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

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI NO TRECHO ENTRE PORTO DA MANGA E PORTO MURTINHO-MS

TRÊS LAGOAS, MS 2025

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI NO TRECHO ENTRE PORTO DA MANGA E PORTO MURTINHO-MS

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para a obtenção do título de Doutor em Geografia. Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo Silva Coorientador: Prof. Dr. Hudson de Azevedo Macedo e Dr. Sidney Kuerten.

TRÊS LAGOAS, MS 2025

Ficha de identificação da obra

Silva, Edson Rodrigo dos Santos da GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI NO TRECHO ENTRE PORTO DA MANGA E PORTO MURTINHO-MS / Edson Rodrigo dos Santos da Silva; orientador, Aguinaldo Silva, coorientador, Hudson de Azevedo Macedo, coorientador, Sidney Kuerten, 2025.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Três Lagoas, 2025.
Inclui referências.
Geografia. 2. Geomorfologia Fluvial. 3. Dinâmica Hidrológica. 4. Sistema Fluvial. 5. Pantanal. I. Silva, Aguinaldo. II. Macedo, Hudson de Azevedo. III. Kuerten, Sidney IV. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia. V. Título.

EDSON RODRIGO DOS SANTOS DA SILVA

GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI NO TRECHO ENTRE PORTO DA MANGA E PORTO MURTINHO-MS

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Aguinaldo Silva Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - CPAN

Prof. Dr. Frederico dos Santos Gradella Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - CPTL

Prof. Dr. Mauro Henrique Soares Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - CPTL

Prof. Dra. Sandra Mara Alves da Silva Neves Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Cáceres

> Prof. Dr. Michael M. McGlue University of Kentucky – Lexington

À família, base sólida, confiável, amiga e companheira para todos os momentos. Elemento básico para uma vida de realizações e conquistas.

-

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado.

À Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo apoio para a realização deste trabalho.

Ao professor Aguinaldo Silva pela confiança e incentivo.

Aos professores Sidney Kuerten e Hudson de Azevedo Macedo pela coorientação.

Aos meus amigos, sejam aqueles do trabalho ou da academia. A esse respeito, não posso deixar de citar aqueles que conheci ao longo do mestrado e do doutorado, como o Erivelton Pereira Vick, o Víncler Fernandes Ribeiro de Oliveira e o Bruno Henrique Machado da Silva. À Cristiane Zuppa Camargo, amiga desde o início profissional da docência, a qual sempre me apoiou nas dificuldades e esteve presente nos momentos de conquista.

Ao Carlos Alexandre dos Santos Teixeira pelo apoio e paciência. Sua presença foi um alicerce determinante para seguir o meu caminho de forma mais humana e agradável.

À minha família, especialmente à minha mãe Joana Terezinha dos Santos Mendes e ao meu padrasto Aparecido Pita, uma menção justa que já deveria ter sido feita a tempos.

Devo agradecer ainda à sociedade brasileira que, no frigir dos ovos, ao pagar uma das maiores cargas tributárias do mundo, nos possibilita a evolução pessoal e o aperfeiçoamento.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Os autores externam seus agradecimentos ao CNPq pelos recursos do projeto (processo 406953/2021-0) que o tornaram possível. Nossos agradecimentos em especial ao 6º Distrito Naval da Marinha do Brasil sediado em Ladário/MS pela inestimável colaboração prestada durante o desenvolvimento de nossa pesquisa. Em especial, manifestamos nossa profunda gratidão aos ilustres comandantes Vice-Almirante Iunes Távora Said (2023/2024) e o atual comandante Contra-Almirante Alexandre Amendoeira Nunes (2024) cujo apoio foi crucial através das embarcações NAsH (Navio de Assistência Hospitalar) "Tenente Maximiano" e LBAI (Lancha Balizadora de Águas Interiores) "Piracema", juntamente de suas dedicadas tripulações que foram fundamentais para a conclusão de nossa pesquisa.

Agradecimentos também aos acadêmicos dos cursos de Geografia (Bacharelado) Iury Araujo Flores e de Ciências Biológica (Bacharelado) Igor Bianchessi Lemes pelo apoio durante os trabalhos de campo e processamento de amostras de Sedimentos. Ao professor Dr. Ary Tavares Rezende Filho pelo suporte e cedência de equipamentos para a realização de análises granulometricas na UFMS, Campus de Campo Grande.

Ensinar alguma coisa Aprender outra E fazer algum bem (Orlando Ribeiro)

RESUMO

O rio Paraguai constitui um dos três grandes sistemas fluviais que compõem a bacia do rio da Prata. A bacia do rio Paraguai pode ser subdividida em três grandes trechos: a bacia do Alto Paraguai (BAP), o médio Paraguai e o Paraguai Inferior. Considerando apenas a BAP, o rio Paraguai percorre cerca de 1.693 km, dos quais grande parte no interior do Pantanal. Nesse contexto, a despeito de sua importância ambiental, econômica e social, o sistema fluvial do rio Paraguai ainda é pouco compreendido. Dessa forma, o presente trabalho objetiva analisar a dinâmica hidrológica do canal e a geomorfologia da planície aluvial do rio Paraguai no trecho entre Porto da Manga e Porto Murtinho-MS, localizado no interior da bacia do Pantanal, em um segmento de 465 km de extensão. Por meio de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, foram mapeados os segmentos geomorfológicos identificados ao longo do cinturão de meandros atual do rio Paraguai no Pantanal, bem como foram analisadas as variações de vazão ao longo do canal, a interação entre canal-planície e os controles estruturais que condicionam a hidrodinâmica do sistema. Assim, foram identificados seis segmentos geomorfológicos ao longo do cinturão de meandros atual do rio Paraguai: cinturão de meandros de Porto Esperança, de Forte Coimbra, de Bahia Negra, de Barranco Branco, de Fecho dos Morros e de Porto Murtinho. Os resultados evidenciaram que a dinâmica hidrológica do rio Paraguai não segue um padrão contínuo de aumento progressivo da vazão, como prevê a teoria do continuum fluvial. Pelo contrário, há uma complexa interação entre canal e planície, que redistribui a água de forma diferenciada ao longo do trecho analisado. Gargalos hidráulicos, como o Fecho dos Morros, atuam como barreiras naturais que restringem o escoamento do rio, promovendo o armazenamento temporário da água e resultando em efeitos significativos na regulação da vazão. A análise também revelou períodos de seca no início das décadas de 1970 e 2020 que apresentaram padrões semelhantes, mas com diferenças importantes na recuperação da vazão, especialmente no período de 2023. O balanço hidrológico revelou a existência de trechos predominantemente tributários, onde há aumento de vazão devido ao aporte de tributários e fluxos laterais, e trechos distributários, onde há perda de vazão para a planície aluvial, evidenciando uma ampla integração entre canal e planície. Dessa forma, este estudo demonstra que a dinâmica hidrológica do rio Paraguai é altamente influenciada por processos de conectividade entre o canal e a planície e por controles estruturais. A compreensão dessas interações é essencial para aprimorar o entendimento da dinâmica hidrológica do Pantanal como um todo e subsidiar estratégias eficazes de manejo e conservação hídrica para a planície.

