

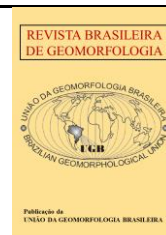


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 2 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i2.2623>



Artigo de Pesquisa

Cinco décadas de evolução morfológica e interações hidrossedimentares em uma confluência fluvial no Cerrado brasileiro

Five decades of morphological evolution and hydro-sedimentary interactions in a fluvial confluence in the Brazilian Cerrado

Pâmela Camila Assis¹, Márcio Henrique de Campos Zancopé², Luan Ferreira Siqueira³, Hudson de Azevedo Macedo⁴ e Maximiliano Bayer⁵

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), Goiânia, Brasil. pcassis@discente.ufg.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6526-6780>

² Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Goiânia, Brasil. zancope@ufg.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9778-4301>

³ Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), Goiânia, Brasil. siqueiraluan93@hotmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3524-960X>

⁴ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), Campo Grande, Brasil. hudson.macedo@ufms.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1104-7106>

⁵ Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Goiânia, Brasil. maxbayer@ufg.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0873-0564>

Recebido: 01/10/2024; Aceito: 24/04/2025; Publicado: 13/06/2025

Resumo: As confluências fluviais são zonas de intensa interação hidrossedimentar, cuja dinâmica morfológica permanece pouco compreendida em ambientes tropicais, especialmente no bioma Cerrado. Este estudo investiga as transformações morfodinâmicas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, em Aruanã (Goiás), ao longo de 51 anos (1972–2023). A pesquisa integra dados de sensoriamento remoto, batimetria e perfilagem acústica. Foram mapeadas margens, talwegues, barras arenosas, ângulo de junção e largura do canal, além do cálculo de parâmetros hidráulicos e geomorfológicos. Os resultados evidenciam alta mobilidade planimétrica, com deslocamento da junção em até 2,5 km, redução de 27° no ângulo de confluência e intensas oscilações na configuração e área das barras fluviais. Entre as décadas de 1970-2000, a confluência foi caracterizada por um recuo, resultante da erosão de parte da planície, no período de 2000-2023, observou-se um avanço da confluência, impulsionado pela formação e consolidação da barra do tributário. A dominância do rio Araguaia influencia a posição da zona de escavação e a configuração do talvegue. Verificou-se a atuação da erosão diferencial das margens, condicionada pelas unidades morfossedimentares da planície, e a colonização por vegetação na barra de tributário, promovendo estabilizações temporárias. Conclui-se que os ajustes na morfologia da confluência resultam da interação entre o regime hidrossedimentar sazonal, a litologia das margens e a migração de formas fluviais, evidenciando um sistema dinâmico e sensível às alterações no uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: Rio Araguaia; Geomorfologia Fluvial; ADCP; Batimetria.

Abstract: River confluences are zones of intense hydro-sedimentary interaction, whose morphological dynamics remain poorly understood in tropical environments, especially in the Cerrado biome. This study investigates the morphodynamic transformations at the confluence of the Araguaia and Vermelho rivers, in Aruanã (Goiás), over 51 years (1972–2023). The research integrates remote sensing data, bathymetry, and acoustic profiling. Riverbanks, thalwegs, sandbars, junction angle, and channel width were mapped, along with the calculation of hydraulic and geomorphological parameters. The results reveal high planimetric mobility, with junction displacement of up to 2.5 km, a 27° reduction in the confluence angle, and intense fluctuations in the configuration and area of fluvial bars. Between the 1970s and 2000, the confluence was characterized by a retreat due to the erosion of part of the floodplain; in the period from 2000 to 2023, an advance of the confluence was observed, driven by the formation and consolidation of the tributary bar. The dominance of the Araguaia River influences the position of the scour zone and the configuration of the thalweg. Differential bank erosion was observed, conditioned by the morpho-sedimentary units of the floodplain, as well as the colonization of the tributary bar by vegetation, promoting temporary stabilization. It is concluded that the adjustments in the confluence morphology result from the interaction between the seasonal hydro-sedimentary regime, bank lithology, and the migration of fluvial forms, highlighting a dynamic system that is sensitive to changes in land use and land cover.

Keywords: Araguaia River; Fluvial Geomorphology; ADCP; Bathymetry.

1. Introdução

As confluências de canais - também denominadas como junção fluvial - são ambientes de complexas interações entre matéria (água e sedimento) e energia. Apresentam alterações contínuas da estrutura de fluxo (descarga, velocidade, direção), morfologia do canal e do transporte de sedimentos (carga de fundo e carga suspensa), com processos biofísicos particulares e exclusivos com grande importância para o ecossistema fluvial (MILLER, 1958; BEST, 1987; BEST, 1988; BEST; ROY, 1991; RICE et al., 2008).

As junções de canais fluviais têm um papel relevante do ponto de vista ecológico, pois nelas ocorrem interações biofísicas complexas, se prestam valiosos serviços ecossistêmicos, e se encontra uma rica biodiversidade de fauna e flora, convergindo em um ambiente singular (RICE et al., 2008). Respondem, especialmente, às mudanças significativas na dinâmica de fluxo, transporte de sedimentos e na morfologia do leito que ocorrem ao longo da bacia hidrográfica (RIBEIRO et al., 2012). No passado, as confluências dos canais fluviais foram consideradas componentes negligenciados dos sistemas fluviais (BEST, 1986). Contudo, os processos geomorfológicos que ocorrem em junção de canais têm sido considerados de relevante interesse científico nas últimas décadas. Isso ocorre, pois, os processos fluviais e morfológicos nesses ambientes representam as principais características em bacias hidrográficas, ao mesmo tempo em que, desempenha um papel importante na regulação da circulação da água e sedimentos na rede de drenagem a jusante (SANTOS; STEVAUX, 2017).

O campo de pesquisa dedicado à confluência de canais teve seu marco inicial nos anos 1970 e, desde então, vem obtendo crescente impulso e reconhecimento no contexto dos estudos fluviais. Destacam-se, notavelmente, as contribuições de Mosley (1976) e Best (1988), cujas investigações se concentraram primordialmente na geomorfologia e sedimentologia. Além desses, os estudos de Mosley (1976), Best (1987), Roy et al. (1988) focaram na Hidráulica e Hidrologia das confluências de canais, enquanto as pesquisas de Petts (1984), Bruns et al. (1984) e Petts e Greenwood (1985) desempenharam um papel importante na Ecologia das junções fluviais. A avaliação da estrutura de drenagem foi abordada por Abrahams e Campbell (1976), Flint (1980) e Abrahams e Updegraph (1987). Essas contribuições, ao longo do tempo, consolidaram e enriqueceram o entendimento sobre a confluência de canais no panorama dos estudos fluviais (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Entre 1985 e 2023, o Cerrado teve uma redução de cerca de 27% de sua vegetação nativa, enquanto as áreas destinadas à agropecuária atualmente ocupam 47% de sua extensão de acordo com os dados do Projeto Mapbiomas, coleção 9 (SOUZA et al., 2020). Essa dinâmica de uso e ocupação das terras tem levado, nas últimas décadas, à classificação do bioma como "gravemente ameaçado" (SILVA, 2020). Estudos recentes apontam que o avanço da fronteira agrícola ao longo das últimas cinco décadas na bacia hidrográfica do rio Araguaia resultou em uma intensa conversão de áreas naturais para pastagens e cultivos de soja, milho e cana-de-açúcar (CASTRO, 2005; BAYER et al., 2020; GOMES et al., 2022; ASSIS et al., 2025). Entre 1985 e 2022, a região passou por mudanças significativas no uso e cobertura da terra, com redução expressiva da Formação Florestal (-44,21%), da Formação

Savânica (-41,53%) e da Formação Campestre (-34,74%). Em contrapartida, observou-se um aumento acentuado das áreas de Pastagem (+148,73%) e, principalmente, da Soja (+1581,19%) (ASSIS et al., 2025).

Esse processo de conversão alterou o volume de carga sedimentar transportada e depositada no canal do rio Araguaia, produzindo mudanças geomorfológicas e hidrológicas significativas (LATRUBESSE et al., 1999; BAYER, 2002; LATRUBESSE; STEVAUX, 2002; MORAIS, 2006; AQUINO et al., 2008; LATRUBESSE et al., 2009; COE et al., 2011; BAYER, 2010; BAYER; ZANCOPÉ, 2014; ZANCOPÉ et al., 2015; BAYER et al., 2020; SUIZU et al., 2022; SANTOS et al., 2024). O conjunto total de transformações tornou o Araguaia em uma das maiores áreas de armazenagem e transporte de sedimentos do Cerrado (LATRUBESSE et al., 2009; BAYER, 2010). Essas transformações influenciaram diretamente os parâmetros morfométricos e os elementos geomorfológicos do sistema rio-planície (número de ilhas, tipo de barras, sinuosidade, relação largura/profundidade, entre outros). Quando analisados e comparados a partir dos registros das últimas quatro décadas, tendências claras na resposta geomorfológica do sistema fluvial do Araguaia às alterações de uso e cobertura foram detectadas (BAYER; ZANCOPÉ, 2014; BAYER et al., 2020; SANTOS et al., 2024).

Embora as pesquisas tenham constatado acentuadas mudanças morfológicas e incremento abrupto de sedimentos ao longo do rio Araguaia nas últimas décadas (LATRUBESSE et al., 2009; BAYER et al., 2020; ASSIS; BAYER, 2020; SUIZU et al., 2022; SANTOS et al., 2024), pouco se sabe sobre os efeitos nas confluências com seus tributários. Diante disso, este estudo visa compreender as principais mudanças morfológicas na confluência fluvial entre os rios Araguaia e Vermelho, na cidade de Aruanã (GO), a partir do deslocamento planimétrico de geoformas dos canais obtido por sequência cronológica de imagens de satélite e de dados hidrodinâmicos e batimétricos obtidos por *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Trata-se do primeiro estudo em confluências fluviais em ambientes de Cerrado que integra dados de ADCP, ecobatímetro e sensoriamento remoto. Ainda cabe considerar a importância ambiental, social e econômica dessa bacia hidrográfica para o Cerrado (BAYER et al., 2020) e que incremento abrupto de sedimentos nas últimas décadas tem o potencial de provocar diversas modificações nos parâmetros hidrossedimentares no canal fluvial (LATRUBESSE et al., 2009), resultando principalmente em alterações morfológicas nos trechos de confluência.

2. Área de estudo

O rio Araguaia nasce na Serra do Caiapó, próximo ao Parque Nacional das Emas, no sudoeste do estado de Goiás. Percorre cerca de 2.600 km até o encontro com o rio Tocantins (ANA, 2015), compreendendo parte dos estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins e Pará. A bacia hidrográfica do rio Araguaia abrange um território de mais de 386.000 km² (ANA, 2015). Segundo Latrubesse e Stevaux (2002), o rio Araguaia é dividido em três segmentos: alto, médio e baixo Araguaia. O trecho do rio Araguaia analisado nesta pesquisa localiza-se no trecho médio curso fluvial, especificamente um segmento de 5 km de extensão abrangendo a junção com o rio Vermelho, afluente da margem direita (Figura 1), adjacente à cidade de Aruanã no estado de Goiás. Até o local da junção fluvial, o Araguaia percorre cerca de 605,23 km e o rio Vermelho que nasce na Serra Geral na cidade de Goiás, percorre 300,96 km. A bacia do rio Vermelho possui uma área de drenagem de aproximadamente 11.000 km² (SEMAD, 2011), o que representa aproximadamente 2,85% de toda a bacia hidrográfica do rio Araguaia.

A bacia do rio Araguaia drena, principalmente, terrenos mistos dominados por plataformas formadas por bacias sedimentares paleozóicas e mesozóicas, além de áreas cratônicas, que representam o embasamento cristalino pré-cambriano (LATRUBESSE et al., 2005). A bacia é composta por três unidades geológicas principais: rochas pré-cambrianas, rochas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná, e depósitos neógeno-quaternários na planície do Bananal (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002; VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

No alto Araguaia, o rio percorre encaixado sobre um embasamento cristalino, formado por rochas pré-cambrianas e sedimentos paleozóicos provenientes da bacia sedimentar do Paraná (AQUINO et al., 2009). No trecho médio, o rio Araguaia flui através de uma planície aluvial bem desenvolvida, que configura um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares, compostas principalmente por sedimentos dos períodos Holoceno e Pleistoceno Tardio (AQUINO et al., 2009). Essa a planície é segmentada em três unidades morfossedimentares principais (Unidade I, II e III) de acordo com Bayer (2002) e Latrubesse e Stevaux (2002), com a margem direita do rio Araguaia na área de estudo, delimitada pelos sedimentos da Formação Araguaia. A Unidade I, a mais antiga, abrange áreas de escoamento impedido nas partes mais distantes e inferiores da planície. A Unidade II, mais elevada e predominante, situa-se entre as Unidades I e III e é caracterizada pela presença de paleomeandros

e lagos *oxbow*. A Unidade III é composta por um complexo de barras e ilhas, que refletem a morfodinâmica atual do sistema aluvial.

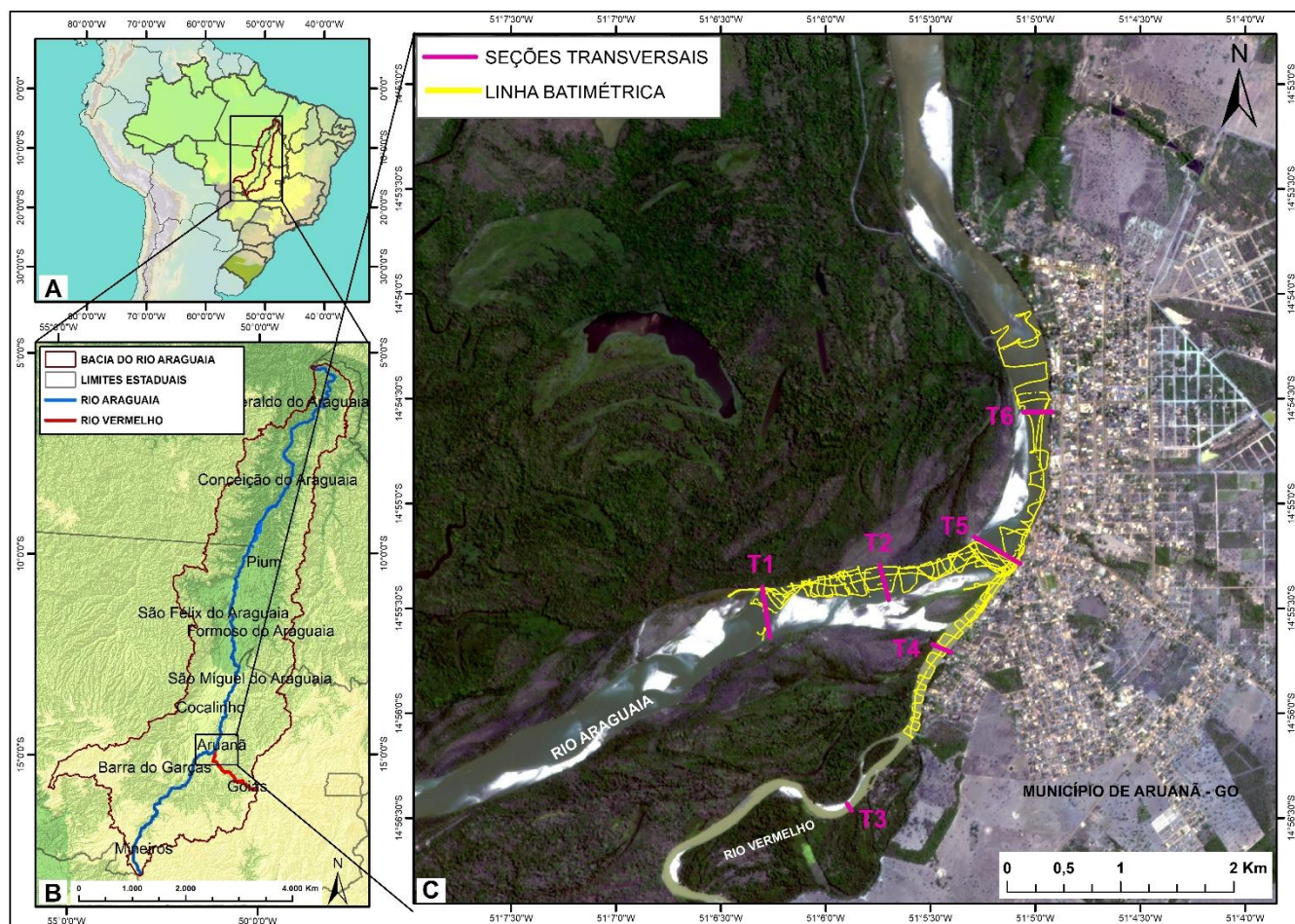


Figura 1. A – Localização da bacia hidrográfica do rio Araguaia no Brasil. B - Localização da bacia hidrográfica do rio Araguaia. C- Localização da confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Imagem Landsat/OLI de 20 de outubro de 2023, composição colorida R(4)G(3)B(2). Base de Dados: IBGE/MMA/ANA/ANADEM. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Análises de datação específicas para a Formação Araguaia indicam que o processo sedimentar associado a esta formação foi particularmente significativo durante os períodos do Pleistoceno Médio e Superior, ocorrendo aproximadamente entre 240.000 ± 29.000 e 17.200 ± 2.300 anos A.P. (antes do presente), conforme relatado por Valente e Latrubesse (2012). Nesse trecho do rio Araguaia, a planície aluvial apresenta uma configuração linear contínua, integrada aos sedimentos do Plio-Pleistoceno relacionados à Formação Araguaia. Essa formação geológica é composta por uma variedade de sedimentos aluviais, incluindo areno-conglomeráticos, arenosos e silto-argilosos, com estes últimos parcialmente ferruginizados (VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

Análises granulométricas e morfométricas na região da confluência dos rios Araguaia e Vermelho evidenciou diferenças significativas nas características dos sedimentos coletados (OLIVEIRA, 2021). No caso do rio Araguaia, as amostras foram coletadas em uma barra lateral a montante da seção transversal T1 (Figura 1), em pontos localizados no centro da barra e na borda. A amostra central da barra apresentou mais de 60% dos sedimentos na fração média, enquanto a amostra da borda exibiu uma distribuição equilibrada entre as frações de areia média e areia grossa a muito grossa. Os sedimentos de ambas as amostras foram compostos predominantemente por grãos classificados como bem arredondados nas duas frações granulométricas, seguidos de grãos arredondados, com uma porcentagem inferior a 20%.

