao longo dos canais ou encostas com características hidromórficas localizadas.

Além da quantidade, também há variação no tipo de AU predominante entre as subunidades. Nas proximidades das principais drenagens e especialmente no baixo curso (zonas de confluência com o rio São Francisco), observa-se maior frequência de AUs associadas a planícies aluviais sazonalmente inundáveis ou de regime misto Junk *et al.*, (1989). Em contrapartida, os compartimentos serranos e planálticos são mais comuns as AUs isoladas, onde predominam o alagamento, ou associada à rede de drenagem (Furlan *et al.*, 2023).

Portanto, o mapeamento geomorfológico permitiu identificar um gradiente espacial de potencial de sistemas úmidos, com predomínio das AUs nas planícies e depressões, menor ocorrência nos planaltos e patamares e escassez nas serras. Esse padrão está intimamente relacionado à interação entre fatores geológicos, topográficos e hidrogeomorfológicos, oferecendo uma base sólida para a análise e classificação posterior das AUs.

Essas variações espaciais indicam e corroboram trabalhos anteriores que a geomorfologia exerce um papel fundamental na definição dos sistemas úmidos. A articulação entre forma do relevo, dinâmica hidrológica e as características do substrato geológico determina tanto a presença quanto o funcionamento das AUs em cada subunidade. Dessa forma, a interação integrada desses elementos cria condições específicas que contribuem para a definição da tipologia, da extensão e das funções das AUs.

A análise hidrogeomorfológica permitiu aprofundar a interpretação do mapeamento geomorfológico, oferecendo uma leitura mais detalhada das condições que favorecem a formação e permanência das AUs. A partir da integração entre as duas abordagens, foi possível diferenciar as tipologias de AUs pelos processos morfogenéticos, hidrológicos e locacionais

(Bullock e Acreman, 2003). Com isso, foi possível distinguir configurações espaciais e funcionais recorrentes que explicam parte da organização hidrogeomorfológica das paisagens úmidas do Alto São Francisco.

Os processos morfogenéticos atuantes influenciam diretamente a formação, o tipo e a dinâmica das AUs. Nas áreas com predomínio de processos sedimentares, como planícies fluviais, a deposição de sedimentos favorece a formação de superfícies rebaixadas e frequentemente possuem alta conectividade com a rede hidrográfica (Heiler, 1995). Nesses contextos, observou-se predominância de AUs associadas a processos hidrológicos mistos, que combinam a inundação fluvial durante períodos de cheia com alagamentos por saturação do solo em condições de baixa energia (Lu, Deng e Zhang, 2007).

Nas áreas marcadas por processos erosivos, como cabeceiras de drenagem e áreas de topo, a atuação dominante da erosão restringe a formação de sistemas úmidos amplos. Contudo, é possível observar a ocorrência de AUs localizadas, frequentemente associadas a trechos de início de drenagem, ou feições isoladas. Nesses casos, o padrão predominante é o alagamento, no qual a saturação ocorre por retenção local em microdepressões ou vales encaixados, com fraca conectividade hidrológica.

Embora os processos erosivos tendam a formar uma drenagem eficiente, com pouca retenção de água, em certos pontos específicos a umidade pode se acumular. Isso pode ocorrer quando o relevo apresenta alguma barreira ou rebaixamento que impede o escoamento, ou quando fluxos subterrâneos emergem e mantêm o solo saturado. Assim, mesmo em ambientes erosivos, é possível haver pequenas AUs associadas à topografia local ou à dinâmica do nível freático (Vasconcelos *et al.*, 2013).

Nas áreas condicionadas por processos de dissolução, foi possível identificar, principalmente, as AUs desenvolvidas em depressões fechadas ou dolinas e uvalas mal drenadas (Timo, 2014). Esses ambientes apresentaram uma predominância de alagamento como processo hidrológico principal, uma vez que a água se acumula em feições topograficamente rebaixadas e com drenagem interna limitada (Lucon *et al.*, 2020). A associação entre dissolução e alagamento reforça a importância do controle litológico e morfológico na gênese dessas áreas, que tendem a apresentar maior estabilidade hídrica e estabilidade espacial (Timo e Travassos, 2023).