Palavras-Chave: Geomorfologia fluvial; dinâmica hidrológica, gargalo hidráulico, sistema fluvial, Pantanal.

The Paraguay River is one of the three major fluvial systems that make up the La Plata River Basin. The Paraguay River Basin can be subdivided into three main sections: the Upper Paraguay Basin (UPB), the Middle Paraguay, and the Lower Paraguay. Within the UPB alone, the Paraguay River extends approximately 1,693 km, much of which flows through the Pantanal. Despite its environmental, economic, and social significance, the fluvial system of the Paraguay River remains poorly understood. In this way, the present study aims to analyze the hydrological dynamics of the channel and the geomorphology of the floodplain of the Paraguay River in the stretch between Porto da Manga and Porto Murtinho-MS, located within the Pantanal basin, in a segment approximately 465 km. Using remote sensing data and geoprocessing techniques, the geomorphological segments along the current meander belt of the Paraguay River in the Pantanal were mapped, and flow variations along the channel, channel-floodplain interactions, and structural controls that influence the system's hydrodynamics were analyzed. As a result, six geomorphological segments were identified along the current meander belt of the Paraguay River: the Porto Esperança, Forte Coimbra, Bahia Negra, Barranco Branco, Fecho dos Morros, and Porto Murtinho meander belts. The results revealed that the hydrological dynamics of the Paraguay River do not follow a continuous pattern of progressively increasing discharge, as predicted by the river continuum concept. Instead, there is a complex interaction between the channel and the floodplain, redistributing water differently along the analyzed stretch. Hydraulic bottlenecks, such as the Fecho dos Morros, act as natural barriers that restrict river flow, promote temporary water storage, and significantly impact discharge regulation. The analysis also identified drought periods in the early 1970s and 2020s, which exhibited similar patterns but important differences in discharge recovery, especially in 2023. The hydrological balance revealed the presence of predominantly tributary sections, where discharge increases due to tributary and lateral inflows, and distributary sections, where discharge is lost to the floodplain, highlighting the strong integration between the channel and the floodplain. Thus, this study demonstrates that the hydrological dynamics of the Paraguay River are highly influenced by connectivity processes between the channel and the floodplain and by structural controls. Understanding these interactions is essential for improving knowledge of the Pantanal's hydrological dynamics and supporting effective water management and conservation strategies for the floodplain.

Keywords: Fluvial Geomorphology; hydrological dynamics; hydraulic bottleneck; fluvial system; Pantanal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia do rio Paraguai no contexto da bacia do rio da Prata	17
Figura 2 – Principais rios da bacia do Alto Paraguai	18
Figura 3 – Produtos movimentados pelas instalações portuárias localizadas no rio Paraguai	entre
Corumbá e Porto Murtinho (MS)	20
Figura 4 – Sub-regiões do Pantanal localizadas na área de estudo	24
Figura 5 – Área estudada da presente pesquisa, localizada na porção sul do Pantanal	29
Figura 6 - Vazão média do rio Paraguai, entre as estações hidrométricas de Cáceres, Por	to da
Manga e Porto Murtinho	31
Figura 7 - Compartimentação geomorfológica da porção sul do Pantanal	35
Figura 8 – Fluxograma das etapas envolvidas na segmentação geomorfológica	41
Figura 9 - Chave de interpretação evidenciando exemplos significativos da implementação	o dos
critérios para a segmentação geomorfológica	42
Figura 10 – Segmentos geomorfológicos identificados ao longo da área de estudo	44
Figura 11 - Imagens orbitais do cinturão de meandros de Porto Esperança	47
Figura 12 – Imagem aérea do segmento de Porto Esperança	48
Figura 13 – Visão geral do cinturão de meandros de Forte Coimbra	50
Figura 14 - Principais lineamentos estruturais coincidentes com o curso atual do rio Para	aguai
na área de estudo	51
Figura 15 – Imagem aérea do segmento de Forte Coimbra	52
Figura 16 – Visão geral do cinturão de meandros de Bahia Negra	53
Figura 17 - Visão geral da rede de drenagem nas adjacências dos segmentos de l	Porto
Esperança, Forte Coimbra, Bahia Negra e norte de Barranco Branco	55
Figura 18 – Visão geral do cinturão de meandros de Barranco Branco	56
Figura 19 – Visão geral do cinturão de meandros de Fecho dos Morros	57
Figura 20 – Papel do Fecho dos Morros no barramento da inundação do rio Paraguai	58
Figura 21 – Imagem aérea do segmento de Fecho dos Morros	59
Figura 22 – Visão geral do cinturão de meandros de Porto Murtinho	61
Figura 23 - Localização das seções transversais, levantadas em pesquisa de campo por me	io de
ADCP	67
Figura 24 – Vazão média mensal histórica (1970-2014) do rio Paraguai na área estudada	71
Figura 25 - Propagação da onda de inundação do rio Paraguai entre as estações de l	Porto
Esperança e Barranco Branco	75