Adicionalmente, observou-se uma alta porcentagem de grãos classificados na classe de circularidade “muito boa”. No rio Vermelho, foram coletadas duas amostras de uma barra arenosa na seção transversal T3 (Figura 1),

uma na borda e outra no centro da barra. A amostra da borda da barra apresentava sedimentos predominantemente nas frações de areia média, com cerca de 15% de areia fina e de areia grossa a muito grossa, enquanto a amostra central revelou uma distribuição semelhante entre as frações de areia fina e média. Os sedimentos dessas amostras também foram majoritariamente classificados como bem arredondados, com entre 15% e 25% dos sedimentos nas classes subangular e arredondado. Assim como no rio Araguaia, os sedimentos do rio Vermelho também demonstraram um predomínio de grãos com grau de circularidade “muito boa”. Ao comparar o índice de arredondamento das amostras, foi observado que os sedimentos do rio Vermelho apresentaram um grau de arredondamento inferior em relação aos do rio Araguaia, indicando que os grãos do Araguaia possuem maior grau de maturidade (OLIVEIRA, 2021).

Aquino et al. (2009) identificaram que a seção transversal referenciada neste estudo como T6 (Figura 1) possui um leito predominantemente composto por areia média e grossa. Os dados disponíveis sobre a concentração de sedimentos suspensos (Css) nessa seção revelam valores que variam entre 21,7 mg·L⁻¹ e 181,4 mg·L⁻¹ (AQUINO et al., 2009). Contudo, até o momento, não foram registrados estudos que abordem os valores de Css no rio Vermelho.

O clima na bacia hidrográfica do rio Araguaia segue o padrão típico do bioma Cerrado, classificado segundo Koppen, no tipo Aw, com duas estações claramente definidas: uma chuvosa de outubro a abril e uma seca de maio a setembro. Essa alternância resulta em variações significativas na vazão do rio, com picos durante a estação chuvosa e uma redução nos meses secos (Figura 2). Essa dinâmica é condicionada por fatores como precipitação, geologia e geomorfologia da região (AQUINO et al., 2005; LATRUBESSE e STEVAUX, 2002).

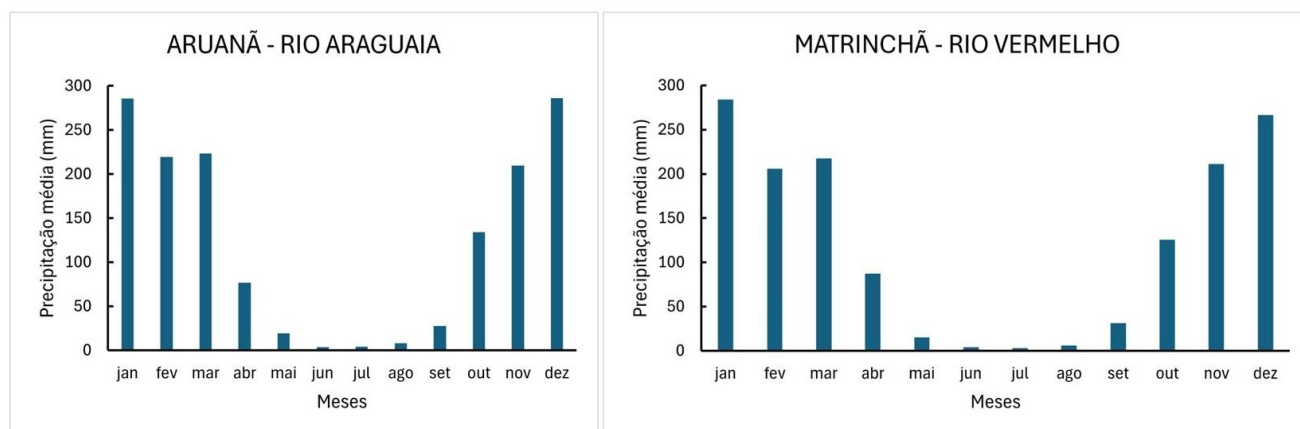


Figura 2. Estações fluviométricas de Aruanã no rio Araguaia (Cód: 25200000), período de 1970 a 2024, e de Matrinchã no rio Vermelho (Cód: 25130000), período de 1974 a 2024. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Com base nos dados disponíveis na Plataforma Hidroweb, operada pela CPRM-ANA, as vazões registradas na estação de Aruanã, localizada no rio Araguaia, apresentam variações expressivas ao longo do ciclo hidrológico, variando de aproximadamente 2.500 m³·s⁻¹ durante o período de cheia para cerca de 350 m³·s⁻¹ na estação seca, no período de 1970 a 2023 (Figura 3). As cotas dessa estação exibem uma amplitude de variação anual de cerca de 150 cm. De maneira semelhante, na estação de Matrinchã, no rio Vermelho, as vazões médias, para o período de 1974 a 2021, atingem valores em torno de 180 m³·s⁻¹ durante a cheia, diminuindo para aproximadamente 20 m³·s⁻¹ no período seco. As cotas na estação de Matrinchã apresentam uma variação ainda mais pronunciada, em torno de 200 cm, refletindo a dinâmica sazonal característica da região. A estação localizada em Matrinchã foi escolhida para representar o rio Vermelho por ser a mais próxima da confluência, situada a aproximadamente 74 km da área de estudo.

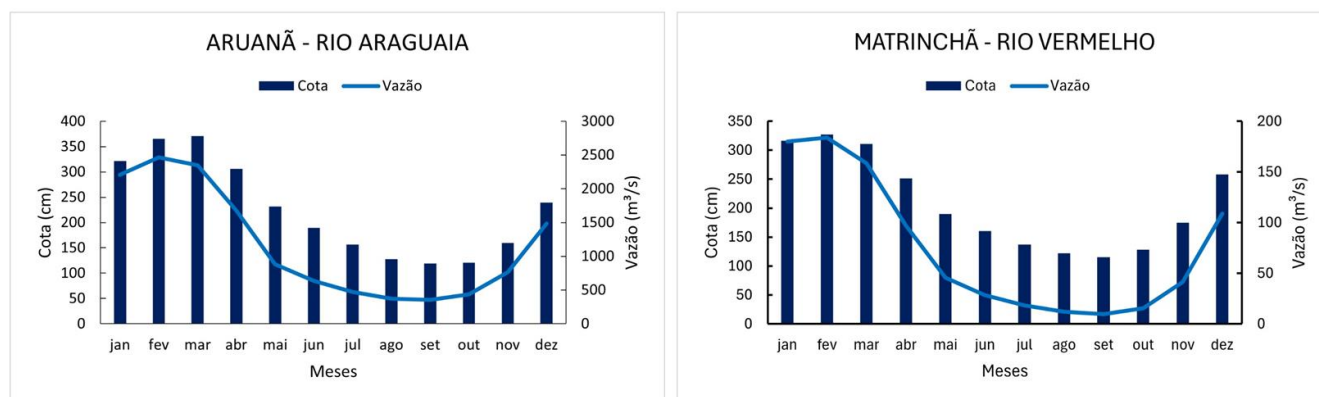


Figura 3. Estações fluviométricas de Aruanã no rio Araguaia (Cód: 25200000), período de 1970 a 2023, e de Matrinchã no rio Vermelho (Cód: 25130000), período de 1974 a 2021. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Esses dados evidenciam a variabilidade hidrológica dos rios Araguaia e Vermelho, refletindo as oscilações naturais do ciclo hidrológico no ambiente de Cerrado. A amplitude das vazões e cotas registradas em ambas as estações destaca a importância de considerar essas variações na análise da dinâmica fluvial e na compreensão dos processos geomorfológicos nas confluências desse rio. Nesse contexto, enfatiza-se a necessidade da instalação de uma estação de monitoramento no rio Vermelho, em local mais próximo à confluência, para fornecer dados mais precisos e representativos das condições hidrológicas diretamente na área de estudo.

3. Metodologia

Para uma análise detalhada do comportamento da morfodinâmica da confluência, o mapeamento planimétrico foi realizado com base na delimitação das margens, talwegues e barras arenosas. Utilizaram-se para isso imagens de satélite da série Landsat, disponíveis na plataforma do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), para o período de 1972 a 2023. A escolha das imagens foi fundamentada nos níveis mais baixos da vazão registrados durante a estação seca, que oscilam entre 129 e 180 cm. Nessa condição, os depósitos sedimentares tornam-se mais evidentes no canal fluvial, o que facilita uma análise mais precisa e diminui a possibilidade de erros na delimitação dos elementos morfológicos, como as barras, que podem estar parcialmente emersas ou submersas, dependendo do estágio do rio.

O apêndice 1 compila as datas, cotas e vazões correspondentes às imagens selecionadas, com notas adicionais na legenda que esclarecem os critérios de escolha das imagens. Na escala temporal de 51 anos considerada, foi possível realizar o mapeamento do deslocamento das geoformas de 44 imagens (44 anos). Os demais anos/imagens foram descartados devido à ausência de imagens que atendessem aos critérios para o mapeamento, como estarem dentro do intervalo de cota, ou por apresentarem obstruções visuais (fumaça ou nuvens) ou deslocamentos.

As imagens Landsat selecionadas foram interpretadas visualmente e usando o software ArcGIS/ArcMap, na escala de 1:5.000, realizou-se a vetorização manual das geoformas fluviais conforme metodologia descrita por Moraes (2006). Assim, as barras arenosas foram categorizadas com base em sua localização no canal fluvial - barras centrais, laterais e barras de tributários (BEST; RHOADS, 2008) (Figura 4).

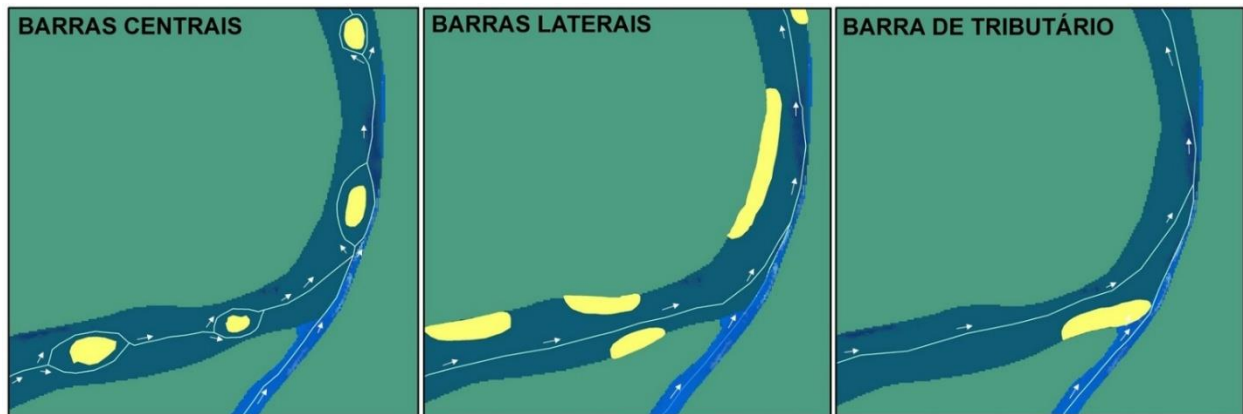


Figura 4. Representação das barras centrais, laterais e barra de tributário com base na localização no canal fluvial.

Fonte: adaptado de Best e Rhoads (2008). Elaboração: Os/as autores/as, 2025.

Para uma melhor visualização das feições morfológicas da confluência, foram utilizadas fotografias e imagens aéreas obtidas durante o trabalho de campo. Utilizaram-se imagens que foram captadas a 120 m de altura com a plataforma aérea, marca/modelo DJI Mavic 3 equipada com câmera digital padrão RGB (20 megapixels) cedido pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig/UFG).

Para calcular os parâmetros morfométricos, tais como a quantidade e área das barras arenosas, largura do canal, área de erosão e deposição, além do índice de sinuosidade do talvegue, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento por meio do software ArcGIS/ArcMap 10.3. Foram utilizadas ferramentas de edição no ArcMap para desenhar manualmente polígonos ao redor das barras arenosas. As áreas de margem erodidas ou acrescidas foram delimitadas entre a posição anterior da margem (1972) e a subsequente (2023). Se a margem recuou sobre a planície, houve área perdida; se a margem avançou sobre o canal (com consolidação da vegetação), houve acreção lateral. Uma análise decenal por gráfico de barras foi realizada para o melhor entendimento das áreas de deposição e erosão.

A largura das seções transversais (T1, T2, T3, T4, T5 e T6; Figura 1) foram medidas em campo no dia 28 de outubro de 2023. Com base nessas seções, foi possível medir a largura dos trechos fluviais entre 1972 e 2023. Para o cálculo do índice de sinuosidade do talvegue, foi adotado o Parâmetro de Müller (Eq. 1), uma abordagem reconhecida por sua eficácia na avaliação desse índice, conforme citado por Friend e Sinha (1993), Ghosh e Mistri (2012), e Nimnate et al. (2017).

$$Is = Cmax/Cv \quad (1)$$

onde $Cmax$ é o comprimento do canal ou talvegue, e Cv é comprimento do vale ao longo do canal, em linha reta.

Os dados do índice de sinuosidade do talvegue foram analisados para o período de 1972 a 2023, utilizando-se a classificação proposta por Morisowa (1975). Essa classificação categoriza os canais fluviais como reto (índice <1,05), sinuoso (>1,05), entrelaçado (>1,3), meândrico (>1,5) e anastomosado (>2,0).

A metodologia utilizada para medir o ângulo de confluência segue a abordagem proposta por Hackney e Carling (2011). Inicialmente, foram traçadas as linhas centrais dos rios, e então o ângulo formado na interseção dessas linhas foi mensurado. A mensuração do ângulo da confluência foi realizada utilizando ferramentas de análise espacial no QGIS (medição de ângulo), e integrou imagens de satélite com o mapeamento das margens, talvegue e barras arenosas mapeadas em etapas anteriores.

Para aprimorar a compreensão das transformações planimétricas na confluência, procedeu-se a um refinamento detalhado das unidades morfossedimentares da planície aluvial, próximas ao município de Aruanã, Goiás. Esta etapa foi fundamentada nos estudos anteriores de Bayer (2010), Bayer e Zancopé (2014) e Suizu et al. (2022). A metodologia empregada envolveu a utilização de imagens provenientes do satélite Landsat-8, capturadas em 27 de outubro de 2023 (data que permitiu associar com os dados com o trabalho de campo, descritos a seguir). Além disso, houve um processo de revisão dos dados geológicos vetoriais elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Essa fase de revisão incluiu a definição mais detalhada dos limites para as classes referentes à Formação Araguaia e aos

Depósitos Aluvionares, o que contribuiu para um entendimento mais refinado das características e dinâmicas da área estudada.

Dados referentes à vazão, velocidade do fluxo, largura e profundidade do rio foram mensurados em campo com emprego do *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), modelo WorkHorse Rio Grande 600 kHz (Teledyne RD Instruments), cedido pelo Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física da Universidade Federal de Goiás (Labogef/UFG). A bússola interna do ADCP foi justaposta ao GNSS (Sistema de Navegação Global via Satélite) externo, para a calibração com o receptor GNSS Geodésico de dupla frequência (Trimble, Modelo R4) e a gravação dos dados. O equipamento foi acoplado à lateral de uma embarcação e posicionado a 20 cm abaixo da linha d'água. Durante a operação, utilizando o referencial de *Bottom Tracking*, o ADCP esteve conectado a um laptop com o software WinRiver II (versão 2.08) que calculou automaticamente as variáveis medidas, retornando o valor médio das seções transversais. O trabalho de campo, realizado em 28 de outubro de 2023, perfilou seis transectos (T1 a T6).