Por fim, a ocorrência de AUs associadas exclusivamente à inundação foi fortemente relacionada aos setores de planícies aluviais bem definidas, com baixa declividade e alta conectividade fluvial. Essas áreas, em sua maioria, estão inseridas em contextos sedimentares recentes e ativos, onde a dinâmica fluvial é o principal vetor de modelagem da superfície. A

recorrência de inundações periódicas confere a essas áreas um caráter funcional distinto, com alta variabilidade sazonal e importância no amortecimento de cheias e na recarga hídrica.

Esse contexto evidencia que os processos morfogenéticos não apenas moldam a paisagem, mas também condicionam o modo de funcionamento hidrológico das AUs. A gênese e a tipologia desses sistemas, portanto, são resultados da interação entre forma, materialidade e dinâmica da paisagem, e de como esses três elementos atuam juntos em cada local. Isso reforça a centralidade da abordagem hidrogeomorfológica para a compreensão dos padrões espaciais e funcionais das AUs em escala regional.

A discussão integrada entre o mapeamento geomorfológico e a classificação hidrogeomorfológica das AUs no Alto São Francisco evidenciou a relevância da abordagem hidrogeomorfológica para a compreensão da distribuição, tipologia e funcionamento desses ambientes na paisagem (Augustin, Melo e Aranha, 2009; Trindade, 2016; Gomes e Magalhães Júnior, 2020; Oliveira *et al.*, 2021; Guimarães, Barros e Felipe, 2022; Borges e Costa, 2021; Araújo, Oliveira e Ribeiro, 2022 Silva, Souza e Guerra, 2023).

Os resultados demonstraram que as características geomorfológicas das subunidades, como litologia, rugosidade, topografia e organização da drenagem, condicionaram a presença, densidade e o tipo de AUs. Ao associar esses elementos a processos morfogenéticos, comportamento hidrológico e posição topográfica, foi possível identificar padrões hidrogeomorfológicos recorrentes e compreender os mecanismos que sustentam a gênese das AUs (Grenfell *et al.*, 2019).

A análise revelou que diferentes processos morfogenéticos (erosão, dissolução, sedimentação) resultam em distintos tipos de AUs, com variados graus de conectividade hidrológica. Essa abordagem contribui não apenas para a classificação hidrogeomorfológica das AUs, mas também para a compreensão de suas funções no contexto da bacia hidrográfica (Mitsch e Gosselink, 2015). Assim, possibilita interpretar o papel que cada AU desempenha na dinâmica hidrossedimentológica e na conectividade entre diferentes setores da paisagem.

Além das contribuições científicas, os resultados obtidos oferecem subsídios práticos para o planejamento ambiental e a conservação das AUs, identificar zonas prioritárias e delimitar feições sensíveis (Guasselli, 2018). As limitações do estudo, relacionadas à escala, à escassez de dados de campo e à não integração com variáveis ecológicas, abrem caminho para futuras pesquisas que ampliem e aprofundem a abordagem adotada. Nesse sentido, integrar variáveis hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas representa uma agenda promissora tanto para a ciência quanto para a gestão ambiental e territorial (Junk *et al.*, 2013)

Assim, a pesquisa reforça a importância da perspectiva hidrogeomorfológica aplicada às AUs, propondo uma base conceitual e metodológica capaz de apoiar ações de diagnóstico, monitoramento e gestão em áreas onde esses ambientes cumprem funções hidrológicas e ecológicas essenciais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação teve como objetivo geral investigar os condicionantes litoestruturais e hidrogeomorfológicos e sua influência sobre a distribuição espacial, a configuração e a tipologia das AUs no Alto São Francisco. A abordagem adotada articulou métodos de mapeamento geomorfológico com uma proposta de classificação hidrogeomorfológica, permitindo uma análise integrada entre forma, materialidade e dinâmica da paisagem.

O mapeamento geomorfológico, voltado à identificação de compartimentos da paisagem, permitiu também reconhecer compartimentos com condições favoráveis à ocorrência de AUs, com destaque para as litologias com maior capacidade de retenção, como as pelito-carbonáticas e depósitos recentes, setores influenciados por aspectos morfotectônicos e morfoestruturais. Esses elementos se mostraram determinantes na distribuição e organização espacial das AUs na bacia, atendendo ao primeiro objetivo específico da pesquisa.