Figura 26 – Onda de inundação entre a estação de Barranco Branco e Porto Murtinho	79
Figura 27 – Vazão mensal histórica nas estações de Porto da Manga e Porto Murtinho	81
Figura 28 – Vazão média mensal nas estações de Porto da Manga e Porto Murtinho nos	s anos
de 1970 e 2020	82
Figura 29 – Profundidade média do rio Paraguai ao longo do trecho estudado por segn	ientos
geomorfológicos	86
Figura 30 – Largura média do rio Paraguai ao longo do trecho estudado por segn	ientos
geomorfológicos	87
Figura 31 – Relação largura/profundidade do rio Paraguai ao longo do trecho estudad	lo por
segmentos geomorfológicos	89
Figura 32 – Padrão hídrico do rio Paraguai ao longo do trecho estudado durante o perío	odo de
cheia	92
Figura 33 – Características locais que influenciam o padrão hídrico do Rio Paraguai no pe	eríodo
de cheia	93
Figura 34 – Balanço hidrológico no rio Paraguai durante o período de cheia	95
Figura 35 – Padrão hídrico do rio Paraguai ao longo do trecho estudado durante o perío	odo de
seca	96
Figura 36 – Balanço hidrológico no rio Paraguai durante o período de seca	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites, extensão e países dos três segmentos do rio Paraguai	16
Quadro 2 – Pesquisas relevantes em relação à bacia do rio da Prata e BAP	21
Quadro 3 - Comparação de diferentes delimitações da planície pantaneira, d	e suas
subdivisões e critérios adotados	23
Quadro 4 - Parâmetros propostos por Assine e Silva (2009) para a compartime	entação
geomorfológica no rio Paraguai	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cenas orbitais empregadas para a segmentação geomorfológica	39
Tabela 2 - Parâmetros calculados para a segmentação geomorfológica do cinturão) de
meandros do rio Paraguai na área estudada	45
Tabela 3 – Série histórica das estações fluviométricas empregadas	68
Tabela 4 - Vazão mensal média histórica entre as estações fluviométricas de Pe	orto
Esperança e Barranco Branco	73
Tabela 5 – Análise da vazão média histórica nas estações hidrométricas analisada	76
Tabela 6 – Vazão mensal média histórica entre as estações fluviométricas de Barra	nco
Branco e Porto Murtinho	78
Tabela 7 – Número de Reynolds e no número de Froude calculado a partir de coleta	s in
loco para o período de cheia e de seca	84
Tabela 8 – Número de Froude, velocidade média e profundidade média nos segmen	ntos
geomorfológicos mapeados	85
Tabela 9 – Largura, profundidade e relação largura/profundidade ao longo das seç	ções
levantadas in loco	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ANA	Agência Nacional de Águas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BAP	Bacia do Alto Paraguai
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
ESRI	Environmental Systems Research Institute
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MS	Mato Grosso do Sul
MSI	Multispectral Instrument
MT	Mato Grosso
OLI	Operational Land Imager
ONU	Organização das Nações Unidas
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RCC	River Continuum Concept
SDC	Serial Discontinuity Concept
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TM	Thematic Mapper
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGS	United States Geological Survey
WFI	Wide Field Imager
WPM	Multispectral and Panchromatic Wide-Scan Camera

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 OBJETIVOS	27
2.1 Objetivo geral	27
2.2 Objetivos específicos	27
3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
4 SEGMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CINTURÃO DE MEANDROS	32
4.1 Introdução	32
4.2 Materiais e métodos	37
4.3 Resultados e discussões	43
4.3.1 Cinturão de Meandros de Porto Esperança (CmPE)	46
4.3.2 Cinturão de Meandros de Forte Coimbra (CmFC)	49
4.3.3 Cinturão de Meandros de Bahia Negra (CmBN)	53
4.3.4 Cinturão de Meandros de Barranco Branco (CmBB)	55
4.3.5 Cinturão de Meandros de Fecho dos Morros (CmFM)	57
4.3.6 Cinturão de Meandros de Porto Murtinho (CmPM)	60
4.4 Considerações finais	62
5 DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI	64
5.1 Introdução	64
5.2 Materiais e métodos	65
5.3 Resultados e discussões	70
5.3.1 Análise da vazão nas estações hidrométricas	70
5.3.2 Coletas In loco	83
5.3.3 Balanço hidrológico no interior do canal	91
5.4 Considerações finais	101
6 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bacia do rio da Prata constitui a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e a quinta maior do mundo, ocupando uma área de 3,1 milhões de km² (Silva, 2010). Espacializando-se por territórios de Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai, coexiste a partir da integração de três grandes sistemas fluviais importantes do ponto de vista social, econômico e ambiental: o rio Paraná (4.880 km), o rio Paraguai (2.621 km) e o rio Uruguai (1.838 km) (Silva, 2020).

O rio Paraguai é o segundo maior canal da bacia do rio da Prata, com a sua bacia hidrográfica perpassando territórios de Brasil (estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Bolívia, Paraguai e Argentina. Com suas nascentes localizadas no planalto dos Parecis no Estado de Mato Grosso (14°37'S e 56°29'O), o rio Paraguai pode ser dividido em três grandes compartimentos até a sua foz na confluência com o rio Paraná: bacia do alto, médio e baixo Paraguai (Brasil, 1997). A especificação dos limites, extensão do canal e países de cada um dos trechos da bacia do rio Paraguai pode ser visualizada nominalmente no Quadro 1 e espacialmente na Figura 1.

De sie Infeie Einel Enterneïe Defenel			D . 1	
Bacia	Inicio	Final	Extensao	Paises
Alto Paraguai	Nascentes no planalto dos Parecis	Confluência com o rio Apa	1.693 km	Brasil Bolívia Paraguai
Médio Paraguai	Confluência com o rio Apa	Ita-Piru (Lomas Valentinas), à jusante de Assunção	582 km	Bolívia Paraguai Argentina
Baixo Paraguai	Ita-Piru (Lomas Valentinas)	Confluência com o rio Paraná, na altura da cidade argentina de Corrientes	346 km	Bolívia Argentina Paraguai

Quadro 1 - Limites, extensão e países dos três segmentos do rio Paraguai

Fonte: (Brasil, 1997). Elaborado pelo autor. ¹ Países organizados conforme o sentido de fluxo da bacia do rio Paraguai. Em negrito países com a maior área em cada trecho da bacia.