Na mesma campanha, utilizou-se o SONAR HELIX 7 X MSI COM GPS - TELA 7.0 G4 do Labogef/UFG para obter linhas batimétricas com intervalos de 50 m a 100 m. Esse intervalo foi adotado devido a obstruções, como galhos de árvores, áreas muito rasas, entre outros. Os pontos gerados foram exportados em formato *shapefile* e interpolados usando o algoritmo vizinho natural do ArcGIS/ArcMap 10.3 para o sistema geodésico de referência SIRGAS2000. Os dados obtidos pelo ADCP e pela batimetria permitiram calcular a razão de descarga (Q_r), Eq. (2) e a razão de *momentum* (M_r) da confluência entre os rios Araguaia e o Vermelho. Conforme Best (1987), esses dois parâmetros hidráulicos classificam o controle das estruturas de fluxo e da morfologia em ambientes de confluência quanto à dominância do rio principal (receptor) sobre o tributário (afluente) ou vice-versa, conforme:

$$Q_r = Q_t / Q_p \quad (2)$$

onde, Q_t é a vazão do canal tributário e Q_m é a vazão do canal principal. Quando $Q_r < 1$, existe dominância do fluxo do canal receptor; e quando $Q_r > 1$, a dominância é do tributário.

A razão de *momentum* (M_r) é dada pela Eq. (3):

$$M_r = (\rho_t Q_t V_t) / (\rho_p Q_p V_p) \quad (3)$$

onde, ρ é a densidade do fluido, Q descarga média e V é a velocidade média.

No qual $M_r < 1$ indica a dominância do fluxo do canal principal na confluência e > 1 dominância do tributário (BEST, 1987; SERRES et al., 1999). Com o intuito de avaliar a contribuição de energia dos fluxos dos rios Araguaia e Vermelho na confluência, foram calculadas a potência do canal (*stream power*) e a potência específica do canal, conforme definido por Bagnold (1960, 1966). O conceito de potência do canal (*stream power* - Ω) (Equação 4), dada na unidade de $W \cdot m^{-1}$, torna ainda mais clara a relação entre a energia do canal e a declividade.

O cálculo da potência de canal (Ω) foi efetuado utilizando-se a Eq. (4):

$$\Omega = \rho g D Q \quad (4)$$

onde, Ω =potência do canal; ρ = Densidade da água (1.000 kg/m^3); g = Aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); D = Declividade (adimensional); Q = Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Para o cálculo da declividade, assumiu-se a profundidade média de cada seção como cota de leito, considerando que o nível da linha d'água permanece constante entre as seções. Assim, a equação assume a forma: $(P_2 - P_1)/D$, onde P representa a profundidade e D é a distância. Observa-se que ρ e g normalmente são considerados como constantes, cujo produto origina o peso específico da água. Nesse caso, a energia de um canal fluvial varia principalmente em função da declividade e da vazão.

Dividindo Ω pela largura de uma seção transversal (w), Bagnold (1960, 1966) definiu a energia média disponível por unidade de área do leito do canal (ω). A potência específica (ω) do canal foi calculada utilizando a Eq. (5).

$$\omega = \Omega / w \quad (5)$$

onde, ω = potência de canal específica ($W \cdot m^{-2}$), Ω =potência do canal; w = largura do canal (m);

Os dados hidrológicos das estações fluviométricas de Aruanã (#25200000), abrangendo o período de 1970 a 2023, e de Matrinchã (#25130000), de 1974 a 2021, foram obtidos por meio do Portal HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>), mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA).

4. Resultados

4.1. Dinâmica das margens, do talvegue e das barras fluviais

Ao longo de 51 anos (1972-2023), o mapeamento planimétrico da confluência dos rios Araguaia e Vermelho pôde ser realizado em 44 anos, devido à disponibilidade de imagens de satélite da série Landsat. Os resultados revelaram uma elevada mobilidade da confluência, caracterizada por significativas mudanças nas margens, no talvegue, no ângulo, na largura e nas barras arenosas, evidenciando sua instabilidade e constante reconfiguração morfológica (Figura 5). Entre 1972 e 2023, 1,19 quilômetros quadrados (km²) foram erodidos, enquanto 0,92 km² foram ganhos por acreção. A sobreposição das linhas das margens, do talvegue e do contorno das barras arenosas, respectivamente (Figura 5 – A', B' e C'), revela o posicionamento mais frequente desses elementos morfológicos, cuja oscilação delimita o que pode ser considerado o leito móvel do Araguaia.

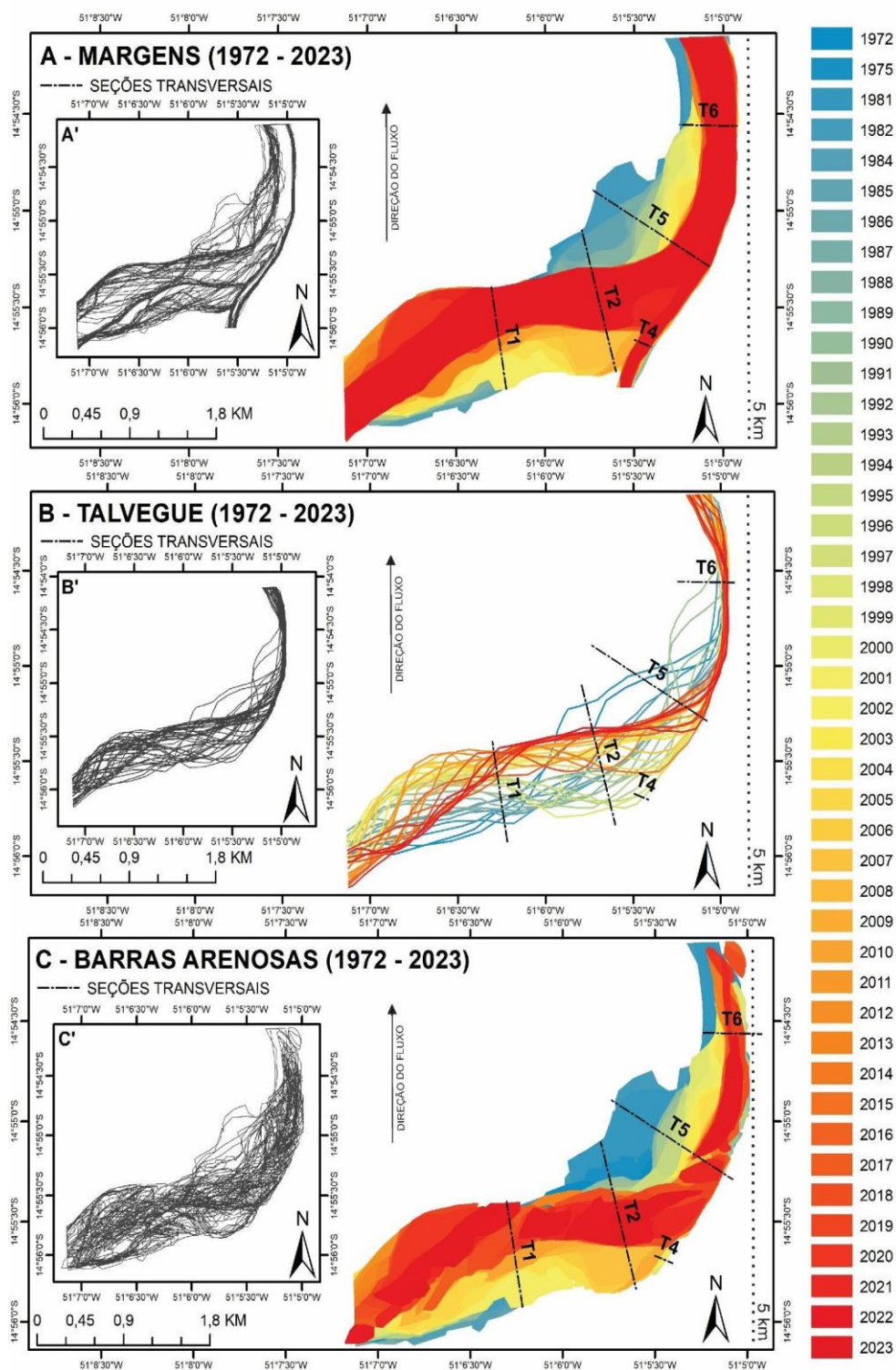


Figura 5. Mapeamento das margens, talvegue e barras arenosas de 1972 a 2023 na confluência dos rios Araguaia e Vermelho em 2023. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Analisando as taxas anuais ao longo deste período de 51 anos, a erosão ocorreu a uma taxa média de $0,023 \text{ km}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$ e a acreção ocorreu a uma taxa média de $0,018 \text{ km}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$, resultando em um reposicionamento contínuo e gradual de área. Houve ganho de área por acreção, mas a perda devido à erosão foi maior. Uma análise decenal (Figura 6) mostra um balanço sedimentar variado, observa-se que de 1972 a 1982, houve uma deposição relativamente baixa de $0,05 \text{ km}^2$ e uma erosão lateral de $1,55 \text{ km}^2$, marcando este intervalo como o de maior erosão nas décadas analisadas.

Em contraste, o período de 1982 a 1992 apresentou uma reversão nessa tendência, com a deposição alcançando seu maior volume, 1,09 km², enquanto a erosão diminuiu para 0,92 km². Entre 1992 e 2002, a deposição registrou 0,55 km² e a erosão continuou a diminuir, chegando a 0,50 km². A deposição aumentou novamente para 1,05 km² no período de 2002 a 2012, enquanto a erosão continuou em declínio, reduzindo para 0,41 km². Na última década analisada, de 2012 a 2022, a deposição foi de 0,57 km² e a erosão reduziu ainda mais para 0,19 km², a menor taxa registrada em todos os períodos estudados (Figura 6).

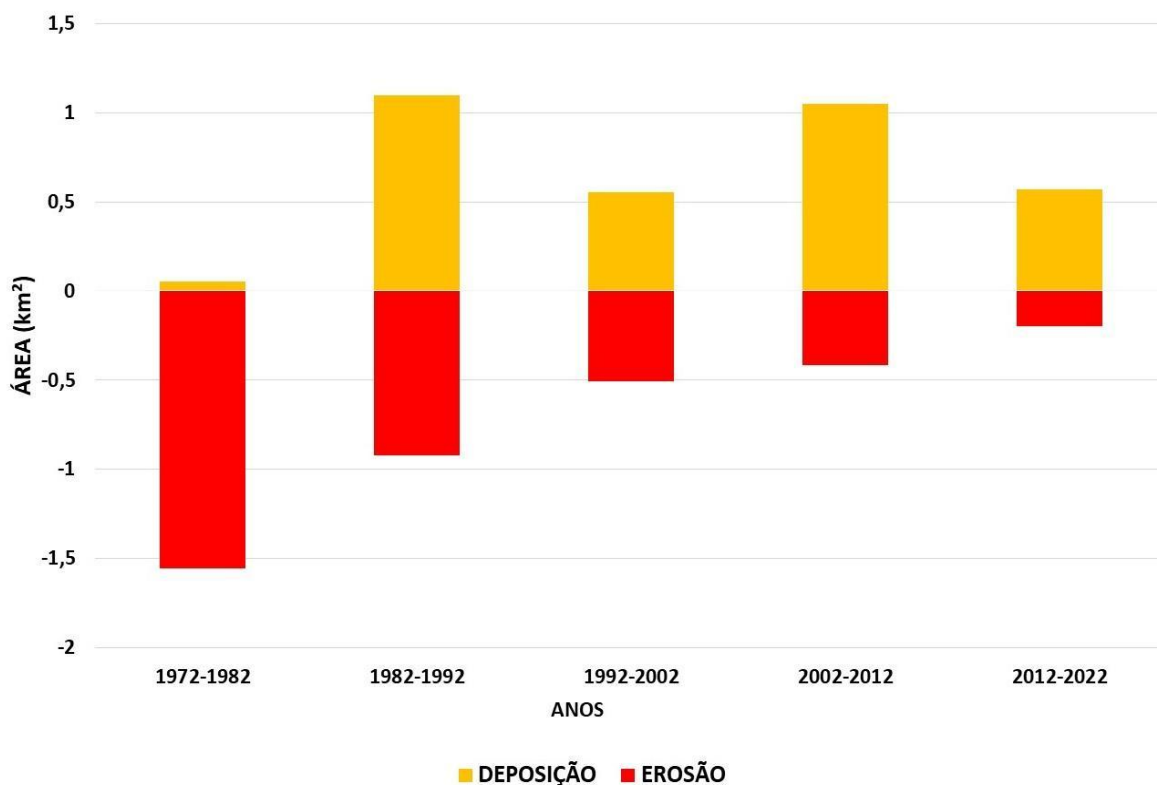


Figura 6. Erosão e deposição de 1972 a 2022 na confluência dos rios Araguaia e Vermelho em 2023. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Observou-se que as barras arenosas desempenharam um papel modelador na configuração da confluência na área estudada. Ao longo do período de mapeamento, os anos de 2013 e 2021 se destacaram por apresentarem a maior quantidade de barras arenosas (Figura 7).

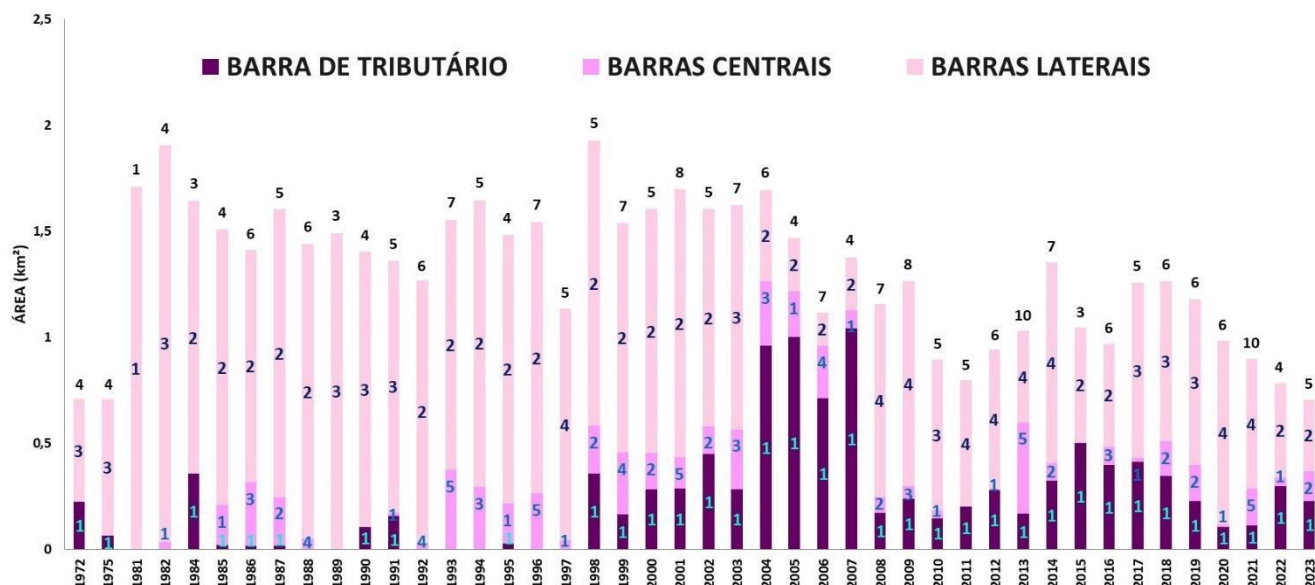


Figura 7. Variação das barras arenosas de 1972 a 2023 na confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Os números na parte superior das colunas correspondem à quantidade total de barras por ano, enquanto na parte interna das colunas correspondem à quantidade total de cada tipo de barra por ano. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Por outro lado, o ano de 1981 registrou a menor quantidade, com apenas uma barra lateral de aproximadamente 1,70 km². As barras laterais foram a tipologia de barras que mais prevaleceram, em áreas e quantidade, em comparação com as barras centrais e as barras de tributário, ao longo dos anos. Entre 1972 e 1982, foi registrado um aumento significativo na área total das barras laterais, que expandiu de 0,48 km² para 3,57 km². Contudo, após atingir o valor máximo em 1982, a área total de barras laterais começou a declinar, atingindo 2,88 km² em 1988. A partir de então e até 2023, a área das barras laterais continuou a apresentar oscilações, exibindo uma tendência geral de redução, chegando a um mínimo de 0,33 km² em 2023.

A área da barra de tributário também exibiu mudanças significativas, com alguns anos ausentes (1981, 1982, 1988, 1989, 1992, 1993, 1994, 1996 e 1997). O ano mais notável ocorreu em 2007, quando a área alcançou 1,04 km². Após esse ano, no entanto, houve uma variação acentuada no total das áreas das barras de tributário com tendência contínua de declínio, resultando em uma diminuição para 0,23 km² em 2023. No que se refere às barras centrais, o período de 1981 a 1993 foi marcado por um crescimento gradual da área, alcançando 0,37 km² em 1993. Entre 1993 e 2013, as áreas se mantiveram relativamente estáveis, com um aumento para 0,43 km² em 2013. Contudo, após 2013, foi observada uma tendência de decréscimo na área, que se reduziu para 0,14 km² em 2023.