A investigação dos atributos geomorfológicos, como litologia, rugosidade, topografia e umidade, permitiu identificar relações entre esses elementos e a configuração espacial das AUs. Ambientes controlados por processos fluviais apresentaram tipologias associadas

A proposta de classificação hidrogeomorfológica das AUs, fundamentada nos processos morfogenéticos (sedimentação, dissolução, erosão), nos processos hidrológicos (inundação, alagamento e misto) e no padrão de inserção na paisagem, atendeu ao terceiro objetivo específico, permitindo a identificação de tipologias distintas com aplicações funcionais relevantes para a dinâmica hidrosedimentológica da bacia. Essa classificação contribui para a sistematização técnico-científica das AUs e amplia o entendimento sobre o seu papel geomorfológico e hidrológico em escala regional.

Como limitações, destaca-se a ausência de dados temporais que permitam uma avaliação sazonal da dinâmica hídrica das AUs, bem como a carência de validação em campo de algumas áreas de difícil acesso. Recomenda-se para estudos futuros, a incorporação de séries temporais de imagens de satélite, dados hidrológicos e levantamento de campo em maior escala, a fim de aprimorar a caracterização funcional desses ambientes e investigar sua resiliência frente às pressões antrópicas e às mudanças climáticas.

De forma geral, a pesquisa demonstrou que os condicionantes hidrogeomorfológicos exercem papel estruturante na gênese e no funcionamento das AUs do Alto São Francisco, reforçando a importância de abordagens integradas para estudos voltados à caracterização e a gestão desses sistemas. Os resultados obtidos oferecem subsídios para a delimitação de áreas

prioritárias à conservação, o planejamento territorial e a compreensão das interações entre relevo e água em paisagens do interior continental.

REFERÊNCIAS

- AARÃO, G. M.; OLIVEIRA, D. A.; ARAÚJO, R. R. S.; SILVA, N. J. OCORRÊNCIA DE PULSOS DE INUNDAÇÃO NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO: ANÁLISE DO NÍVEL DO RIO DE 1977 A 2015. In: III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Anais...**Belo Horizonte (MG) Online, 2020.
- ABREU, A. A. de. **Análise geomorfológica**: reflexão e aplicação (uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto de Diamantina, MG). 1982. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- AHNERT, F. *et al.* Fluvial Processes in Geomorphology. **Geographical Review**, v. 55, n. 3, 1965.
- ALENCAR-SILVA, T.; MAILLARD, P.. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruaçu. **Revista Geografias**, v. 7, n. 2, 2011.
- ALKMIM, F. F. O QUE FAZ DE UM CRÁTON UM CRÁTON? O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E AS REVELAÇÕES ALMEIDIANAS AO DELIMITÁ-LO. In: MANTESSO-NETO, Virginio et al (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 17-25.
- ANDRADE, R. G. *et al.* Mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração no Pantanal usando técnicas de sensoriamento remoto. **Anais...** 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009.
- ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Utilização do GPR para auxiliar na compreensão da evolução da paisagem: estudo de caso do Parque Estadual Veredas do Peruaçu: MG, Brasil. **Para desenvolver a Terra: memórias e notícias de Geociências no espaço lusófono**. [S.l: s.n.], 2012.
- ARAÚJO, R. R. S.; OLIVEIRA, D. A.; RIBEIRO, E. V. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA OCORRÊNCIA DE LAGOAS MARGINAIS NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 32, n. 71, p. 1292- 1316, 26 out. 2022. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2022v32n71p1292>.
- ARRUDA, E. C.; NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. Área Alagável do Rio Araguaia: Classificação dos Macrohabitats de uma Grande Área Úmida Savânica Tropical. **Biodiversidade Brasileira**, v. 13, n. 2, 2023.
- ASSUNÇÃO, P. *et al.* Hydrodynamic and hydrodispersive behavior of a highly karstified neoproterozoic hydrosystem indicated by tracer tests and modeling approach. **Journal of Hydrology**, v. 619, p. 129300, 1 abr. 2023.