Na bacia do Alto Paraguai (BAP), o rio Paraguai percorre cerca de 1.693 km com padrões fluviais diferenciados e complexos, constituindo o canal tronco do intrincado sistema de drenagem do Pantanal, a maior planície alagável do mundo. A BAP possui 600 mil km², dos quais pouco mais de 362 mil km² (60,34% do total) situam-se entre os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Centro-Oeste do Brasil), 121,5 mil km² em território boliviano (20,23%) e pouco mais de 116,5 mil km² no Paraguai (19,43%).



Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Paraguai no contexto da Bacia do Rio da Prata.

Fonte: SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*, resolução espacial de 90 m; ANA - Agência Nacional de Águas, bacias hidrográficas Ottocodificadas, nível 2; IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base Cartográfica Contínua do Brasil, escala de 1:250.000; Silva (2020), delimitação da bacia hidrográfica do rio Paraguai, Paraná e Uruguai; Padovani (2010), delimitação da planície do Pantanal.

A maior parte dos canais fluviais da BAP localizam-se na margem esquerda do rio Paraguai, drenando predominantemente terras brasileiras. Dentre estes, destacam-se o rio Cuiabá, São Lourenço, Itiquira, Taquari, Aquidauana, Miranda e Apa (Figura 2). Esses canais têm suas nascentes localizadas nas terras altas desta bacia, possuindo características típicas de rios de planalto, tais como: padrão de canal único (geralmente meandrante de pouca sinuosidade), vale definido e estável, interflúvios bem demarcados, elevada declividade, acentuada energia para realização de processos fluviais (erosão, transporte e deposição) e cisalhamento de talvegue, bem como padrão de drenagem predominantemente tributário. Já na margem direita do rio Paraguai destacam-se os rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, pelo lado brasileiro e os rios Negro e Tucavaca pelo lado boliviano, além de outras drenagens esparsas e não acanaladas provenientes do território Boliviano e Paraguaio.



Figura 2 – Principais rios da bacia do Alto Paraguai.

Fonte: Localização das capitais estaduais, municípios principais, limites estaduais e internacionais provenientes de IBGE (2023); rede de drenagem e delimitação da BAP proveniente de Silva (2020); delimitação do Pantanal de Padovani (2010); base cartográfica proveniente da base de dados do *OpenStreetMap*.

A despeito das características registradas nos planaltos, no Pantanal os sistemas fluviais alteram-se grandemente, invertendo a lógica de um sistema fluvial de captação em planalto para um sistema complexo e muitas vezes distributário em planície. Assim, àqueles rios originados nas terras altas passam a apresentar baixa declividade com vales mal definidos e muitas vezes instáveis, perdendo confinamento e energia para a realização de processos fluviais, estabelecendo um ambiente elementarmente sedimentar, muitas vezes de topografia convexa e algumas vezes desenvolvendo sistemas de leques aluviais, como os dos rios Cuiabá, Paraguai, São Lourenço e Taquari (Assine *et al.*, 2015b).

Estes sistemas fluviais constituem um dos principais elementos de um complexo trato de sistemas deposicionais, responsáveis pelo preenchimento da bacia sedimentar do Pantanal (Macedo, 2014). Nesta bacia, coexistem sistemas de leques e megaleques aluviais, planícies interleques, planícies indiferenciadas e um sistema tronco que, representado pelo rio Paraguai e sua planície aluvial, localiza-se no nível topográfico mais baixo da bacia, composto por padrões morfológicos bastante distintos, responsáveis pela coleta de águas e sedimentos que adentram o sistema pantaneiro (Assine; Soares, 2004).

Entretanto, a despeito da importância de tais sistemas para a manutenção da biodiversidade pantaneira, bem como ao delicado equilíbrio fluvial do rio Paraguai e de seus tributários (alvos de inúmeros interesses e intervenções antrópicas), sua dinâmica hidrossedimentológica, relações canal-planície e demais aspectos fluviais ainda são poucos conhecidos, assim como sua relevância em âmbito social, econômico e ambiental.

Dessa forma, do ponto de vista social, o rio Paraguai constitui importante campo de reprodução da vida ribeirinha, uma ampla população tradicional distribuída em diversas comunidades ao longo do canal (Fonseca, 2017). Essa população, definida por Almeida e Da Silva (2012) como povos das águas, possui irrestrita relação com o rio Paraguai e seus tributários, apropriando-se de suas margens para habitações, suas águas para atividades domésticas e sua ictiofauna para alimentação e comercialização. No entanto, a despeito de sua relação histórica aos processos de inundação, registram sucessivos impactos negativos relacionados à imprevisibilidade das cheias e das secas, aos processos formativos dos canais fluviais (dos quais a erosão e deposição tem grande importância) e sobretudo à ausência de políticas públicas adequadas e continuadas, tornando-se assim uma população altamente vulnerável.

Por outro lado, do ponto de vista econômico, o rio Paraguai apresenta relevância ímpar. Desde as grandes caravelas oceânicas espanholas ao longo do século XVI (Costa, 1999), até o presente, o rio Paraguai constitui importante via navegável entre o estuário da Prata (Oceano Atlântico) e o interior do continente sul-americano, sendo inclusive palco para conflitos militares devido à sua proeminência como rio transnacional (Lima, 2016). Modernamente, por meio do sistema hidroviário Paraguai-Paraná, o rio Paraguai contribui para a integração de Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, permitindo a navegação até o município matogrossense de Cáceres. Assim, é denotada a sua importância para o escoamento de parte da importante produção agrícola e mineral dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e, principalmente, do Paraguai e da Bolívia que possuem no rio Paraguai a única maneira parcialmente autônoma para a exportação de sua produção por meio da ligação dos seus portos fluviais aos portos oceânicos no estuário da Prata.