4.2. Oscilação do ponto de junção, sinuosidade do talvegue e variação angular na confluência

O mapeamento do ponto de junção entre os rios Araguaia e Vermelho, aliado à delimitação das margens, permitiu verificar a oscilação pendular da junção fluvial (Figura 8), com avanços e recuos alternados anualmente, demonstrando a natureza instável da confluência. Apêndice 2 compila os dados referentes ao índice de sinuosidade do talvegue, ao ângulo de junção e à largura do canal nas seções transversais, no período de 1972 a 2023. No período entre 1972 e 2023, foi possível quantificar uma alteração significativa na posição da confluência, com uma variação máxima de até 2,5 km (Figura 8).

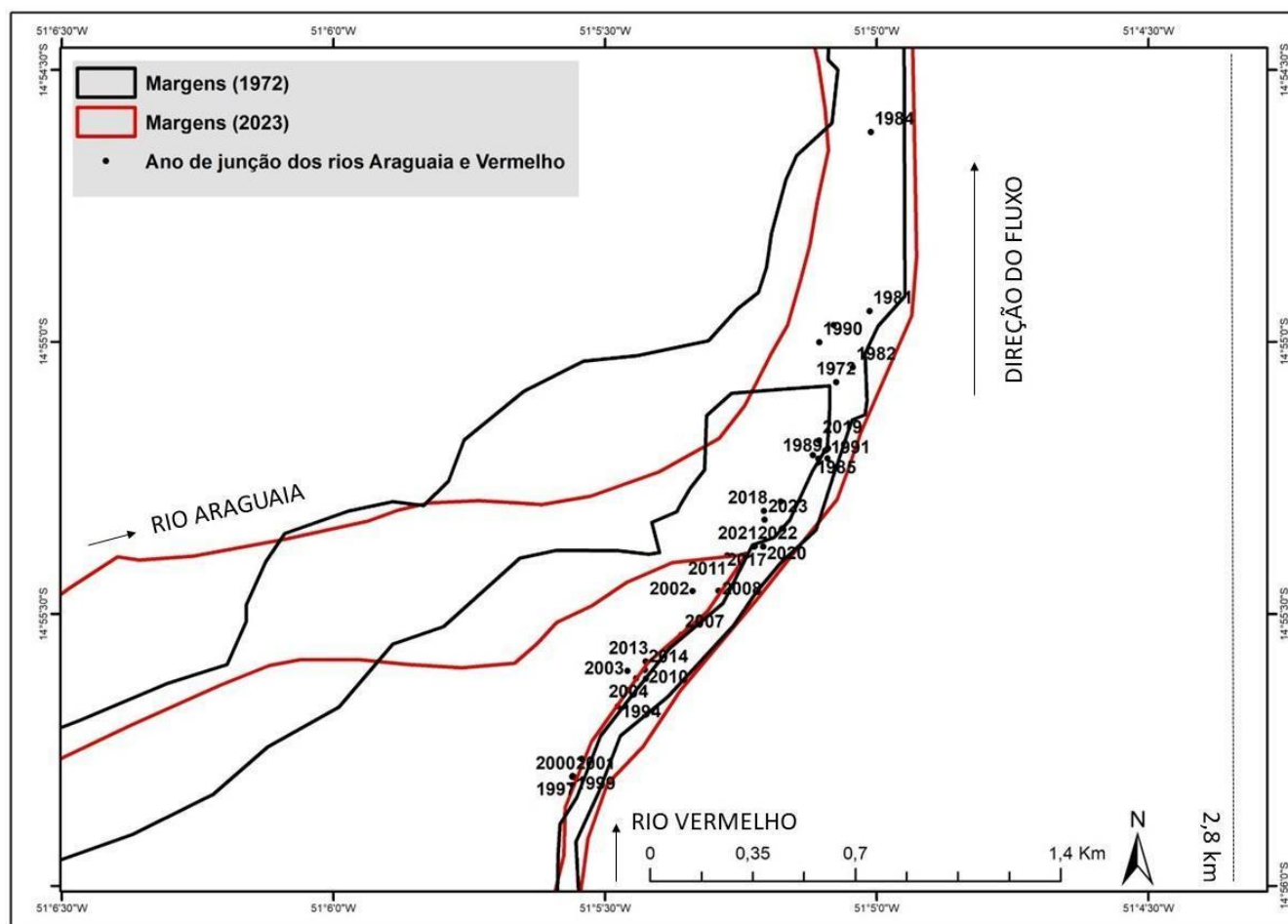


Figura 8. Mudanças na localização da junção dos rios Araguaia e Vermelho de 1972 a 2023. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

A análise da série temporal do índice de sinuosidade do talvegue do rio Araguaia, de 1972 a 2023, revela variações significativas ao longo do tempo (Figura 9-A). Iniciando com um índice de 1,162 em 1972 e alcançando 1,209 em 2023, o valor máximo foi registrado em 1998, com 1,311. Outros picos notáveis ocorreram em 1999, 2007 e 2014, com índices de 1,305, 1,281 e 1,284, respectivamente, enquanto o valor mínimo foi observado em 1981, com 1,134. Entre 1999 e 2000, houve uma queda significativa no índice, recuperando a partir de 2003 a mesma variabilidade iniciada em 1991. Com base na classificação de Morisowa (1975), os índices anuais superaram o valor de 1,05, confirmando o padrão sinuoso de maneira contínua ao longo do período analisado. Particularmente, nos anos de 1998 e 1999, os índices de sinuosidade alcançaram 1,311 e 1,305, respectivamente (Figura 9 - A).

Os ângulos de junção da confluência também variaram significativamente (Figura 9-B), desde um mínimo de 30° em 1984 até um máximo de 94,22° em 1996, evidenciando uma elevada amplitude de variação. Essa variação sugere uma dinâmica fluvial complexa, com períodos de mudanças substanciais na configuração da confluência. Notáveis picos foram observados em 2010 (93,75°), 1997 (78,75°), 2003 (75,58°), 2004 (75,53°) e 1995 (73,6°). Durante o período de 1981 a 1994, a estabilidade relativa é evidente com ângulos predominantemente entre 30° e 48°. Nos anos mais recentes, de 2000 a 2023, os ângulos continuaram variando entre 42,3° e 75,58°. Ao longo desses 44 anos de mapeamento, a confluência estudada manteve predominantemente um ângulo agudo, isto é, inferior a 90°, exceto em dois anos específicos, 1996 e 2010, quando foram registrados ângulos obtusos de 94,22° e 93,75°, respectivamente (Figura 9-B).

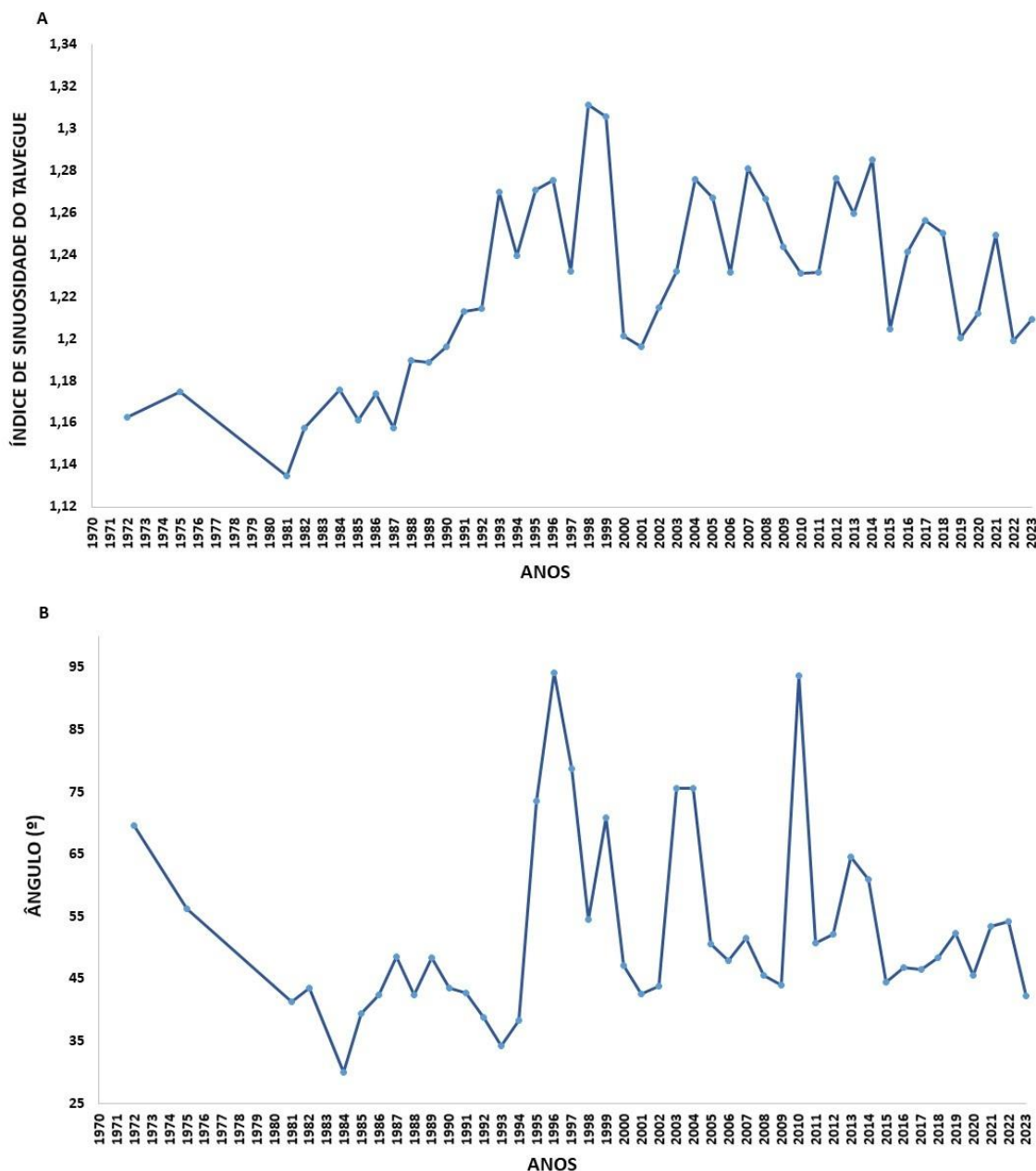


Figura 9. Índice de sinuosidade do talvegue (A), e ângulo (B) entre 1972 a 2023 na confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

4.3 Análise das seções transversais e parâmetros hidráulicos na zona de confluência

Dentre as principais características morfológicas observadas na confluência entre os rios Araguaia e Vermelho, destacam-se a zona de escavação, a barra do tributário e a barra lateral. A zona de escavação inicia-se na foz do rio Vermelho e se estende pelo leito do rio Araguaia por aproximadamente 600 metros, com profundidades variando entre 3 e 5,2 metros. Nota-se, ainda, que essa zona apresenta tendências de reposicionamento e migração ao longo do tempo dentro do canal principal (Figura 10).

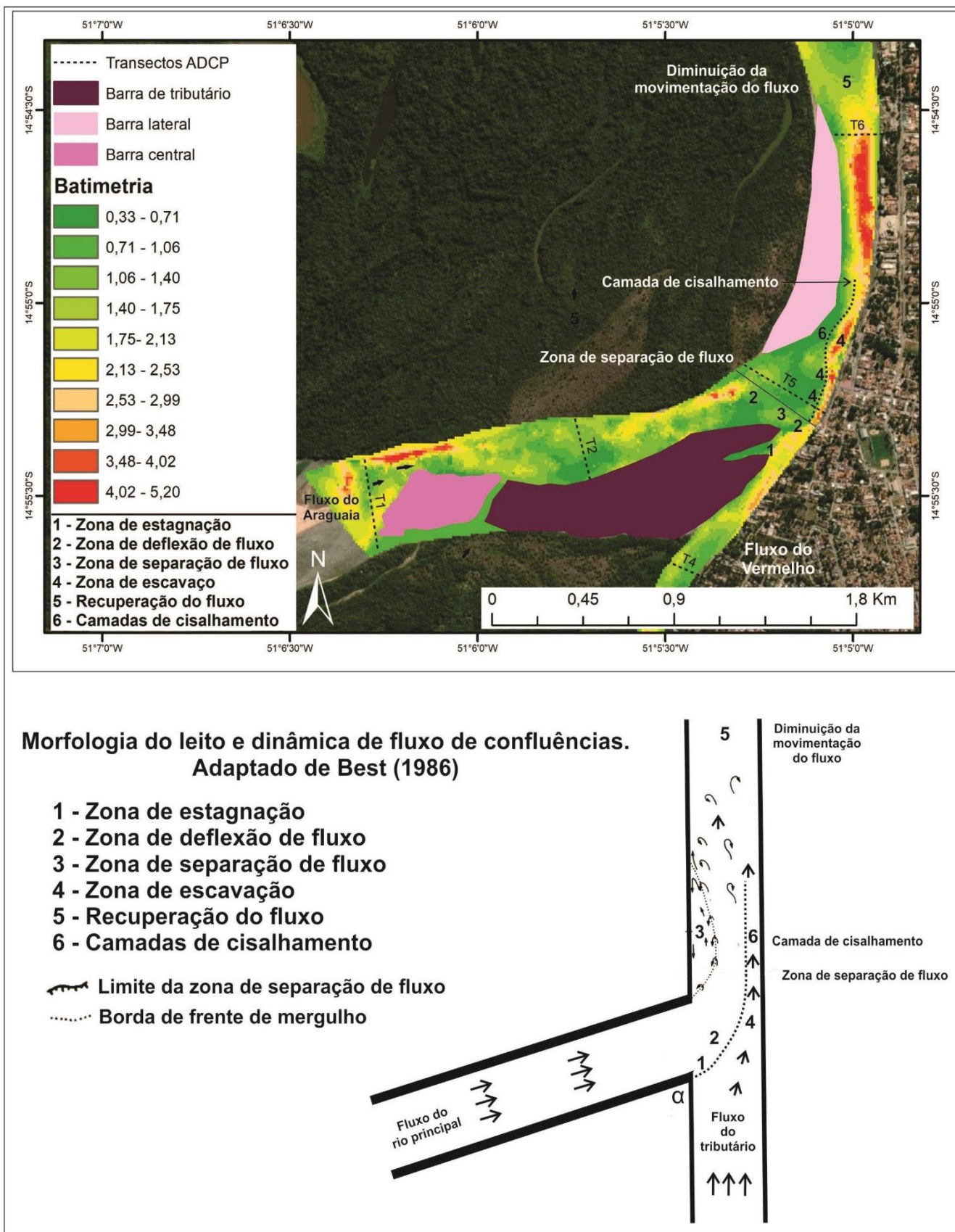


Figura 10. Descrição das características morfológicas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho em 2023. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Os dados anteriores revelaram uma mobilidade acentuada entre os diferentes tipos de barras arenosas, bem como da junção fluvial ao longo do período estudado. Para distinguir a influência de cada rio na dinâmica da confluência, foram verificados parâmetros morfológicos seis seções transversais (T1 a T6), conforme localizadas nas figuras 1 e 5.

As variáveis dos respectivos parâmetros foram levantadas no mesmo período de vazante do regime fluvial anual sazonal, mantendo a conformidade metodológica. Quanto à largura do canal, todas as seções transversais apresentaram uma variabilidade elevada, principalmente a partir de 1980 (Figura 11), exceto a seção T3 (mais a montante do Rio Vermelho).

A seção T1, que apresentava uma largura de 301 m em 1972, experimentou uma série de flutuações ao longo dos anos, alcançando um pico de 462 m em 2023. O valor mínimo registrado foi de 95 m em 2013, destacando uma amplitude de variação notável ao longo dos anos. A seção T2, por sua vez, começou com 558 m em 1972 e exibiu instabilidade considerável, atingindo um pico de 844 m em 2000 e declinando para o mínimo de 101 m em 2017; em 2023, foi registrada com 309 m. Em contraste, a seção T3 manteve valores geralmente baixos, começando com 88 m em 1972 e diminuindo para 48 m em 2023. A redução da largura neste trecho ocorreu devido à formação de uma barra arenosa, classificada como barra de pontal (*point bar*), conforme descrito por Oliveira (2021). Na seção T3, o valor máximo de largura registrado foi de 89 m em 1987, enquanto o mínimo foi de 37 m em 2005, evidenciando uma variação mais contida em comparação com as demais seções.

A seção T4, que apresentava 140 m em 1972, reduziu sua largura para 110 m em 2023. A seção T5, registrou 461 m em 1972, alcançou um máximo de 815 m em 2010 e um mínimo de 250 m em 1994, e em 2023, registrou uma largura de 425 m. Por fim, a seção T6 começou com 123 m em 1972, atingiu um pico de 526 m em 1996, com o valor de 123 m em 1972, e apresentou uma largura de 208 m em 2023.