- AUGUSTIN, C. H. R. R.; MELO, D. R. De; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 103–114, 2009.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. The karst geomorphology of Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 47, n. 4, p. 405–431, 2003.
- BARBOSA TIMO, M.; PANISSET TRAVASSOS, L. E. Geomorphological units in Arcospains karst region, Minas gerais, Brazil. **Acta Carsologica**, v. 52, n. 2–3, p. 219–228, 13 dez. 2023.
- BAZZO, J. C.; FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L.; CARDOS, E. L.; SANTOS, S. A. ASPECTOS GEOFÍSICOS E AMBIENTAIS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA. **Revista de Geografia (Recife)**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 141–161, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228920>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- BENTO, L. C. M. B.; RODRIGUES, S. C. Aspectos geológicos e geomorfológicos da Cachoeira de Casca D’Anta (Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais, Brasil): primeiros passos para o seu aproveitamento geoturístico. **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 43–60, 30 dez. 2019.
- BISHOP, Michael P. *et al.* Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, n. 1, 2012.
- BORGES, M. G.; COSTA, L. R. F. Da. TIPOLOGIA DE ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS EM MINAS GERAIS - BRASIL. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 69, 2022.
- BRASIL. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, 2012.
- BRASIL. PROMULGA A CONVENÇÃO SOBRE ZONAS UMIDAS DE IMPORTÂNCIA INTERNACIONAL, ESPECIALMENTE COMO "HABITAT" DE AVES AQUÁTICAS, CONHECIDA COMO CONVENÇÃO DE RAMSAR, DE 02 DE FEVEREIRO DE 1971. **Decreto Nº 1.905 de 16 de maio de 1996**. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d1905.htm. Acesso em: 28 set. 2021.
- BRASIL. **Sítios Ramsar brasileiros**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- BRIDGE, J.; DEMICCO, R. Environments of erosion and deposition. **Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits**, p. 363–364, 1 maio 2008.
- BRINSON, M. M. A hydrogeomorphic classification for wetlands. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4. **U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station**, 1993.

- BULLOCK, A.; ACREMAN, M.. The role of wetlands in the hydrological cycle. **Hydrology and Earth System Sciences**. [S.l.: s.n.].
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. ESTRATIGRAFIA E SEDIMENTAÇÃO DA BACIA SANFRANCISCANA: UMA REVISÃO. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l], v. 27, n. 3, p. 269-282, set. 1997.
- CASTRO, P. DE T. A.; DARDENNE, M. A. **The sedimentology, stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southwest boundary of the São Francisco Craton, Brazil.**, 2000. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4405>>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- CHURCH, M.. The trajectory of geomorphology. **Progress in Physical Geography**, 34-3, 2010. <https://doi.org/10.1177/0309133310363992>.
- CPRM. **CARTA GEOLÓGICA DA FOLHA SE.23-Y- D - BOM DESPACHO**. Projeto São Francisco. [S.l.]: Serviço Geológico do Brasil. 2002.
- COUTO JÚNIOR, A. F. *et al.* INTEGRAÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E IMAGEM ASTER PARA A DELIMITAÇÃO DAS FITOFISIONOMIAS DA SERRA DA CANASTRA, PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, 21 set. 2010.
- DAVIES, B. J. Geomorphological mapping: methods and applications. **Quaternary Science Reviews**, v. 42, 2012.
- DIEGUES, A. C. S. An inventory of Brazilian Wetlands. Gland, Switzerland, 1994.
- DIEGUES, A. C.. **Povos e águas: inventário de áreas úmidas brasileiras**. 2. ed. São Paulo: NUPAUB-USP, 2002 597 p. ISBN 8587304062.
- DINIZ, M. T. M. *et al.* MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 689–701, 1 out. 2017.
- DRAMIS, F.; GUIDA, D.; CESTARI, A. Nature and aims of geomorphological mapping. *Em: Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. [s.l.] Elsevier , 2011. p. 39–73.
- ETCHELAR, C. B.; ALEGRE, P. Processos erosivos em áreas úmidas, APA do Banhado Grande - RS. 2017.
- EVANS, I. S. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? **Geomorphology**, v. 137, n. 1, p. 94–106, 15 jan. 2012.
- FERREIRA, D. B. *et al.* Pluviometric patterns in the São Francisco River basin in Minas Gerais, Brazil. **RBRH**, v. 26, 2021. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312021000100222&tlng=en>.

FERREIRA, Eloisa Aparecida Belleza *et al.* Influência de variações ambientais sobre o fluxo de CO₂ em solos sob Campo Limpo Úmido no Cerrado. **II Simpósio internacional de Savanas Tropicais**, v. 3, 2008.

FLUET-CHOVINARD, E. *et al.* Extensive global wetland loss over the past three centuries. **Nature**, v. 614, n. 7947, p. 281–286, 9 fev. 2023.

FRANÇA, A. M. da S.; SANO, E. E. Mapeamento de áreas de campo limpo úmido no Distrito Federal a partir de fusão de imagens multiespectrais. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 2, 2011.