A esse respeito, conforme o anuário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2020) para o período de 2010 a 2019, ao longo do trecho do rio Paraguai no Pantanal brasileiro, localizavam-se cinco instalações portuárias, todas estas distribuídas entre os municípios de Corumbá, Ladário e Porto Murtinho, no estado de Mato Grosso do Sul. No período analisado, a maior movimentação de cargas ocorreu no porto denominado Gregório Curvo (localizado no distrito de Porto Esperança, município de Corumbá), responsável pela

movimentação de 24,6 milhões de toneladas de cargas, seguido pelo porto Granel Química (Ladário), com quase 18 milhões e pelo porto Sobramil, também localizado em Corumbá e responsável pela movimentação de 3,7 milhões de toneladas.

Em termos de tipos de cargas transportadas, há o amplo predomínio de minérios, escórias e cinzas, respondendo por mais de 45,5 milhões de toneladas (de 96% do total), o que aponta a importância do rio Paraguai como via de escoamento da produção mineral dos municípios de Corumbá e Ladário, o que foi ressaltado sobremaneira durante o período de estiagem severa no ano de 2020. Dessa maneira, uma visão geral da tonelagem de cargas embarcadas nas citadas instalações portuárias pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 – Produtos movimentados pelas instalações portuárias localizadas no rio Paraguai entre Corumbá e Porto Murtinho (MS).



Fonte: ANTAQ (2020). Organizado pelo autor.

Como derivação de sua importância para a navegação fluvial, o rio Paraguai geralmente é associado a projetos direcionados à melhoria da navegação, tais como dragagem, retificação de meandros sinuosos, construções de portos e demais infraestruturas direcionadas ao transporte fluvial. Estes projetos, geralmente pensados de forma isolada e pontual, tendem a desconsiderar o contexto fluvial, não só do próprio rio Paraguai e sua planície aluvial, como dos demais tributários que possuem papel relevante no balanço hidrossedimentológico do Pantanal. Assim, qualquer intervenção para otimização da navegação fluvial deve ter como base o entendimento do sistema como um todo, evitando impactos ambientais negativos e a ineficiência das intervenções realizadas, visto a imprevisibilidade dos processos de inundação registrados no Pantanal.

Do ponto de vista ambiental, o entendimento da importância e do papel do rio Paraguai carece de maior compreensão. Dentre algumas pesquisas relevantes podem se destacar aquelas relacionadas à contextualização da bacia do rio da Prata, à projetos de implantação e melhoria da navegabilidade na hidrovia Paraguai-Paraná e a trabalhos acadêmicos, nomeadamente dissertações e teses. Assim, como exemplos, podem ser citadas, dentre outras, as publicações de Tucci e Clarke (1998), Tucci (2001), Silva (2010), Kuerten (2010), Macedo (2017). Uma perspectiva geral dos objetivos de tais pesquisas podem ser visualizada no Quadro 2.

Autores/ano	Título	Tema abordado	
Brasil. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. (Brasil, 1974)	Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai	Levantamento e análise de dados hidrossedimentológicos do rio Paraguai e seus tributário na BAP	
Tucci e Clarke (1998)	Environmental Issues in the la Plata Basin	Gestão da água e as questões ambientais	
Tucci (2001)	Some scientific challenges in the development of South America's water resources	Desafios e temas relevantes para a compreensão e gerenciamento de recursos hídricos	
Berbery e Barros (2002)	The Hydrologic Cycle of the La Plata Basin in South America	Análise do ciclo hidrológico da bacia do Prata	
Assine (2003)	Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro- Oeste do Brasil	Análise da dinâmica sedimentar da bacia do Pantanal, destacando o complexo trato de sistemas deposicionais da região.	
Assine e Soares (2004)	Quaternary of the Pantanal, west- central Brazil	Caracterização das condições atuais e reliqueares da bacia do Pantanal enquanto expressões de sucessivos climas do Pleistoceno e Holoceno.	
Silva (2010)	Geomorfologia do Megaleque do Rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro- Oeste do Brasil	Caracterização da geomorfologia, das mudanças paleoambientais e da dinâmica hidrossedimentológica atual do rio Paraguai, na região norte do Pantanal.	
Kuerten (2010)	Evolução Geomorfológica e Mudanças Ambientais no Megaleque do Nabileque, Quaternário do Pantanal Mato- GrossenseCaracterização da geom das mudanças paleoam paleohidrológicas no me paleohidrológicas no me Pantanal.		

Quadro 2 – Pesquisas relevantes em relação à bacia do rio da Prata e BAP.

Autores/ano	Título	Tema abordado	
Macedo (2017)	Evolução Geomorfológica e Dinâmica Hidrossedimentar da Planície Fluvial Paraguai Corumbá, Quaternário do Pantanal	Caracterização da geomorfologia e da geocronologia da planície Paraguai-Corumbá, bem como análise da dinâmica hidrossedimentológica e morfodinâmica do rio Paraguai.	
ANA (2018) Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai		Diagnóstico das condições atuais da denominada região hidrográfica do Paraguai, definição de um Cenário Futuros e de plano de ações para concretização de tal cenário	

Quadro 2 - Continuação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à compreensão das características hidrogeomorfológicas do rio Paraguai ao longo da BAP, tais como sua dinâmica hidrossedimentológica, processos formativos e relação canal-planície, também se registra uma lacuna, tanto em termos espaciais como em escala de análise. Dentre os trabalhos mais relevantes, pode-se citar: Assine e Silva (2009) e Silva (2006; 2010) que analisam a dinâmica geomorfológica e hidrossedimentológica do rio Paraguai na região noroeste do Pantanal (proximidades da região de Cáceres-MT); Kuerten (2010) e Kurten e Assine (2011) que estudaram a evolução hidrogeomorfológica e as mudanças ambientais no Megaleque do Nabileque; Macedo (2013; 2017), que investigaram as características hidrogeomorfológicas do rio Paraguai e a denominada planície Paraguai-Corumbá; Assine et al. (2015a; 2015b) que realizaram amplos estudos em relação ao trato de sistemas deposicionais quaternários da bacia do Pantanal e, mais recentemente, Stevaux *et al.* (2020) que categorizaram e analisaram as planícies aluviais do rio Paraguai conforme suas características hidrogeomorfológicas e o próprio padrão hidrossedimentológico do canal.