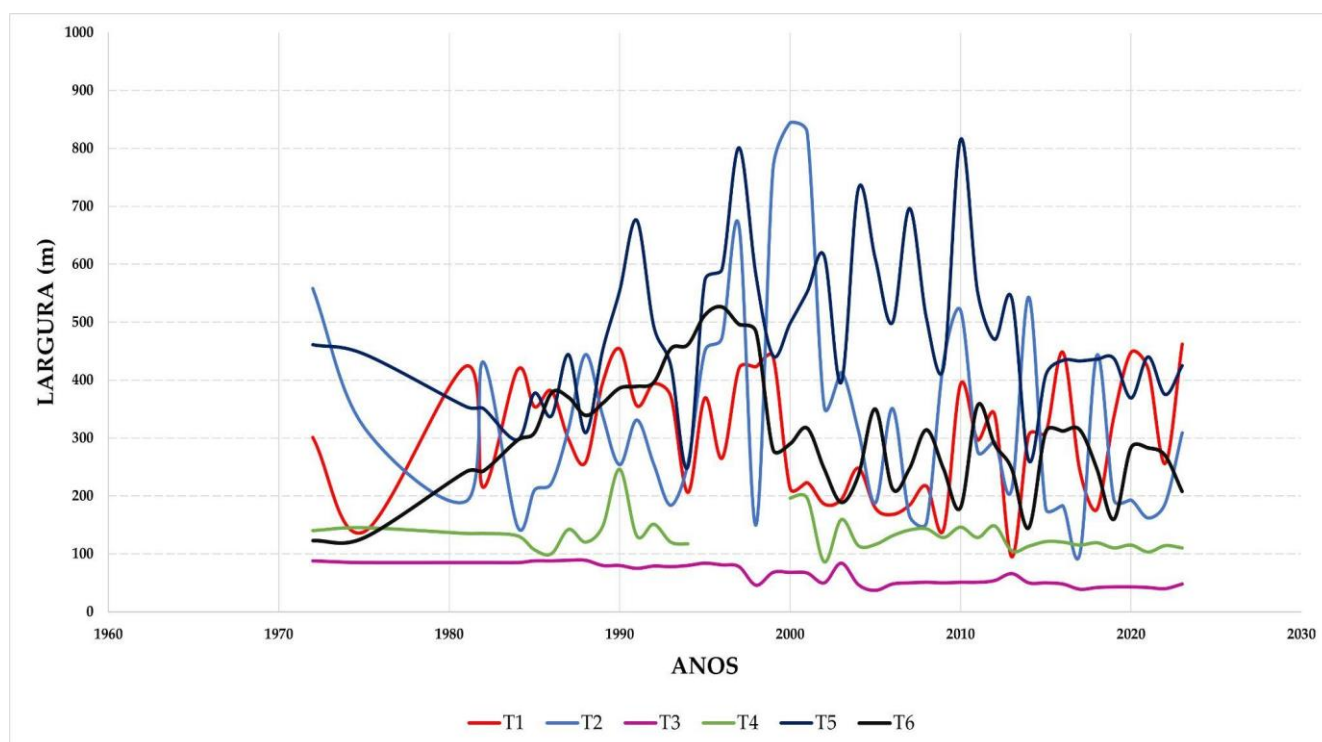


Figura 11. Mudanças na largura nas seções transversais T1, T2, T3, T4, T5 e T6 de 1972 a 2023 na confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Fonte: Os/as autores/as, 2024.

Além dos dados morfológicos, também foram obtidas variáveis hidráulicas nas respectivas seções transversais com o emprego de um ADCP. Foi observado que o rio Araguaia na seção T1 apresentou uma vazão de $202,99 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ e o rio Vermelho, $8,45 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ na T3 (ambas à montante da confluência), com um aumento após a confluência, chegando a $243,01 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ na T6. A vazão do rio Araguaia é substancialmente superior, aproximadamente 24 vezes maior, que à vazão registrada para o rio Vermelho, demonstrando grande diferença no volume de água entre o canal receptor e o tributário no período de seca para essas seções transversais. Quanto

à largura, os valores foram de 391,74 m, 38,18 m e 163,09 m, para T1, T3 e T6, respectivamente. Ao comparar os dados da Tabela 1 e da Figura 12, verifica-se que as profundidades máximas alcançadas foram de 3,49 m, 3,69 m e 5,54 m nas mesmas seções T1, T3 e T6, respectivamente. Na confluência, a vazão da seção T5 foi de 245,04 m³·s⁻¹, com largura de 422,49 m, com velocidade na margem esquerda (rio Araguaia) de 0,585 m·s⁻¹ e margem direita (rio Vermelho) de 0,382 m·s⁻¹, com a zona de escavação (Figura 10) alcançando uma profundidade de 5,2 m. Após a zona de escavação e início da zona de recuperação de fluxo, o talvegue do rio Araguaia fica bem definido na margem direita do rio.

Tabela 1. Dados de vazão, largura, velocidade do barco, velocidade e direção do fluxo na confluência dos rios Araguaia e Vermelho.

Seção	Q _{Total} (m ³ ·s ⁻¹)	Largura (m)	V. de fluxo (m·s ⁻¹)	Profundidade Média (m)	Direção de Fluxo (°)	Temperatura da água (°C)
T1	202,99	391,74	0,352	1,46	35,11	31,2
T2	184,87	290,40	0,623	1,01	109,84	31,6
T3	8,45	38,18	0,095	2,34	45,89	33,3
T4	32,29	118,68	0,185	1,46	45,07	32,9
T5	245,04	422,49	0,447	1,73	69,06	32,7
T6	243,01	163,09	0,479	3,15	358,26	32,9

Fonte: Os/as autores/as, 2025.

A Figura 12 apresenta a distribuição das velocidades das correntes ao longo do perfil das respectivas seções transversais no mesmo período de vazante. A seção transversal T1 apresentou dois setores mais profundos nas extremidades do perfil, as quais podem estar associadas à mudança da posição do talvegue no rio Araguaia. Em 2022, o talvegue estava localizado à direita do rio. No entanto, os dados de 2023 obtidos pelo ADCP e pelo mapeamento das imagens de sensoriamento remoto indicam uma mudança da posição do talvegue para a margem esquerda. Também cabe destacar na seção T5, o talvegue do Vermelho ainda presente imediatamente a jusante da junção, com velocidades predominantemente inferiores ao do Araguaia muito mais raso.

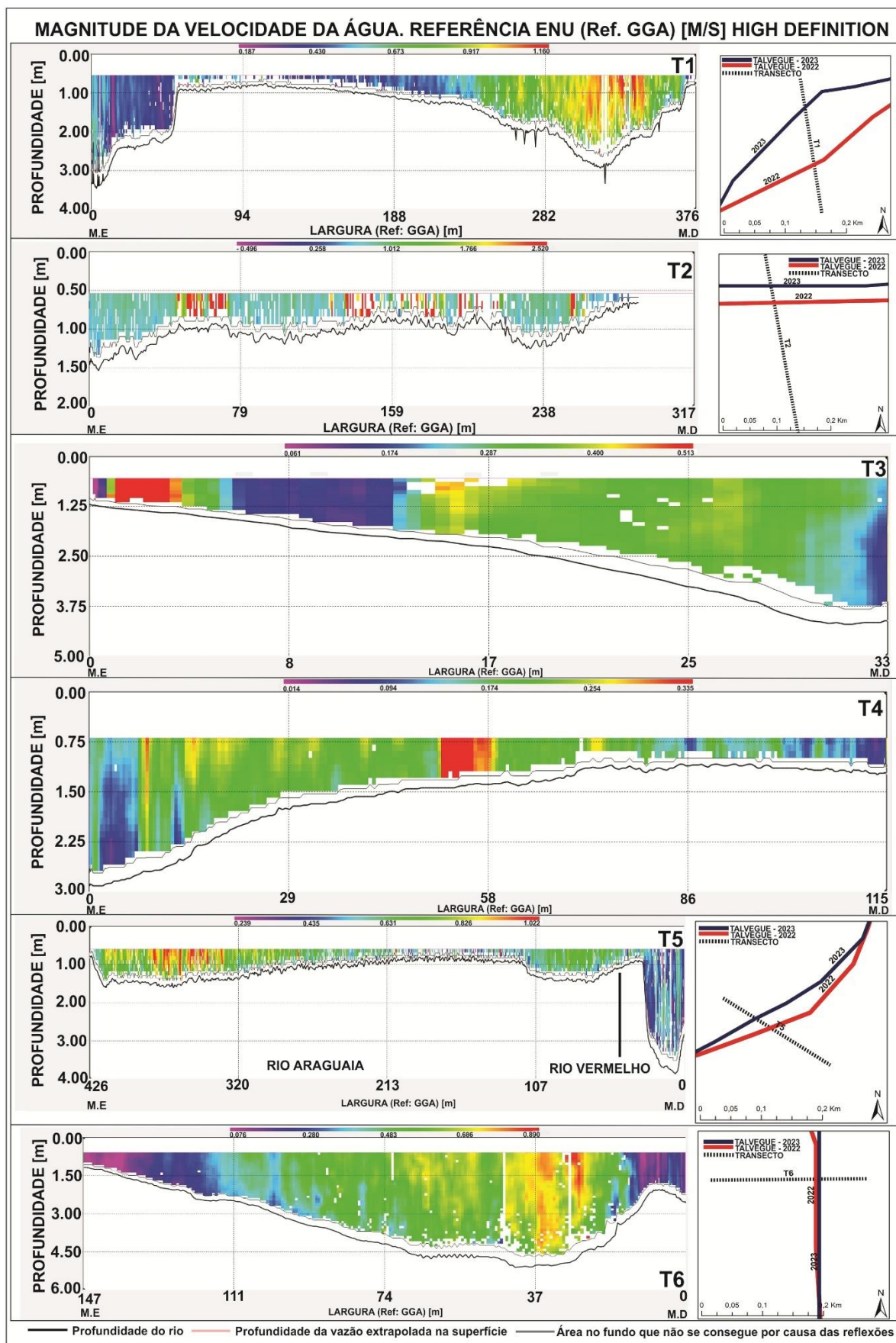


Figura 12. Magnitude da velocidade da água nas seções T1, T3, T5 e T6. M.E – Margem Esquerda e M.D – Margem Direita. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

As variáveis hidráulicas ainda permitiram calcular as razões de descarga (Q_r) e de momentum (Mr) para avaliar a dominância de um rio sobre outro na confluência (BEST, 1987; SERRES et al., 1999). Esses parâmetros foram aplicados nas seções T2 e T4 por serem localizadas na junção fluvial (Tabela 02). Obteve-se um Q_r de 0,174, o que significa que a vazão do rio Vermelho representa aproximadamente 17,4% da vazão do rio Araguaia. Concomitantemente, o Mr de 0,051 indica que o rio Vermelho contribui com aproximadamente 5,1% do total. Esses valores de Q_r e Mr demonstram a dominância do rio Araguaia (canal receptor) sobre o tributário Vermelho para o período de vazante.

Tabela 2. Razão da Descarga (Q_r), Razão de Momentum (Mr), Potência de canal e Potência de canal específica do rio Araguaia e Vermelho.

Seções	Vazão	Largura	Declividade	Q_r	Mr	Ω	ω
Araguaia (T2)	184,87	290,40	0,0004261	0,174	0,051	772,76	2,66
Vermelho (T4)	32,29	118,68	0,000534			169,15	1,42

Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Para as mesmas seções T2 e T4 foram determinadas as potências de canal (Ω) e as potências de canal específicas (ω). Além de estarem localizadas na junção fluvial, elas tinham as seções T1 e T3 como referência para o cálculo da declividade nesse segmento fluvial para determinar Ω e ω . Os valores de Ω e ω calculados para o rio Araguaia foram de 772,76 J·s⁻¹ e 2,66 W·m⁻², enquanto para o rio Vermelho foram de 169,15 J·s⁻¹ e 1,42 W·m⁻², conforme a Tabela 2. Esses valores indicam que o rio principal está recebendo uma contribuição significativa de energia de seu afluente. Além disso, demonstra a capacidade superior do rio Araguaia para realizar atividades erosivas e de transporte de sedimentos, bem como outras transformações geomorfológicas, quando comparado ao rio Vermelho.

5. Discussões

5.1. Mobilidade morfológica e reconfiguração das margens e barras arenosas

No Brasil, os estudos sobre confluências fluviais ainda são incipientes, e pouco se sabe sobre as alterações hidrogeomorfológicas desses ambientes e as possíveis mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo, como os ajustes laterais provocados pela erosão e deposição, mudanças na tipologia das barras arenosas e sua reconfiguração dentro do canal, no avanço e recuo da junção, na zona de escavação e nas alterações no ângulo.

A análise apresentada neste estudo para a confluência dos rios Araguaia e Vermelho está em consonância com os estudos de Kominecki e Vestena (2021), que destacam a vulnerabilidade das confluências fluviais em planícies aluviais às alterações provocadas por características sedimentares e condições climáticas. Wang e Xu (2020) sugerem que rios aluviais podem apresentar uma dinâmica mais progressiva em suas confluências. Nossos resultados sobre a confluência Araguaia-Vermelho convergem com as observações de Dixon et al. (2018), que apontam que confluências localizadas em áreas com altas taxas de suprimento de sedimentos, vazões elevadas e margens facilmente erodíveis tendem a ser altamente móveis, devido à migração de barras que modificam a orientação e a localização dos canais, promovendo o deslocamento das confluências.

Nesses ambientes, a combinação entre vários elementos hidro-morfo-sedimentares é fundamental para a evolução da morfologia do canal ao longo do tempo. Fatores como variações climáticas, sazonalidade hídrica e as características geológicas da bacia, influenciam diretamente na quantidade e na qualidade dos sedimentos transportados e depositados pelo rio. Além disso, mudanças no uso e cobertura das terras podem impactar ainda mais essa dinâmica sedimentar ao modificar o escoamento superficial, intensificar a erosão do solo e alterar a carga sedimentar que chega ao canal fluvial, tal como apontaram Latrubesse et al. (2009), Bayer (2010) e Bayer et al. (2020) para o caso do Rio Araguaia.

A evolução planimétrica da confluência dos rios Araguaia e Vermelho sugere estar influenciada por essas mudanças no uso e cobertura da terra que ocorrem na bacia, as quais, consequentemente, alteram as características hidrossedimentares, e pelas características faciológicas dos materiais constituintes das margens. A elevada mobilidade das margens, do talvegue, das barras arenosas e das alterações no ângulo e da posição da junção identificadas neste estudo é resultante do reposicionamento desses elementos morfológicos sobre os sedimentos inconsolidados da Unidade Morfossedimentar III, que se mantém geomorfologicamente ativa, moldando continuamente a planície aluvial, conforme observado por Bayer (2002). No entanto, essa mobilidade é contida pela Formação Araguaia na margem direita (Figura 13).

A Formação Araguaia teve o processo sedimentar significativo associado particularmente ao Pleistoceno Médio e Superior, entre 240.000 ± 29.000 e 17.200 ± 2.300 A.P. (VALENTE; LATRUBESSE, 2012). Ela é composta por uma variedade de sedimentos aluviais (Figura 17 - D), se apresentando significativamente mais resistentes aos processos erosivos. Assim, as características geológicas influenciam a distribuição das barras arenosas, a mobilidade do talvegue no canal fluvial e as mudanças no ângulo de junção, podendo tanto intensificar quanto mitigar os processos erosivos, impactando significativamente a morfologia fluvial ao longo do tempo.