FUMIYA, M. H. *et al.* EMPREGO DO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES MORFOLÓGICAS ASSOCIADA A MATERIAIS FERRUGINOSOS NO NOROESTE DO PARANÁ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, 2016.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. [Belo Horizonte: s.n.], 2003.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. dos. HIDROGEOMORFOLOGIA: PRINCÍPIOS, CONCEITOS, PROCESSOS E APLICAÇÕES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 103-111, jun. 2012.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. CLASSES HIDROGEOMORFOLÓGICAS DE ÁREAS ÚMIDAS EM MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 1 abr. 2020.

GONCALVES, S. R. A. G.; CUNHA, C. N. DA; JUNK, W. J. SMALL WETLANDS IN THE BRAZILIAN SAVANNA(CERRADO): AN UNDERESTIMATED FRESHWATER RESOURCE. **Proficientia**, n. 15, 2023.

GONÇALVES, S. R. A. *et al.* METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE ÁREA ÚMIDAS E SEUS MACROHABITATS: O CASO DO SITIO RAMSAR RPPN SESC PANTANAL. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**. [S.l: s.n.], 2022.

GRAF, W. L. **Fluvial Sediment in Dryland Rivers**. [S.l: s.n.], 1988.

GREGORY, K. J. *et al.* Communicating geomorphology: Global challenges for the twenty-first century. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 4, 2014.

GRENFELL, S. *et al.* A Genetic Geomorphic Classification System for Southern African Palustrine Wetlands: Global Implications for the Management of Wetlands in Drylands. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, 5 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2019.00174/full>>.

GUASSELLI, L. A. **Áreas úmidas: questões ambientais**. Porto Alegre: Capes/Ufrgs/Programa de Pós Graduação em Geografia/Imprensa Livre, 2018. 347 p. ISBN 978.85.7697.468.0.

GUASSELLI, L. A.; SIMIONI, J. P. D.; LAURENT, F. Mapping and classification of wetlands using topographic wetness index (twi) from digital elevation models of the the gravataí river basin - Rio grande do sul state (Rs), Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 639–659, 1 set. 2020.

GUIMARÃES, I. P.; RODRIGUES, R.; FELIPPE, M. RECONHECIMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS NO DOMÍNIO DOS MARES DE MORRO. **Revista de Geografia - PPGEO - UFJF**, v. 12, n. Especial, p. 72–85, 7 mar. 2022.

GUMBRICHT, T. *et al.* An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3581–3599, 1 set. 2017.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. Geologia do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, 2012.

HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. *et al.* A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, 2022.

HEILER, G. *et al.* Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 11, n. 3–4, 1995.

HERNÁNDEZ-ROMERO, G. *et al.* From Forest Dynamics to Wetland Siltation in Mountainous Landscapes: A RS-Based Framework for Enhancing Erosion Control. **Remote Sensing** 2022, Vol. 14, Page 1864, v. 14, n. 8, p. 1864, 13 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa geomorfológico do Brasil** – escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Série Geociências).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa geomorfológico**. Geomorfologia 1:250.000. Série Recursos Naturais do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Bacias e Divisões Hidrográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

JULIEN, P. Y. **Erosion and Sedimentation**. [s.l.] Cambridge University Press, 2010.

JUNK, W. J. *et al.* Current state of knowledge regarding the world’s wetlands and their future under global climate change: A synthesis. **Aquatic Sciences**, v. 75, n. 1, p. 151–167, 30 jan. 2013.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, n. 106, 1989.

KELLER, C. P. Geographic information systems for geoscientists: Modelling with GIS. **Computers & Geosciences**, v. 21, n. 9, 1995.