Por outro lado, a variabilidade nos padrões de inundação do Pantanal ao longo do ano hidrológico tem motivado diversos estudos focados na análise da dinâmica espacial e temporal das cheias. Esses estudos buscam compreender a compartimentação da planície em segmentos distintos, considerando fatores como o período de inundação, relevo, topografia, solos e vegetação, além de outras características hidrogeomorfológicas e ambientais locais. Esta compartimentação em segmentos permite uma abordagem mais precisa para avaliar os impactos das cheias na biodiversidade e nas comunidades locais, além de fornecer subsídios para políticas de manejo sustentável e conservação.

Dentre os trabalhos mais significativos, destacam-se as pesquisas de Hamilton, Sippel e Melack (1996), Silva e Abdon (1998), Padovani (2010) e Mioto, Paranhos Filho e Albrez (2012). Esses estudos oferecem uma visão detalhada sobre a subdivisão da planície pantaneira, contribuindo para o entendimento de como as características físicas e ecológicas influenciam os padrões de inundação. Com base no Quadro 3, pode-se observar uma comparação detalhada das diferentes delimitações da planície pantaneira, evidenciando a variedade de critérios e abordagens utilizadas para sua subdivisão.

Autores	Título do Estudo	Área total da Planície	Sub- regiões	Critérios
Hamilton; Sippel, Melack (1996)	Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing.	137.000 km²	10	Hidrologia e geomorfologia
Silva e Abdon (1998)	Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub- regiões	138.183 km²	11	Hidrologia, relevo, solos e vegetação
Padovani (2010)	Dinâmica Espaço-Temporal das Inundações do Pantanal	150.500 km²	25	Hidrologia e geomorfologia
Mioto; Paranhos Filho, Albrez (2012)	Contribuição à Caracterização das Sub- regiões do Pantanal	140.640 km²	18	Hidrologia e Fotointerpretação

Quadro 3 – Comparação de diferentes delimitações da planície pantaneira, de suas subdivisões e critérios adotados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a delimitação proposta por Padovani (2010), a área estudada nesta pesquisa abrange diretamente três sub-regiões distintas dentro da planície pantaneira (Paraguai, Nabileque e Porto Murtinho), com outras cinco apresentando influencia indireta (Taquari, Baixa Nhecolândia, Baixo Rio Negro, Miranda e Bodoquena). Essas sub-regiões apresentam características hidrogeomorfológicas e ambientais únicas, refletindo a diversidade dos processos naturais que atuam no Pantanal.

Ao norte da área estudada, situam-se as sub-regiões do Paraguai, Taquari e Baixa Nhecolândia, que apresentam características hidrogeomorfológicas distintas e desempenham papéis importantes na dinâmica de inundação da planície. A região do Paraguai atua como uma grande vazante durante as cheias, drenando águas das regiões norte e leste, especialmente dos pantanais do Paiaguás e Taquari, e transferindo-as para a sub-região do Nabileque (Figura 4).



Figura 4 – Sub-regiões do Pantanal localizadas na área de estudo, conforme Padovani (2010).

Fonte: Mosaico de cenas CBERS-4, sensor WFI; delimitação e divisão da planície pantaneira de Padovani (2010); setas em azul indicam o sentido de fluxo das águas superficiais. Itens numerados em algarismos romanos indicam as estações hidrométricas localizadas na área, nomeadamente: Porto da Manga (I); Porto Esperança (II); Forte Coimbra (III); Bahia Negra (IV); Barranco Branco (V); Porto Murtinho (VI).

Na parte leste da área de estudo, encontram-se as sub-regiões do baixo rio Negro, Miranda e Bodoquena, enquanto ao sul, encontram-se as sub-regiões do Nabileque e Porto Murtinho, que são as últimas a receberem os fluxos de inundação na planície. A região do Nabileque é dividida em duas partes, localizadas às margens esquerda e direita do rio Paraguai, e ambas são periodicamente inundadas, sendo fortemente abastecidas pelas águas provenientes do Miranda, Bodoquena e Paraguai, além de fluxos oriundos do oeste, especialmente dos megaleques dos rios Tucavaca e Pilcomayo, conforme Kuerten e Assine (2011). Por fim, a região de Porto Murtinho, é caracterizada por inundações frequentes em áreas próximas ao rio Paraguai, especialmente em seu cinturão compacto de meandros modernos, devido ao confinamento topográfico e à limitada extensão lateral dessa sub-região.

Neste contexto, essas pesquisas, conforme Macedo (2017) e Silva (2020), decorrem de uma nova perspectiva dos estudos ambientais no Pantanal oportunizadas pelo Geoprocessamento e pelo desenvolvimento de técnicas relacionadas à ciência da Geoinformação (Câmara; Davis, 2003). Neste cenário, a análise de produtos proveniente de Sensoriamento Remoto apresenta relevância crescente, tanto por permitir análises mais complexas e menos custosas (especialmente em regiões de difícil acesso), quanto por permitir estudos de âmbito multitemporal e projeção de cenários futuros. Assim, não é exagero afirmar que tal perspectiva contribui para a ampliação do leque de estudos ambientais, tanto espacialmente como temporalmente, permitindo uma melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos decorrentes no Pantanal e no próprio rio Paraguai.

Contudo, esses estudos, em linhas gerais, procuraram compreender a dinâmica fluvial do canal tendo em vista áreas específicas, compartimentando-as em trechos que apresentam similaridades, alicerçadas em uma visão "plana" e "vertical" do sistema. Dessa forma, este delineamento dos trechos que compõem a planície do rio Paraguai pode ser definido como um mapeamento de ordem morfológica e hidrológica, aqui denominada hidrogeomorfologia (Magalhães Júnior; Barros, 2020). Dessa forma, estes estudos baseiam-se em uma visão "plana" e "vertical" sobre o sistema fluvial, isto é, uma visão "do alto para baixo", identificando e analisando as formas impressas na paisagem a partir de dados obtidos por meio do Sensoriamento Remoto.