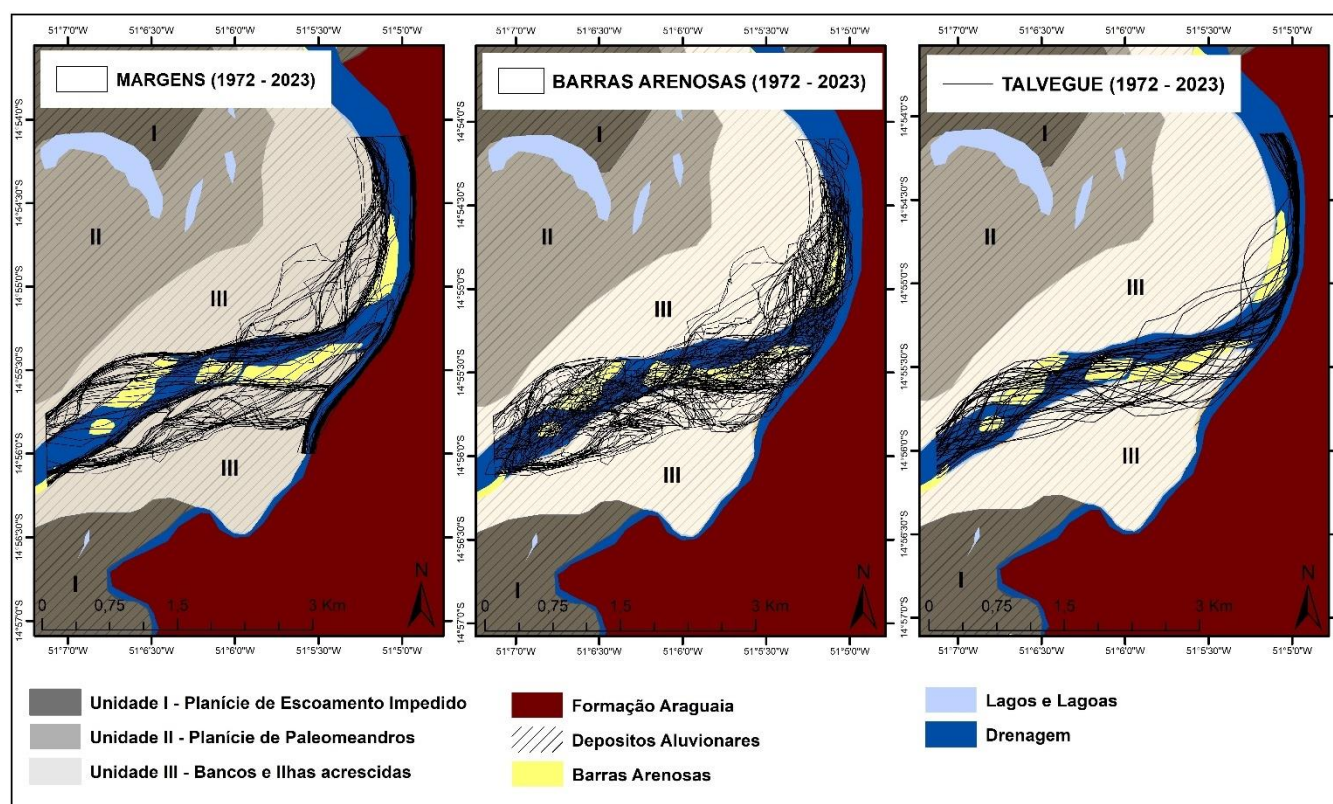


Figura 13. Características geológicas e geomorfológicas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho em 2023.

Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Conforme descrito por Dixon et al. (2018), as confluências podem atingir um grau de estabilidade maior devido às intervenções antrópicas, especialmente por meio da implementação de estruturas de contenção ao longo das margens. Na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, por exemplo, a margem direita do trecho é protegida por tais estruturas (Figura 14), que reforçam a proteção dessa margem, composta pela Formação Araguaia, onde está situada a área urbana do município de Aruanã. Essa resposta antrópica à mobilidade de confluências é observada também nos rios Padma e Meghna, em Bangladesh, e no rio Yangtze e Dongting, na China (DIXON et al., 2018).



Figura 14. Estruturas de contenção na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, da margem direita do rio Vermelho até jusante da confluência. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

A estabilidade de uma confluência fluvial pode ser sustentada por diversos fatores além das estruturas de contenção. Dixon et al. (2018) destacam, por exemplo, que muitas confluências de grandes rios, como as junções entre os rios Negro e Solimões no Brasil, mantêm sua localização estável ao longo de décadas. Embora Franzinelli (2011) argumente que o ângulo dessa junção passou por sucessivas alterações, evidenciadas pela formação e transição gradual de um conjunto de bancos fluviais em forma de leque, Dixon et al. (2018) sugerem que a confluência dos rios Negro e Solimões permaneceu estável nos últimos 40 anos.

A confluência dos rios Congo e Kasai em Kwamouth na República Democrática do Congo, também é caracterizada como estável, devido à presença de leito rochoso, que impede a migração lateral dos canais. A confluência dos rios Murray e Darling, em Nova Gales do Sul, Austrália, exemplifica como mudanças climáticas resultaram na redução das vazões, diminuindo o tamanho do canal e a migração lateral (NANSON et al., 2008; FITZSIMMONS et al., 2013). Esses efeitos foram acentuados por intervenções como desvios de água e a construção de barragens (MAHESHWARI et al., 1995), além da implementação de mais de 3600 açudes (ARTHINGTON; PUSEY, 2003). Embora essas confluências tenham mantido relativa estabilidade planimétrica nas últimas quatro décadas, os processos hidráulicos que nelas ocorrem permanecem altamente complexos (DIXON et al., 2018).

Esse dinamismo ressalta a importância de investigar quais processos influenciam a configuração das confluências ao longo do tempo. Nesse sentido, Ettema (2008) destaca que compreender a dinâmica de erosão das margens e a formação de barras em áreas de confluência é essencial, especialmente durante eventos extremos de cheias, pois esses processos influenciam diretamente a evolução morfológica dos rios. Estudos anteriores, como os de Graf (1980), Petts (1984), Allen et al. (1989), Grant et al. (2003), Gilvear (2004), Petts e Gurnell (2005) e Phillips et al. (2005), evidenciam que os processos erosivos e deposicionais em confluências fluviais promovem ajustes laterais e longitudinais em sua posição. Esses ajustes também foram observados por Dixon et al. (2018), que destacam a dinâmica migratória de confluências ao longo do tempo e em diferentes localidades.

Um exemplo desse fenômeno ocorre na confluência do rio Meta, de padrão entrelaçado, com o Orinoco, na Venezuela, onde a migração da junção é impulsionada pela dinâmica de barras. A elevada produção de sedimentos e a sazonalidade hídrica do rio Meta resultam na formação de barras e ilhas, que emergem durante o período de baixo fluxo (NORDIN; PEREZ-HERNANDEZ, 1989; DIXON et al., 2018), promovendo a migração da confluência em aproximadamente 1 km, tanto para montante quanto para jusante.

De forma semelhante, a junção dos rios Jamuna e Ganges, em Bangladesh, é um exemplo notável de confluência influenciada pela migração dos canais, onde a migração da confluência pode alcançar distâncias de

vários quilômetros em um único ano, conforme descrito por Best e Ashworth (1997). A resposta evolutiva de uma confluência ao movimento do canal também é observada em rios meandantes, na junção dos rios Paraguai e Bermejo, na Argentina. Embora, nesse trecho, o rio Paraguai seja relativamente estável, a migração de meandros no rio Bermejo, a montante da confluência, induz mudanças em sua localização. Entre 1985 e 2011, a confluência migrou aproximadamente 600 m, acompanhada por uma alteração na sinuosidade do canal (DIXON et al., 2018).

Outro caso ocorre na confluência entre os rios Mississippi e Arkansas, nos EUA, uma junção altamente dinâmica em um rio meandrante. A migração dos meandros, associada à deposição, fixação e erosão de barras, resultou no deslocamento da confluência em aproximadamente 5 km (DIXON et al., 2018). Na confluência dos rios Sarda e Ghaghara - o Ghaghara, um afluente do Ganges - em Uttar Pradesh, norte da Índia, a migração do cinturão do canal em seus tributários levou a um deslocamento da junção em cerca de 22,7 km.

Já na junção dos rios Padma e Meghna, em Bangladesh, o rio Padma apresentou uma migração para o sul desde o início da década de 1970 até meados dos anos 2000, aproximando a confluência da cidade de Chandpur. Gazi et al. (2020) também documentaram a migração da junção ao longo de vários quilômetros. Por fim, Wang e Xu (2020) investigaram a confluência dos rios Amite e Comite, na Louisiana, EUA, entre 2002 e 2017. O estudo revelou mudanças na barra sedimentar formada na junção, com a confluência migrando cerca de 55 m ao longo do período analisado.

Os resultados deste estudo também evidenciam que a elevada mobilidade do canal e das geoformas fluviais resultou, e continua a resultar, em modificações na posição da junção fluvial dos rios Araguaia e Vermelho, em concordância com os dados apresentados por Assis e Bayer (2020). Eles apontaram que, entre 1984 e 2018, ocorreu um recuo de 424 metros da junção fluvial. Esse avanço e recuo são mais perceptíveis quando analisados com base na seção T4, que, embora não tenha apresentado grandes alterações de largura entre 1972 e 2023, destacou-se como a mais instável entre todas as seções avaliadas.

As mudanças observadas na T4 são atribuídas ao recuo da confluência, como resultado da erosão da área da planície nesse trecho. O processo de recuo pode ser observado a partir de 1972, nesse ano a junção dos rios estava situada a 1,33 km a jusante da seção T4. Entre 1973 e 1994, a confluência iniciou um processo de recuo progressivo, mas ainda não alcançava a seção T4. A partir de 1995, a margem esquerda dessa seção deixou de existir devido à erosão de áreas da planície e, consequentemente, recuo da confluência, sendo ocupada nesse momento pela área do rio. Nesse ano, a junção dos rios estava localizada a 200 m a montante da T4. Devido à erosão da margem - margem esquerda do rio Vermelho - nos anos de 1995, 1996 e 1997, não foi possível medir a seção transversal da T4, uma vez que essa margem foi completamente erodida, transformando-se em área ocupada por água. Em 1998, com a formação de uma barra de tributário, começou a reestabelecer a margem esquerda dessa seção, permitindo a medição da T4, com 67 m. Contudo, em 1999 essa barra foi novamente erodida, levando à ausência de margem esquerda da T4 novamente. A partir de 2000, uma nova barra de tributário se formou e consolidando-se nos anos seguintes. Essa barra passou a integrar a margem, transformando-se gradualmente em área de planície e contribuindo para o avanço da confluência.

A concordância entre os resultados de ambos os estudos evidencia que a dinâmica de avanço e recuo, torna essa confluência particularmente suscetível a alterações frequentes no ângulo e nos padrões de movimentação da junção. Esses fenômenos refletem diretamente a influência dos processos hidrossedimentológicos na morfologia da confluência. O ângulo da junção desempenha um papel importante, influenciando tanto a morfologia da zona de escavação (MOSLEY, 1976; BEST, 1988; SAMBROOK SMITH et al., 2005) quanto à formação e evolução da barra de tributário (BEST, 1988).

Como resposta à mobilidade do canal, às geoformas fluviais e à dinâmica de avanço e recuo, observou-se uma mudança contínua no ângulo de junção ao longo dos últimos 50 anos na confluência dos rios Araguaia e Vermelho. Em 1972, o ângulo era de 69,61°, diminuindo para 42,30° em 2023, o que representa uma redução de 27,31° nesse período. Dixon et al. (2018) também identificaram alterações no ângulo das junções fluviais ao longo de 40 anos. Por exemplo, na confluência dos rios Meta e Orinoco, houve uma alteração no ângulo de 60° para 100°. Já a junção dos rios Jamuna e Ganges passou de 70° para 100°.

No distrito de Kurigram, onde três tributários do rio Jamuna se encontram - os rios Gangadhar, Dud Kumar e Dharla —, os ângulos das junções variaram de 30° para 80°, de 30° para 70° e de 40° para 120°, conforme registrado por Dixon et al. (2018). Também foi observada uma variação de 15° para 110° na junção dos rios Paraguai e Bermejo, e de 40° para 90° entre os rios Mississippi e Arkansas. Na confluência dos rios Sarda e

Ghaghara, o ângulo da junção passou de 35° para 90°, enquanto entre os rios Padma e Meghna, a mudança foi de 15° para 90°. Wang e Xu (2020), que investigaram a confluência dos rios aluviais Amite e Comite no período de 2002 a 2017, observaram uma redução no ângulo de junção, de 100° para 45°.

De acordo com Best e Rhoads (2008), confluências com ângulos abertos, ou seja, acima de 90°, promovem uma maior deflexão do fluxo entre os canais, alterando assim o trajeto do transporte de sedimentos. Por outro lado, ângulos mais fechados, menores que 90°, limitam a penetração da barra na confluência e favorecem o avanço da barra em direção à zona de escavação, contribuindo para o preenchimento natural dessa área. A confluência entre o Araguaia e o Vermelho se enquadra neste segundo caso, com a frequência dominante do ângulo da junção oscilando entre 40° e 75°, porém com uma variação anual muito elevada, especialmente a partir de 1995 (Figura 10-B). Por isso, os resultados mostraram a zona de escavação exibindo tendências de reposicionamento (Figura 12 - T5), migração do ponto da junção (Figura 8), e a área da barra de tributário crescendo e diminuindo constantemente no mesmo período (Figura 7).

A presença dessa zona de escavação na área central da confluência pode ser explicada por diversos fatores hidrodinâmicos e sedimentares já discutidos na literatura. Entre eles, destacam-se o fluxo acelerado na região central da confluência, a influência da turbulência ao longo da camada de cisalhamento entre os fluxos, a atuação de fluxos secundários que afetam o leito do canal, e o processo de rotação de sedimentos, que contribui para a limpeza e manutenção da área escavada, conforme apontado por Atkinson (1987) e Roy e Bergeron (1988). Essas dinâmicas corroboram com os padrões morfológicos descritos em estudos clássicos de Mosley (1976), Best (1987, 1988), Biron et al. (1993) e Rhoads e Kenworthy (1995).

Os mecanismos de ajuste do canal, que incluem processos de erosão, deposição e mudanças no talvegue, impactam diversos parâmetros da geometria hidráulica do rio Araguaia na área de estudo. Essa dinâmica também foi observada em estudos anteriores (GRAF, 1980; PETTS, 1984; ALLEN et al., 1989; GRANT et al., 2003; GILVEAR, 2004; PETTS e GURNELL, 2005; PHILLIPS et al., 2005). Um exemplo desse processo é a variação na largura, na profundidade e na velocidade entre as seções transversais T1 e T2 resultante do desenvolvimento da barra de tributário na margem direita da T2 (Figura 15). Esta configuração promove um confinamento do fluxo numa faixa estreita no lado oposto do canal, resultando em valores de velocidade mais elevados na seção T2 (0,623 m.s⁻¹) em comparação com a T1 (0,352 m.s⁻¹) (Tabela 2).

Ao mesmo tempo, o desenvolvimento da barra de tributário desloca o talvegue para a esquerda (Figura 5 B – Talvegue e Figura 12 – T2) e reduz a largura da T1 (391,74 m) para a T2 (290,4 m) e a profundidade média da T1 (1,46 m) para a T2 (1,01 m). Destaca-se ainda que o desenvolvimento da barra de tributário no canal do Araguaia (seção T2, Figura 15) é favorecido pela zona de separação do fluxo gerada pela reunião do fluxo que contorna o lado direito da barra central entre as seções T1 e T2. Isso contribui para a deposição na porção submersa da barra de tributário, a redução da profundidade e os efeitos subsequentes sobre a largura e o talvegue.

Não foi possível estabelecer o efeito desses processos sobre a vazão, embora os modelos de geometria hidráulica demonstrem uma relação entre a largura e vazão, geralmente proporcional em canais fluviais (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). A discrepância das vazões observadas na T1 (202,99 m³.s⁻¹) e na T2 (184,87 m³.s⁻¹) decorre de que na T1 foi possível realizar o percurso transversal completo de perfilamento (margem-a-margem) com o ADCP, enquanto na T2, a porção submersa (muito rasa) da barra de tributário impediu o percurso completo para a obtenção de dados (profundidade menor que o limite mínimo para a embarcação e o ADCP).

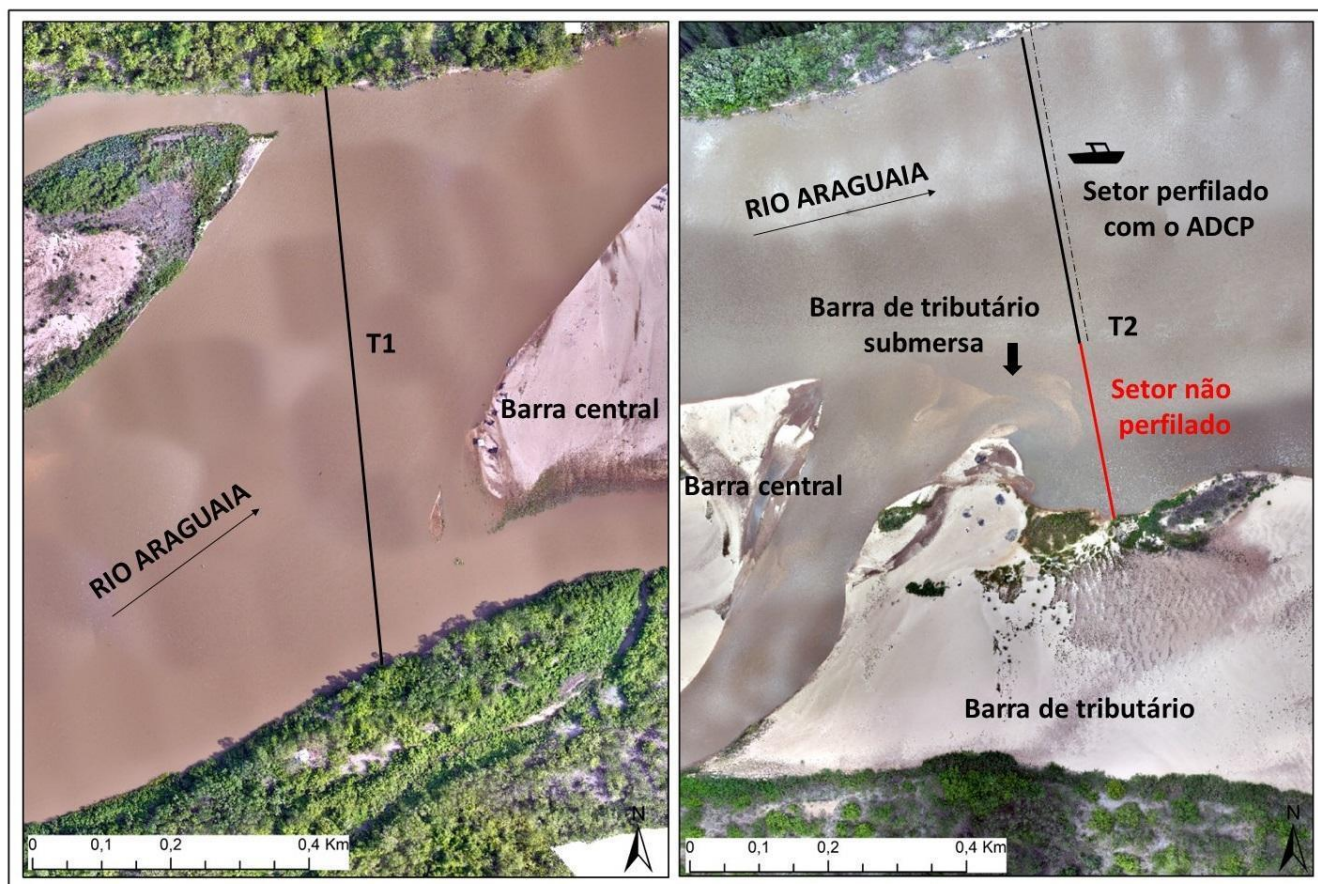


Figura 15. Detalhamento das seções transversais T1 e T2 do rio Araguaia. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

A predominância das barras laterais sobre os demais tipos na região da confluência está em consonância com a representatividade dessas barras, tanto em quantidade quanto em área, observada por Suizu et al. (2022) em seu levantamento para outros trechos do rio Araguaia. Algumas dessas barras apresentam uma estabilidade relativa quando os mecanismos de ajuste entre a hidráulica dos fluxos e os processos de erosão e deposição estabelecem uma tendência local de deslocamento unidirecional do talvegue.