- KOLKA, R. K.; THOMPSON, J. A. Wetland geomorphology, soils, and formative processes. *Em: Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. [s.l: s.n.]. .
- KUCHENBECKER, M.; PEDROSA-SOARES, A. C. O GRUPO BAMBUÍ NA FOLHA LUZ (SE-23-Y-D-V). *Geonomos*, 15 fev. 2013.
- LATRUBESSE, E. M.; SUIZU, T. M. The Geomorphology of River Wetlands. **Encyclopedia of Inland Waters**, Second Edition. [S.l.]: Elsevier, 2022. v. 3. p. 33–50.
- LU, J. Ecological Significance and Classification of Chinese Wetlands. *Vegetatio*, v. 118, n. 1/2, p. 49–56, 1995.
- LU, X. N.; DENG, W.; ZHANG, S. Q.. Flood pulse concept and its application in river-floodplain system. *Chinese Journal of Ecology*, v. 26, n. 2, 2007.
- LUCON, T. N. *et al.* Recharge sources and hydraulic communication of karst aquifer, São Miguel watershed, MG, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 100, p. 102591, 1 jun. 2020.
- MALTBY, E.; BARKER, T. **The Wetlands Handbook**. [s.l: s.n.].
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2020.
- MAGALHÃES, P. M. **Análise estrutural qualitativa das rochas do Grupo Bambuí, na porção sudoeste da bacia do São Francisco**. 1989. 119 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 1989.
- MANSON, S. M.; BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. *Economic Geography*, v. 75, n. 4, 1999.
- MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA FOLHA PIUMHI, REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO, MINAS GERAIS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 1, 29 mar. 2016.
- MARTINS, F. C.; RODRIGUES, S. C. Tectônica, relevo e neotectônica no Médio São Francisco (MG): implicações geomorfológicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 3, p. 489–504, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.951>.
- MARTON, J. M. *et al.* Geographically Isolated Wetlands are Important Biogeochemical Reactors on the Landscape. *BioScience*, v. 65, n. 4, p. 408–418, 1 abr. 2015.
- MELO, D. R.; ESPINDOLA, C. R. As veredas nos planaltos de Buritizeiro/MG: estágio atual dos conhecimentos. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 31, 2006.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Minas e Energia. **Projeto São Francisco: Província mineral Bambuí (MG)**. Belo Horizonte: [s. n.], 1999.

- MITSCH, W. J., GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 5. Ed. New Jersey: Wiley, 2015.
- MOREIRA, V. M.; FACURY, D. M.; ARAÚJO, R. R. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Particularidades das áreas úmidas na bacia do Alto Rio São Francisco - MG: caracterização e tipificação na bacia do rio Picão. 14º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...Corumbá: 2023** Disponível em: <<https://www.sinageo.org.br/2023/trabalhos/3/403-12.html>>. Acesso em: 19 maio. 2025.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. da. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s. l], v. 403, p. 853-858, fev. 2000.
- NAZAR, T. I. S. M.; RODRIGUES, S. C. Análise comparativa de geocoberturas em três vertentes no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra-MG, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 1–18, 23 jan. 2020.
- NAZAR, T. I. S. M.; RODRIGUES, S. C. RELEVO DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA/MG, BRASIL: COMPARTIMENTAÇÃO E ANÁLISE A PARTIR DOS ASPECTOS GEOMORFOMÉTRICOS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2 jan. 2019.
- OLIVEIRA, D. A. “Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do rio pandeiros - MG. 2019. 418 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
- OLIVEIRA, D. *et al.* Wetland dynamics at the transition between humid and semiarid environments of inland Brazil: São Francisco river morphodynamics and implications for the Pandeiros wetland. **EGUGA**, p. EGU21-9075, 4 mar. 2021.
- OLIVEIRA, P. *et al.* Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: C.R.G. Souza, K. Suguio, A.M.S.P. Oliveira & P.E. Oliveira (eds.). **Quaternário do Brasil**, Holos Editora, Ribeirão Preto, p. 52-74, 2005.
- PAIXÃO, E. *et al.* Buscando Soluções Sustentáveis para Áreas Úmidas Savânicas Brasileiras via Uso Múltiplo. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 2, n. 2, p. 19–33, 2019.
- PELECH, A. S. *et al.* CONSIDERAÇÕES SOBRE O MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO: ALGUMAS ABORDAGENS NA REPRESENTAÇÃO REGIONAL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 681–690, 1 jul. 2019.
- PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. Desenvolvimento regional como política do Rio São Francisco. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Campinas, v. 18, n. 0, p. 61-75, 2018.
- PEREIRA, S. B. *et al.* Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, 2007.

PHILLIPS, J. D. FLUVIAL SEDIMENT STORAGE IN WETLANDS. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 25, n. 4, 1989.

PIÉGAY, H., KONDOLF, M.; G., MINEAR, T. J.; VAUDOR, L.. Trends in publications in fluvial geomorphology over two decades: A truly new era in the discipline owing to recent technological revolution? **Geomorphology**, 248, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.039>.

PINTO, C P; MARTINS-NETO, M A. **Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais**. [S.l: s.n.], 2001. v. 349.

PULIN CH. BORAH, N. N. Distribution and Genesis of Wetlands in Nagaon District, Assam: A Geomorphological Perspective. **Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology**, v. 44, n. 3, 2023.

RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People. **Global Wetland Outlook**. Gland Switzerland, 2018.