A compreensão da relação entre compartimentação da planície e segmentação do rio Paraguai, à luz de parâmetros hidrogeomorfológicos, é fundamental para decifrar os processos que regem a dinâmica hidrossedimentológica e hidráulica da região. Essa análise permite identificar padrões de comportamento do canal em resposta às características geomorfológicas e aos fluxos de água e sedimentos, possibilitando uma abordagem integrada que considera a interação entre os diferentes trechos mapeados. Assim, ao investigar a congruência entre os processos hidráulicos observados e os padrões esperados, este estudo busca contribuir não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para o desenvolvimento de estratégias de conservação e manejo sustentável dessa paisagem única.

Desta maneira, o presente trabalho analisa o rio Paraguai, no trecho compreendido de 465 km entre Porto da Manga e Porto Murtinho (MS), no Pantanal sul-mato-grossense. O trecho foi escolhido devido à lacuna de informações científicas sobre a área, à disponibilidade de dados obtidos in loco anteriormente e como continuidade a pesquisas hidrogeomorfológicas no rio Paraguai e em sua planície aluvial. Esta pesquisa foi estruturada em dois capítulos, com o primeiro focado à análise da compartimentação do cinturão de meandros do rio Paraguai e o segundo focado à análise da hidrologia do canal no trecho analisado, comparando os padrões hidrológicos identificados com a compartimentação do cinturão de meandros.

Além disso, é importante destacar que este estudo se insere, ainda que parcialmente, no contexto das novas abordagens metodológicas em estudos ambientais no Pantanal, com o uso

intensivo de ferramentas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Essas tecnologias não apenas permitem uma análise mais detalhada e integrada, mas também se mostram essenciais diante das crescentes pressões antrópicas que ameaçam a Bacia do Alto Paraguai (BAP) e o Pantanal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esta tese teve como objetivo geral analisar a dinâmica hidrológica do canal e a geomorfologia da planície aluvial do rio Paraguai no trecho compreendido entre Porto da Manga e Porto Murtinho, um segmento de 465 km de extensão, integralmente inserido na bacia sedimentar do Pantanal, no estado de Mato Grosso do Sul.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar e delimitar os segmentos geomorfológicos do cinturão de meandros moderno do rio Paraguai, tendo em vista parâmetros hidrogeomorfológicos;
- II. Caracterizar os aspectos hidrológicos e morfológicos (vazão, cota, sinuosidade etc.) do rio Paraguai no interior dos segmentos geomorfológicos;
- III. Estabelecer relações entre a dinâmica hidrológica de cada segmento geomorfológico do cinturão de meandros com as características morfológicas e hidrológicas do canal;
- IV. Avaliar a contribuição de tributários (entradas de águas e sedimentos) em cada compartimento do sistema e o balanço hidrológico no trecho analisado.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho localiza-se no entorno do rio Paraguai, desde as proximidades da localidade conhecida como Porto da Manga, no município de Corumbá-MS (19°15'30"S; 57°14'6,08"O), até as proximidades da área urbana do município de Porto Murtinho (21°41'54"S; 57°53'28"O). Esta ampla área localiza-se no interior da bacia sedimentar do Pantanal (Figura 5), em sua porção mais baixa, recebendo águas e sedimentos de todas as áreas adjacentes, a qual é responsável em grande parte por sua dinâmica hidrológica.

O Pantanal constitui a expressão morfológica de uma bacia sedimentar tectonicamente ativa, compartilhada entre Brasil, Bolívia e Paraguai, com uma área estimada em 150 mil km² (Padovani, 2010), localizada integralmente no interior da Bacia do Alto Paraguai (BAP). Segundo Ab'Sáber (2011), trata-se de uma paisagem de exceção, que preserva características reliquiares, resultantes de processos geomorfológicos e climáticos que remontam a períodos geológicos pretéritos. A formação dessa bacia sedimentar está possivelmente associada à orogênese Andina, evento tectônico que exerceu forte influência na configuração do relevo e na sedimentação da região (Ussami; Shiraiwa; Dominguez, 1999).

Esse processo resultou em uma vasta depressão, a Depressão do Alto Paraguai, que se encontra recoberta por uma espessa camada de sedimentos, cuja espessura pode alcançar até 500 metros, segundo estudos de Assine e Soares (2004) e Assine et al. (2015b). A presença dessa bacia sedimentar, juntamente com a contínua atividade tectônica, tem implicações significativas para a dinâmica fluvial e para a geomorfologia da região, que é marcada por uma complexa rede de canais, planícies de inundação, e ambientes lacustres e palustres.

Enquanto uma das maiores áreas úmidas do planeta (Por, 1995; Fraser; Keddy, 2005; Junk *et al.*, 2006), o Pantanal ocupa uma posição de destaque no cenário global, tanto pela sua biodiversidade quanto por sua relevância ecológica. Desde o ano 2000, foi reconhecido como Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO/ONU), em virtude de suas características singulares e dinâmicas ambientais complexas. Essas particularidades, no entanto, tornam a região especialmente vulnerável a alterações induzidas por atividades humanas, como a expansão agrícola, a intensificação da pecuária, a construção de barragens e empreendimentos hidrelétricos, além do crescimento urbano desordenado. Esses fatores evidenciam a urgente necessidade de implementação e fortalecimento de políticas públicas voltadas à conservação e ao manejo sustentável da região.



Figura 5 – Área estudada da presente pesquisa, localizada na porção sul do Pantanal.

Fonte: Mosaico de cenas CBERS-4, sensor WFI. Limite do Pantanal decorre de Padovani (2010). Itens numerados em algarismos romanos indicam as estações hidrométricas localizadas na área, nomeadamente: Porto da Manga (I); Porto Esperança (II); Forte Coimbra (III); Bahia Negra (IV); Barranco Branco (V); Porto Murtinho (VI).