Mosley (1976) e Best (1988) discutem a formação de barras centrais em canais pós-confluência. Na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, esse tipo de barra foi identificado nos anos de 1985, 1986, 1987, 1992, 1993, 1994, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2004, 2016, 2017, 2020 e 2021. A formação dessa barra está relacionada à convergência dos caminhos de transporte de sedimentos (BEST, 1988; BEST; RHOADS, 2008), bem como, à redução das velocidades do fluxo e à diminuição das intensidades de turbulência imediatamente após a zona de máxima aceleração do fluxo (BEST, 1987; BEST, 1988; SUKHODOLOV; RHOADS, 2001; RHOADS; SUKHODOLOV, 2004).

5.2. Colonização da vegetação e estabilização da barra de tributário

Durante o período analisado na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, as variações na área total das barras laterais e na barra do tributário estão diretamente relacionadas à progressiva sucessão ecológica da vegetação ripária. Esse processo resultou na conversão de extensas áreas de barras arenosas do canal ativo em terrenos da planície aluvial (Figura 16). Observa-se a consolidação da barra do tributário, que tem sido incorporada gradativamente à margem direita do rio Araguaia desde 2002, como também observado por Assis e Bayer (2020).

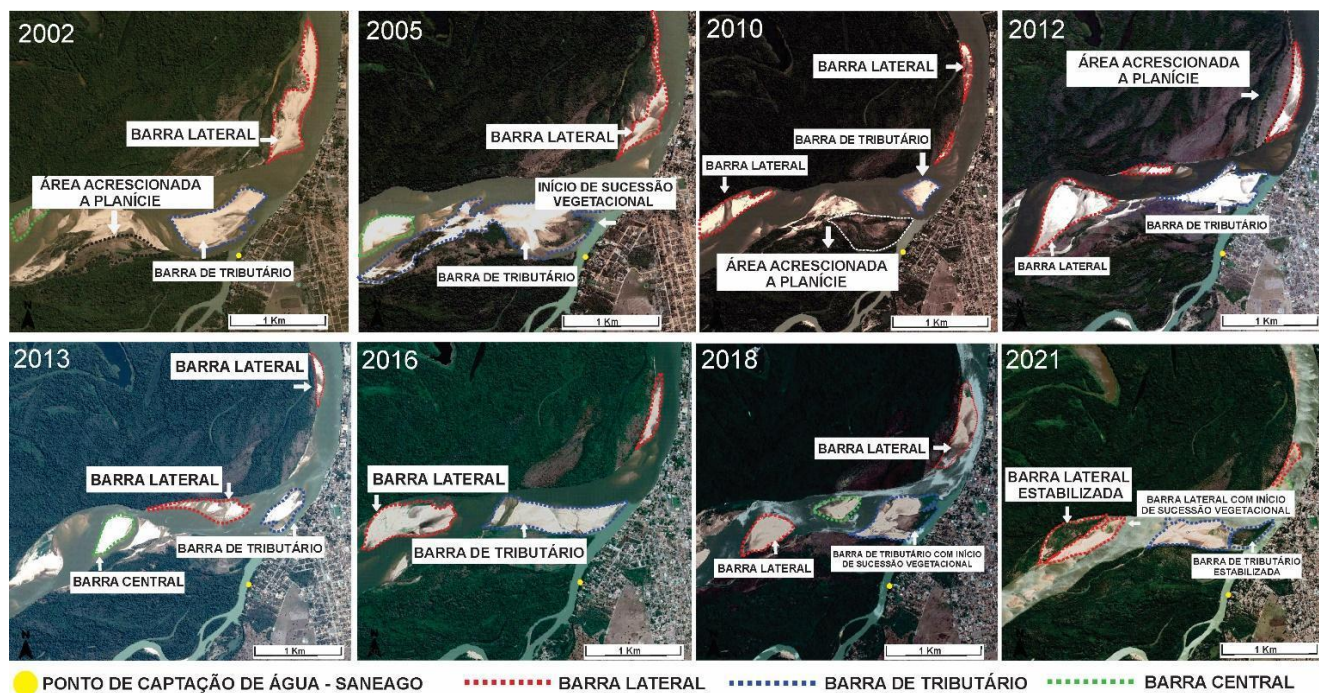


Figura 16. Conversão de áreas das barras laterais e de tributário em terrenos da planície aluvial, pela estabilização, colonização vegetal e anexação à margem. Imagens de fundo: Google Earth. Fonte: Os/as autores/as, 2025.

Essa vegetação ripária que coloniza as barras fluviais no rio Araguaia, é classificada como vegetação pioneira herbácea, conforme definido por Moraes (2006). Sob influência direta do regime fluvial anual sazonal do rio Araguaia, é caracterizada pela presença de plantas de pequeno porte, espaçadas entre si, com gramíneas e ciperáceas, conforme descrito por Araújo (2002) (Figura 17 - E).

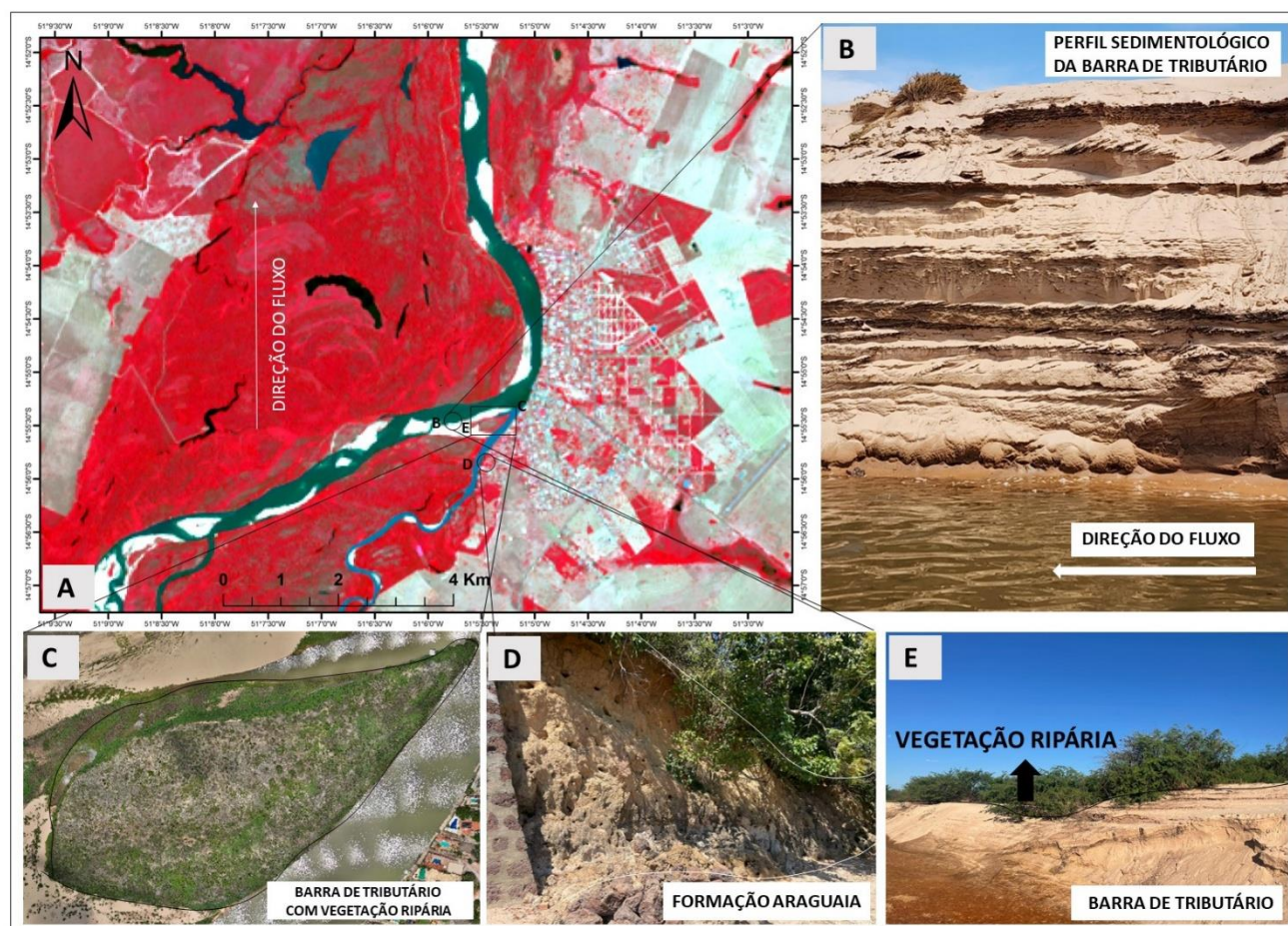


Figura 17. Exemplos de pontos que indicam as diferentes características geológicas e vegetação consolidada na confluência dos rios Araguaia e Vermelho. (A) Imagem Landsat/OLI de 20 de outubro de 2023, composição colorida R(5)G(4)B(3). (B) Perfil sedimentológico da barra de tributário em 2023 (com a presença de areia, silte e camada com material orgânico). (C) Vegetação ripária sobre a barra de tributário. (D) Perfil da Formação Araguaia. (E) Exemplo de vegetação ripária na barra de tributário. Fotos: Os/as autores/as, 2025.

O processo de sucessão vegetal na região inicia-se com a fixação de vegetação pioneira herbácea em áreas de pequenas depressões, que, durante as cheias, são preenchidas por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica. Em consonância com o estudo de Wang e Xu (2020) e Assis e Bayer (2020), que indicam que o aumento da área vegetada em barras na junção fluvial está fortemente relacionado aos eventos de cheia. Durante a seca, essas depressões favorecem a rápida colonização por gramíneas, ciperáceas e alguns arbustos.

O crescimento acelerado dessa vegetação, ao formar uma cobertura estabilizadora que fixa o material depositado, permite que essas áreas se mantenham preservadas nos próximos ciclos hidrológicos. Esse processo não só facilita a consolidação dos depósitos sedimentares, como também favorece a manutenção de áreas ativas ao longo do tempo. Com a sucessão, a vegetação se torna mais resiliente e capaz de sustentar os ciclos hidrológicos, implicando em maior estabilidade morfológica da região. A longo prazo, essa dinâmica contribui para a expansão das áreas de deposição e para a construção da planície, impactando a evolução do ambiente fluvial e a formação de novos habitats (LATRUBESSE; STEVAUX, 2009; ASSIS, 2019; ASSIS e BAYER, 2020; SUIZU et al., 2022; SANTOS et al., 2024). Esse processo tem sido um dos principais responsáveis pela consolidação da barra de tributário, sua anexação à planície e pelo avanço da confluência nos últimos 20 anos.

Conforme discutido, a morfodinâmica de confluências em áreas de planície aluvial, como a do rio Araguaia, é especialmente sensível às mudanças hidrossedimentares. Embora este estudo tenha fornecido uma análise detalhada da mobilidade planimétrica e da reconfiguração morfológica da confluência dos rios Araguaia e Vermelho, ainda persistem lacunas no conhecimento sobre as interações geomorfológicas em confluências

fluviais, especialmente no contexto do Bioma Cerrado. Questões como a influência das variações sazonais nos padrões de sedimentação, o transporte de sedimentos em suspensão e de fundo, bem como o papel da vegetação pioneira na consolidação de bancos arenosos e na construção da planície, ainda requerem investigações mais aprofundadas.

Esta investigação representa a primeira análise focada na morfologia e dinâmica fluvial de uma confluência no rio Araguaia, integrando uma análise temporal detalhada com dados obtidos por ADCP e ecobatímetro. Os resultados ressaltam a necessidade de expandir essa abordagem para outras confluências de afluentes importantes, como os rios Caiapó, Claro, Peixe, Crixás-Açu, Formoso, Côco, Piranhas, Cristalino e rio das Mortes. A avaliação das confluências ao longo da alta, média e baixa bacia pode fornecer ainda uma perspectiva abrangente sobre os processos hidrossedimentares e morfodinâmicos desse rio aluvial. A incorporação de modelagem matemática e computacional surge como um avanço essencial para o aprofundamento dessas análises. O uso de modelos de simulação de transporte de sedimentos, como HEC-RAS e TELEMAC, pode aprimorar a compreensão da evolução geomorfológica das confluências sob diferentes cenários hidrodinâmicos, aumentando a aplicabilidade dos resultados.

6. Conclusões

Este estudo analisou as principais mudanças morfológicas na confluência dos rios Araguaia e Vermelho, situada no principal rio do bioma Cerrado, a partir do deslocamento planimétrico de geoformas fluviais com base em imagens de satélite e dados hidrodinâmicos e batimétricos obtidos por ADCP.

Os resultados demonstraram instabilidade acentuada da confluência entre 1972 e 2023, com transformações contínuas nos processos erosivos e deposicionais, na mobilidade das margens e na reconfiguração das barras arenosas – tanto em tipologia quanto em quantidade. Além disso, foram identificadas variações no ângulo e na posição da junção fluvial, bem como a presença de uma zona de escavação com tendência de reposicionamento dentro do canal.

A mobilidade do canal está associada à migração de barras e do talvegue, à colonização por vegetação das barras e à erosão diferencial das margens, condicionada pelas unidades morfossedimentares da planície aluvial. Enquanto a Unidade III favorece processos erosivos e deposicionais devido à baixa coesão dos sedimentos, a presença da Formação Araguaia atua como limite resistente à migração lateral. A resposta morfológica da confluência reflete a interação entre o regime hidrossedimentar sazonal e a heterogeneidade litológica das margens, caracterizando um ambiente fluvial dinâmico sujeito a ajustes laterais e verticais contínuos.

Esses resultados indicam que, no início da expansão da fronteira agropecuária na bacia hidrográfica do rio Araguaia, durante as décadas de 1970 e 1980, os processos erosivos prevaleceram na confluência. Porém, recentemente, houve um aumento significativo nos processos de deposição, relacionado ao regime hidrossedimentar nas últimas cinco décadas. Contribuindo para a formação e consolidação da barra de tributário, que tem desempenhado o papel principal no avanço da confluência nos últimos 20 anos. Essas mudanças impactam significativamente esse trecho do rio Araguaia, o último grande rio do Cerrado ainda livre de intervenções antrópicas diretas. Os efeitos dessas mudanças podem se estender para além da configuração morfológica do canal, afetando infraestrutura portuária, áreas urbanas, terras e propriedades ribeirinhas, além de comprometer aspectos ecológicos fundamentais, a regulação do fluxo hídrico, proteção de áreas alagadas que atuam na mitigação de inundações e, de forma determinante, o turismo, que é a principal fonte de renda para a população de Aruanã.

Nesse contexto, torna-se essencial buscar alternativas mais sustentáveis e compatíveis com a preservação dessa importante área do bioma Cerrado. As conclusões deste estudo devem ser incorporadas à elaboração de modelos preditivos, fornecendo suporte para o planejamento e a tomada de decisões estratégicas voltadas à conservação e ao desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica.