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. **Wetlands Disappearing Three Times Faster than Forest**.

____. **Global Wetland Outlook Global Wetland Outlook: Special Edition 2021**. [s.l: s.n.].

____. The Canastra Range: On the Way to São Francisco River Spring. *Em: World Geomorphological Landscapes*. [s.l.] Springer, 2015. p. 349–357.

____. World wetlands classification: a new hierarchic hydro-ecological approach. **Wetlands Ecology and Management**, v. 32, n. 6, p. 975–1001, 1 dez. 2024.

REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil**. Águas doces no Brasil. Tradução. São Paulo: Escrituras, 2006.

REZENDE, É. A.; SALGADO, A. A. R.; CASTRO, P. DE T. A. EVOLUÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS CONEXÕES ENTRE AS BACIAS DOS RIOS GRANDE E SÃO FRANCISCO NO SUDESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 3, 1 jul. 2018.

RIBEIRO, E. V.. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: metais pesados e atividades antropogênicas**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; NAZAR, T. I. S. M. Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 1, 31 mar. 2023.

ROSS, J. L. S. O REGISTRO CARTOGRÁFICO DOS FATOS GEOMORFOLÓGICOS E A QUESTÃO DA TAXONOMIA DO RELEVO. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17–29, 1992.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: Tensões Intra-placa, Descontinuidades Crustais e Morfogênese**. 1–290 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.

SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira. In: C.R.G. Souza, K. Suguio, A.M.S.P. Oliveira & P.E. Oliveira (eds.). **Quaternário do Brasil**, Holos Editora, Ribeirão Preto, p. 211-234, 2005.

SALDANHA, D. S.; COSTA, D. F. DA S. Classificação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas na zona estuarina do Rio Piancó-Piranhas-Açu (Nordeste, Brasil). **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 3, 2019.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE: UMA NOVA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO SUBSÍDIO A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

SANTOS, F. C. DOS; CONFESSOR, J. G. Geoquímica e geocronologia em campos de murunduns no Chapadão do Diamante –Serra da Canastra-MG. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 1, 2020.

SANTOS, L. J. C. *et al.* Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 16 dez. 2006.

SEIJMONSBERGEN, A. C.; HENGL, T.; ANDERS, N. S. Semi-Automated Identification and Extraction of Geomorphological Features Using Digital Elevation Data. *Em: Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 297–335.

SEMENIUK, C. A.; SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. **Vegetation** v. 118, n. 1–2, 1995.

SEMLITSCH, R. D.; BODIE, J. R. Are small, isolated wetlands expendable? **Conservation Biology**, v. 12, n. 5, p. 1129–1133, 1998.

SHARMA, V. K. **Introduction to process geomorphology**. [s.l.: s.n.].

SIDLE, R. C.; ONDA, Y.. Hydrogeomorphology: Overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 4, 2004.

SIGNORELLI, N. *et al.* Extensão areal da formação Serra da Saudade, grupo Bambuí, para a região centro-sul de Minas Gerais. **Anais do Repositório Institucional de Geociências**, n. 1, 2008.

SILVA, I. T. TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA TREINAMENTO DE FOTOINTERPRETES NA AVALIAÇÃO VISUAL DE ÁREAS ÚMIDAS E DE MANCHAS E CICATRIZES DE QUEIMADAS OU INCÊNDIOS. **Revista de Geociências do Nordeste**, 2021.

SILVA, G. A.; BORGES, Matheus dos Santos; RODRIGUES, Silvio Carlos. Avaliação geomorfométrica de campo de murundus no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 36–51, 23 jan. 2020.

SILVA, F. D. DA. “POR QUE O RIO PICÃO ESTÁ SECANDO?” UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA A PARTIR DE UM TEMA GERADOR. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

SILVA, F. L. DA *et al.* ÁREAS ÚMIDAS BRASILEIRAS: BASES PARA O GERENCIAMENTO, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 79, p. 97–111, 1 fev. 2021.

SILVA, L. A. DA *et al.* Pedogenesis of pelitic rocks of the Serra da Saudade Formation - Bambuí Group. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 48, 25 mar. 2024.

SILVA, M. O.; SOUZA, J. O. P. DE; GUERRA, M. D. F. Hidrogeomorfologia de Áreas Úmidas da Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 1, 2023.

GOMES, C. S.; MAGALHAES JÚNIOR, A. P. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS NO BRASIL E NO MUNDO: PANORAMA ATUAL E IMPORTÂNCIA DE CRITÉRIOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS / WETLANDS CLASSIFICATION SYSTEMS IN BRAZIL AND THE WORLD: CURRENT OVERVIEW AND THE IMPORTANCE OF HYDROGEOMORPHOLOGICAL PARAMETERS. **Geo UERJ**, n. 33, p. e34519, 31 dez. 2018.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. APARATO CONCEITUAL SOBRE ÁREAS ÚMIDAS (WETLANDS) NO BRASIL: DESAFIOS E OPINIÕES DE ESPECIALISTAS. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 3, 2017.

SMITH, M. J. Digital Mapping. Visualisation, Interpretation and Quantification of Landforms. *Em*: **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 225–251.

SOUZA, D. A. DE; RODRIGUES, S. C. ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS E MORFOESCULTURAIS DA SERRA DA CANASTRA E ENTORNO (MG). **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 27, 2014.

SOUZA, L. H. DE F.; FERREIRA, I. L.; RODRIGUES, S. C. Cartografia digital aplicada ao mapeamento geomorfológico. **Sociedade & Natureza**, v. 16, n. 30, 18 abr. 2006.

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

TIMO, T. A. **Análise do relevo cárstico na região de Arcos–MG**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

- TIMO, T. A.; TRAVASSOS, L. Carste exumado e a influência do clima tropical na evolução de paisagens cársticas no Brasil Central. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 21, n. 1, p. 55–72, jan./jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46551/rc24482692202314>.
- TINER, R. W. Geographically isolated wetlands of the United States. **Wetlands**. v. 23, n. 3, p. 494–516, 2003.
- TINER, R. W.; LANG, M. W.; KLEMAS, V. V. **Remote sensing of wetlands: Applications and advances**. [s.l.: s.n.].
- TOOTH, S. The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or ...? **Geomorphology**, 305, 33–48, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.017>.
- TOOTH, S.; ELLERY, F.; GRENFELL, M.; THOMAS, A.; KOTZE, D.; RALPH, T. 10 Reasons why the geomorphology of wetlands is important. S.L: Wetlands In Drylands Research Network, 2015. 32 p. Disponível em: <http://wetlandsindrylands.net/wp-content/uploads/2015/10/10-Reasons-Geomorphology-of-Wetlands-NEAR-FINAL-FULL-COLOUR.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- TOOTH, S.; MCCARTHY, T. S. Wetlands in drylands: Geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern Africa. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 1, 2007.
- TOOTH, S.; NANSON, G. C. Equilibrium and nonequilibrium conditions in dryland rivers. **Physical Geography**, 21(3), 2000. <https://doi.org/10.1080/02723646.2000.10642705>.
- TRINDADE, W. M.. **Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. [s.l.] UFRGS/ABRH, 2020.
- TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no século XXI**. ISBN 9788579750120. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- UHLEIN, A. *et al.* TECTÔNICA DA FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA – SETORES SETENTRIONAL E MERIDIONAL. **Geonomos**, 2012.
- VALERIANO, C. D. M. *et al.* EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DO DOMÍNIO EXTERNO DA FAIXA BRASÍLIA NO SUDOESTE DE MINAS GERAIS: REGISTROS DE UMATECTÔNICA PRÉ-BRASILIANA. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, 1995.
- VALERIANO, C. DE M. *et al.* A evolução tectônica da Faixa Brasília. **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, 2004.
- VASCONCELOS, V. *et al.* MODELO DE EVOLUÇÃO PEDOGEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA CANASTRA, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013.

VASCONCELOS, V.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; MARTINS, Éder de Souza; COUTO JÚNIOR, Antônio Felipe. The Canastra Range: on the way to São Francisco river spring. **World Geomorphological Landscapes**, [S.L.], p. 349-357, 2015. SpringerNetherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_32.

VERSTAPPEN, H. T. Old and New Trends in Geomorphological and Landform Mapping. *Em: Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 13–38.

VILES, H. Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? In **Geomorphology** (Vol. 270), 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.011>.

WANTZEN, K. M. *et al.* Carbon Dynamics in Wetlands. *Em: Encyclopedia of Inland Waters, Second Edition*. [s.l: s.n.]. v. 3.

WILD, P. M.; QUEIROGAS, V. L. **ESTUDO ECOLÓGICO PARA A RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR DO RIO PICÃO NO MUNICÍPIO DE BOM DESPACHO-MG**. [s.l: s.n.].