Contribuições dos/as autores/as: Concepção, P.C.A.; metodologia, P.C.A. e L.F.S.; análise formal, P.C.A., M.H.C.Z., e H.A.M.; pesquisa, P.C.A.; preparação de dados, P.C.A. e L.F.S.; escrita do artigo, P.C.A., M.H.C.Z. e H.A.M.; revisão, M.H.C.Z. e H.A.M.; recursos, M.B.; supervisão, M.H.C.Z. Todos os/as autores/as leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa contou com financiamento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (#422559/2021-0) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Agradecimentos: Os/as autores/as agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado à primeira autora, Pâmela Camila Assis, cujo apoio foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradecem, ainda, ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig), vinculado ao Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (UFG) e ao Instituto Federal de Goiás (IFG – Campus Goiânia), pelo empréstimo de equipamentos. Por fim, agradecem aos/as revisores/as e ao editor pelas contribuições que aprimoraram a qualidade deste manuscrito.

Conflito de Interesse: Os/as autores/as declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ABRAHAM, A. D.; CAMPBELL, R. N. Source and tributary-source link lengths in natural channel networks. **Geological Society of America Bulletin**, n. 87, v. 07, p. 1016-1020, 1976. DOI: 10.1130/0016-7606(1976)87<1016:SATLLI>2.0.CO;2
2. ABRAHAM, A.D.; UPDEGRAPH, J. Some space-filling controls on the arrangement of tributaries in dendritic channel networks. **Water Resources Research**, n. 23, p. 489-495, 1987. DOI: 10.1029/WR023i003p00489
3. ALLEN, P. M.; HOBBS, R.; MAIER, N. D. Downstream impacts of a dam on a bedrock fluvial system, Brazos River, Central Texas. **Bulletin of the Association of Engineering Geologists**, v. 26, n. 02, p. 165-189, 1989. DOI: 10.2113/gsegeosci.xxvi.2.165
4. ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Edição Especial. Brasília - DF: ANA. 2015. Disponível em: https://www.ana.gov.br/acoesadministrativas/cdoc/CatalogoPublicacoes_2015.asp, acessado em Setembro de 2024.
5. AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. E.; SOUZA FILHO, E. E. Relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 04, p. 361-369, 2008. DOI: 10.4025/actasciobiols.v30i4.5866
6. AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA FILHO, E. E. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da Bacia do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 43-54, 2009. DOI: 10.20502/rbg.v10i1.116
7. AQUINO, S.; STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfodinâmico do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 06, n. 02, p. 29-41, 2005. DOI: 10.20502/rbg.v6i2.49
8. ARAÚJO, F. R. **Controles abióticos da vegetação na planície aluvial do rio Araguaia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002.
9. ARTHINGTON, A. H.; PUSEY, B. J. Flow restoration and protection in Australian rivers. **River Research and Applications**, v. 19, n. 05-06, p. 377-395, 2003. DOI: 10.1002/rra.745
10. ASSIS, P. C.; BAYER, M. Análise multitemporal do sistema fluvial do rio Araguaia, Aruanã - Goiás, Brasil. **Elisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 09, n. 02, p. 01-18, 2020.
11. ASSIS, P. C.; SILVA, A. P. M.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. Implicações das transformações no uso e cobertura da terra na gestão hídrica da bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Geotemas**, v. 15, p. 01-25, 2025. DOI: 10.33237/2236-255X.2025.6459
12. ASSIS, P.C. **Estimativa do volume de depósitos sedimentares com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) – Confluência do rio Araguaia com o rio Vermelho, Aruanã - GO**. 2019. 20 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Ambientais) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.
13. ATKINSON, B.K. **Fracture Mechanics of Rock**. London: Academic Geology Series, Academic Press, 1987. DOI: 10.1016/C2009-0-21691-6
14. BAGNOLD, R. A. **An approach to the sediment transport problem from general physics**. Washington: U.S. Department of the Interior, 1966. (Geological Survey Professional Paper, v 422-I, p.01 – 43).
15. BAGNOLD, R. A. **Sediment discharge and stream power** – A preliminary announcement. Washington: USGS. Geological Survey Circular, v. 421, p. 01-28, 1960.
16. BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho**. 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002.

17. BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia**. 2010. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010.
18. BAYER, M.; ASSIS, P. C.; SUIZU, T. M.; GOMES, M. C. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás. **Revista Confins**, n. 48, 2020. DOI: 10.4000/confins.33972
19. BAYER, M.; ZANCOPE, M. H. C. Ambientes sedimentares da Planície aluvial do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 02, p. 203-220, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i2.414
20. BEST, J. L. Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. **Recent Developments in Fluvial Sedimentology**, v. 39, p. 27-35, 1987. DOI: 10.2110/pec.87.39.0027
21. BEST, J. L. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. **Sedimentology**, v. 35, n. 03, p. 481-498, 1988. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1988.tb00999.x
22. BEST, J. L. The morphology of river channel confluences. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 10, n. 02, p. 157-174, 1986. DOI: 10.1177/030913338601000201
23. BEST, J. L.; ROY, A. G. Mixing-layer distortion at the confluence of channels of different depth. **Nature**, v. 350, p. 411-413, 1991. DOI: 10.1038/350411a0
24. BEST, J.; ASHWORTH, P. Scour in large braided rivers and the recognition of sequence stratigraphic boundaries. **Nature**, v. 387, p. 275-277, 1997. DOI: 10.1038/387275a
25. BEST, J. L.; RHOADS, B. L. Sediment transport, bed morphology and the sedimentology of river channel confluences. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Org.). **River confluence, tributaries and the fluvial network**. London: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2008. p.45-72. DOI: 10.1002/9780470760383.ch4
26. BIRON, P.; ROY, A. G.; BEST, J. L.; BOYER, C. J. Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. **Geomorphology**, v. 08, 115-129, 1993. DOI: 10.1016/0169-555X(93)90032-W
27. BRISTOW, C. S.; BEST, J. L.; ROY, A. G. Morphology and facies models of channel confluences. In: MARZO, M.; PUIGDEFÀBREGAS, C. (Org.). **Alluvial Sedimentation**. Oxford: Blackwell, 1993. p. 89-100. DOI: 10.1002/9781444303995.ch8
28. BRUNS, D. A.; MINSHALL, G. W.; CUSHING, C. E.; CUMMINS, K. M.; BROCK, J. T.; VANNOTE, R. L. Tributaries as modifiers of the river Continuum concept: Analysis by polar ordination and regression models. **Archive Hydrobiologie**, n. 99, p. 208-220, 1984.
29. CASTRO, S. S. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 38-60, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0004
30. COE, M. T.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, M. E.; AMSLER, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 01, p. 119-131, 2011. DOI: 10.1007/s10533-011-9582-2
31. DIXON, S. J.; SAMBROOK, S. G. H.; BEST, J. L.; NICHOLAS, A. P.; BULL, J. M.; VARDY, M. E.; SARKER, M. H.; GOODBRED, S. The planform mobility of river channel confluences: Insights from analysis of remotely sensed imagery. **Earth-Science Reviews**, v. 176, p. 01-18, 2018. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.09.009
32. ETTEMA, R. Management of confluences. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Org.). **River confluences, tributaries and the fluvial network**. London: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2008. p. 93-118. DOI: 10.1002/9780470760383
33. FITZSIMMONS, K. E.; COHEN, T. J.; HESSE, P. P.; JANSEN, J.; NANSON, G. C.; MAY, J.H.; BARROWS, T. T.; HABERLAH, D.; HILGERS, A.; KELLY, T.; LARSEN, J.; LOMAX, J.; TREBLE, P. Late Quaternary palaeoenvironmental change in the Australian drylands. **Quaternary Science Reviews**, v. 74, p. 78-96, 2013. DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.09.007
34. FLINT, J. J. Tributaries arrangements in fluvial systems. **American Journal of Science**, v. 280, p. 26-45, 1980. DOI: 10.2475/ajs.280.1.26
35. FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confl uência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 04, p. 587-596, 2011. DOI: 10.25249/0375-7536.2011414587596
36. FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 04, p. 587-596, 2011.
37. FRIEND, P. F.; SINHA, R. Braiding and meandering parameters. In: BEST, J. L.; BRISTOW, C. S. (Eds.). **Braided Rivers**. Geological Society Special Publication, n. 75, p. 105-111, 1993. DOI: 10.1144/gsl.sp.1993.075.01.05
38. GAZI, M. Y.; ROY, H.; MIA, M. B.; Akhter, S. H. Assessment of Morpho-Dynamics through Geospatial Techniques within the Padma-Meghna and Ganges-Jamuna River Confluences, Bangladesh. **KN - Journal of Cartography and Geographic Information Article**, v. 70, p. 127-139, 2020. DOI: 10.1007/s42489-020-00051-2

39. GHOSH, S.; MISTRI, B. Hydrogeomorphic significance of sinuosity index in relation to river instability: a case study of Damodar River, West Bengal, India. **International Journal of Advanced Earth Science**, v. 01, n.0 2, p. 49-57, 2012.
40. GILVEAR, D. J. Patterns of channel adjustment to impoundment of the upper River Spey, Scotland (1942-2000). **River Research and Applications**, v. 20, p. 151-165, 2004. DOI: 10.1002/rra.741
41. GOMES, M. C.; SOUZA, A. C. R.; BAYER, M.; FARIA, K. M. S. Degradação da vegetação nativa e implicações sobre o regime hidrológico na bacia hidrográfica do rio Claro, sub-bacia do rio Araguaia (GO). **Geociências**, v. 41, n. 03, p. 559 - 568, 2022. DOI: 10.5016/geociencias.v41i03.15579
42. GRAF, W. L. The effect of dam closure on downstream rapids. **Water Resources Research**, v. 16, n. 01, p. 129-136, 1980.
43. GRANT, G. E.; SCHMIDT, J. C.; LEWIS, S. L. A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers. **Water Science and Applications**, v. 07, p. 209-225, 2003. DOI: 10.1029/007WS13
44. HACKNEY, C.; CARLING, P. A. The occurrence of obtuse junction angles and changes in channel width below tributaries along the Mekong River, South-East Asia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 36, n. 12, p. 1563-1576, 2011. DOI: 10.1002/esp.2165
45. KOMINECKI, A.; VESTENA, L. Morfologia de confluência fluvial de ângulo agudo em área de controle geológico, Guarapuava, Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 07, n.01, p. 8000-8018, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-543
46. LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, n. 03-04, p. 239-252, 2009. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.014
47. LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 129, p. 109-127, 2002.
48. LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, p. 187-206, 2005.
49. LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J. C.; BAYER, M.; PRADO, R. The Araguaia-Tocantins Fluvial Basin. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 19, n. 1, p.120-127, 1999. DOI: 10.5216/bgg.v19i1.15341
50. MAHESHWARI, B. L.; WALKER, K. F.; McMAHON, T. A. Effects of regulation on the flow regime of the River Murray, Australia. **Regulated Rivers: Research and Management**, v. 10, n. 01, p. 15-38, 1995. DOI: 10.1002/rrr.3450100103
51. MILLER, J. P. **High mountain streams: Effects of geology on channel characteristics and bed material** (Memoir 4, State Bureau of Mines and Mineral Resources). New Mexico Institute of Mines and Mining Technology, p. 397-410, 1958.
52. MORAIS, Roberto Prado de. **A planície aluvial do médio rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006. 178p.
53. MORISAWA, M. Tectonics and geomorphic models. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C.(edits.). **Theories of Landform Development**. London: G. Allen & Unwin, 1975. p. 199- 216.
54. MOSLEY, M. An experimental study of channel confluences. **The Journal of Geology**, v 84, n. 05, p. 535-562, 1976. DOI: 10.1086/628230
55. NANSON, G. C.; PRICE, D. M.; JONES, B. G.; MAROULIS, J. C.; COLEMAN, M.; BOWMAN, H.; COHEN, T. J.; PIETSCH, T. J.; LARSEN, J. R. Alluvial evidence for major climate and flow regime changes during the middle and late Quaternary in eastern central Australia. **Geomorphology**, v. 101, n. 01, p. 109-129, 2008.
56. NIMNATE, P.; CHOOWONG, M.; THITIMAKORN, T.; HISADA, K. Geomorphic criteria for distinguishing and locating abandoned channels from the upstream part of Mun River, Khorat Plateau, northeastern Thailand. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 331, p. 01-13, 2017. DOI: 10.1007/s12665-017-6657-y
57. NORDIN, C. F.; PEREZ-HERNANDEZ, D. **Sand waves, bars, and wind-blown sands of the Rio Orinoco, Venezuela and Colombia**. Denver: US Geological Survey, 1989.
58. OLIVEIRA, A. S. **Análise morfométrica e granulométrica dos sedimentos transportados pelos rios Vermelho e Araguaia (confluência em Aruanã)**. 2021. 13 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Ambientais) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.
59. PETTS, G. E. **Impounded rivers: perspective for ecologia management**. Western Europe. Chichester: John Willey & Sons, 1984. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.02.015
60. PETTS, G. E.; GREENWOOD, M. Channel changes and invertebrate faunas below Nant-y-Moch dam, River Rheidol, Wales, UK. **Hydrobiologia**, n. 122, p. 65-80, 1985. DOI: 10.1007/BF00018961
61. PETTS, G. E.; GURNELL, A. M. Dams and geomorphology: research progress and future directions. **Geomorphology**, v. 71, n. 01-02, p. 27-47, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.02.015
62. PHILLIPS, J. D.; SLATTERY, M. C.; MUSSELMAN, Z. A. Channel adjustments of the lower Trinity River, Texas, downstream of Livingston Dam. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, n. 11, p. 1419-1439, 2005. DOI: 10.1002/esp.1203

63. RHOADS, B. L.; KENWORTHY, S. T. Flow structure at an asymmetrical stream confluence. **Geomorphology**, v. 11, n. 04, p. 273-293, 1995. DOI: 10.1016/0169-555X(94)00069-4
64. RHOADS, B. L.; SUKHODOLOV, A. N. Spatial and temporal structure of shear layer turbulence at a stream confluence. **Water Resources Research**, v. 40, n. 06, p. 01-13 2004. DOI: 10.1029/2003WR002811
65. RIBEIRO, M. L.; BLANCKAERT, K.; ROY, A. G.; SCHLEISS, A. J. Flow and sediment dynamics in channel confluences. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 117, n. 01, 2012. DOI: 10.1029/2011JF002171
66. RICE, S. P.; KIFFNEY, P.; GREENE, C.; PESS, G. R. The ecological important of tributaries and confluences. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Org.). **River confluences, tributaries and the fluvial network**. London: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2008. v. 01, p. 209-242.
67. ROY, A. G.; ROY, R.; BERGERON, N. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. **Earth Surface Processes and Landforms**, n. 13, v. 07, p. 583-598, 1988. DOI: 10.1002/esp.3290130704
68. SAMBROOK SMITH, G. H.; ASHWORTH, P.; BEST, J. L.; WOODWARD, J.; SIMPSON, C. J. The morphology and facies of sandy braided rivers: some considerations of scale invariance. In: BLUM, M.; MARRIOTT, S.; LECLAIR, S. (Ed.). **Fluvial sedimentology**. 7. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. p. 145-158.
69. SANTOS, D. A. R.; CREMON, É. H.; CHEREM, L. F. S. Tendências temporais nas barras arenosas e massas de água na borda direita da maior ilha fluvial do mundo - rio Javaés. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 01, p. 01-27, 2024. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v25i1.2427
70. SANTOS, V. C.; STEVAUX, J. C. Processos fluviais e morfologia em confluências de canais: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 01, p. 03-17, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1042
71. SEMAD - Secretaria do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos. Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, conforme resolução nº 003, de 10 de abril de 2001, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. 2021. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/wp-content/uploads/sites/33/2015/11/cbh-rio-vermelho-proposta-de-instituicao-b74.pdf>, acessado em Setembro de 2024.
72. SERRES, B.; ROY, A. G.; BIRON, P. M.; BEST, J. L. Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. **Geomorphology**, v. 26, n. 04, p. 313-335, 1999. DOI: 10.1016/S0169-555X(98)00064-6
73. SILVA, P. R. F. **A expansão agrícola no cerrado e seus impactos no ciclo hidrológico: estudo de caso na região do MATOPIBA**. 2020. 156 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
74. SOUZA et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n 17, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735
75. STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336p.
76. SUIZU, T. M.; LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; BAYER, M. Resposta da morfologia do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 02, p. 1420-1434, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i2.2088
77. SUKHODOLOV, A. N.; RHOADS, B. L. Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 2. Turbulence. **Water Resources Research**, v. 37, n. 9, p. 2411-2424, 2001. DOI: 10.1029/2001WR000317
78. VALENTE, C.R.; LATRUBESSE, E.M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v 356-357, p. 62-74, 2012. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.10.002
79. WANG, B.; XU, Y. J. Decadal and episodic changes in morphology and migration of the confluence bar of two alluvial rivers in Louisiana, USA. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 56, n. 04, p. p. 615-629, 2020. DOI: 10.1111/1752-1688.12838
80. ZANCOPE, M. H. C.; GONÇALVES P.E.; BAYER, M. Potencial de transferência de sedimentos e suscetibilidade á assoreamento na rede hidrográfica do Alto Rio Araguaia. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 01, p. 115-132, 2015. DOI: 10.5216/bgg.v35i1.35488



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.