O Pantanal possui um clima tropical úmido, com temperatura média do ar de 24°C, apesar de registrar extremos térmicos que podem variar entre -1°C e 41°C (Marengo; Oliveira; Alves, 2015). A precipitação apresenta variabilidade interanual, resultando em inundações severas ou períodos secos intensos, que afetam diretamente o regime de cheias. A precipitação também apresenta variação espacial, com maior pluviosidade na região norte-nordeste (1.350 mm), e menor pluviosidade nas regiões sul-sudoeste (710 mm) e na região central (700 mm) (Stevaux *et al.*, 2020).

O entorno do Pantanal, aqui denominado áreas adjacentes, é constituído por formações geológicas que sustentam a bacia de captação da Bacia do Alto Paraguai (BAP), conforme descrito por Ussami, Shiraiwa e Dominguez (1999). Essas áreas são compostas, em sua maior parte, por terrenos pré-cambrianos, paleozóicos e mesozóicos, com predomínio de formações sedimentares, como arenitos e calcários, ao leste e sudeste. Na porção oeste, destacam-se maciços pré-cambrianos que constituem as serras do Urucum, Amolar e Província Serrana, importantes referências geomorfológicas e estruturais da região (IBGE, 2018). Essas formações geológicas não apenas moldam o relevo, mas também desempenham papel crucial na dinâmica hidrológica da BAP, servindo como áreas de recarga hídrica e de mobilização de sedimentos.

Estas áreas adjacentes caracterizam-se por altitudes mais elevadas em relação ao Pantanal, o que favorece o desenvolvimento das cabeceiras dos principais rios da bacia. Nessas regiões de planalto, a drenagem é essencialmente tributária, com rios que apresentam alto gradiente topográfico e elevada energia (Assine *et al.*, 2005). O leito rochoso desses cursos d'água, aliado ao cisalhamento dos talvegues, resulta em processos erosivos intensos que escavam vales profundos e transportam grandes volumes de sedimentos a jusante (Assine *et al.*, 2015b). Esses sedimentos mobilizados tornam-se insumos essenciais para a dinâmica deposicional do Pantanal, estabelecendo uma relação de interdependência entre as áreas de cabeceira e a planície aluvial.

Ao adentrarem a planície pantaneira, os rios experimentam uma brusca redução do gradiente topográfico, o que altera significativamente a dinâmica fluvial. Esse decréscimo na declividade resulta na perda de energia do fluxo e, consequentemente, na redução da capacidade de transporte sedimentar. Como resultado, desenvolve-se um amplo trado de sistemas deposicionais (Zani *et al.*, 2009). Esse processo deposicional, por sua vez, promove a sedimentação em áreas extensas, gerando mudanças nos padrões de canais por meio de avulsões, fenômeno em que o curso principal de um rio é desviado para um novo canal devido ao acúmulo de sedimentos no leito original (Assine *et al.*, 2015a).

Ao longo da planície, verifica-se o predomínio de depósitos sedimentares de diferentes períodos geológicos, com destaque para os sedimentos Neógenos e Pleistocênicos, além dos aluviões Holocênicos associados à deposição contemporânea. Esses depósitos refletem a complexidade do sistema sedimentar do Pantanal, que inclui a formação de leques aluviais modernos, como os dos rios Paraguai, Cuiabá e Taquari (IBGE, 2018). Tais sistemas de deposição desempenham papel crucial na manutenção da biodiversidade e no funcionamento dos ecossistemas locais, fornecendo nutrientes e modelando habitats aquáticos e terrestres.

Neste sentido, conforme Alho, Lacher, Gonçalves (1988), a topografia do Pantanal manifesta-se de maneira praticamente contínua, caracterizando-se por um gradiente topográfico baixo. Esse gradiente varia apenas 2 a 3 cm/km na direção norte-sul e 5 a 25 cm/km na direção leste-oeste, resultando em uma marcante diferenciação entre os períodos de cheia nas diferentes regiões da planície pantaneira. Segundo Alvarenga *et al.* (1984), essa variação temporal pode alcançar um intervalo médio de três a quatro meses entre as áreas próximas aos planaltos e as regiões mais baixas situadas no interior da bacia. Assim, enquanto no norte do Pantanal o pulso de inundação está sincronizado com o período chuvoso, ao sul o mesmo fenômeno ocorre com um atraso de até três meses após o término da estação das chuvas (Junk *et al.*, 2006). Esse descompasso é evidenciado variação na vazão média do rio Paraguai entre as estações de Cáceres-MT (norte), Porto da Manga-MS (centro) e Porto Murtinho-MS, ao sul (Figura 6).



Figura 6 - Vazão média do rio Paraguai, entre as estações hidrométricas de Cáceres, Porto da Manga e Porto Murtinho.

Fonte: Séries históricas, Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA, 2024). Descarga média calculada de acordo com o intervalo de dados de janeiro de 1970 a dezembro de 2023.

4 SEGMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CINTURÃO DE MEANDROS

4.1 INTRODUÇÃO

Apesar da reconhecida importância social, ambiental e econômica do Pantanal, o entendimento dos processos fluviais, dos pulsos de inundação e das interações entre o canal e a planície permanece incompleto. Essa lacuna de conhecimento é amplificada pela complexidade intrínseca da região, caracterizada por uma vasta rede de ambientes dinâmicos e heterogêneos, além das severas dificuldades de acesso a áreas remotas e de difícil deslocamento. Essas limitações logísticas restringem a realização de estudos de campo em escala adequada e dificultam a compreensão detalhada dos processos de inundação e da conectividade entre a biota e o ambiente (Stevaux; Corradini; Aquino, 2013), comprometendo a formulação de estratégias efetivas para a conservação e manejo sustentável.

Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto surge como uma ferramenta indispensável para superar as limitações impostas pelas dificuldades de acesso e pela vasta extensão do Pantanal. Por meio de imagens de satélite e dados aerotransportados, é possível monitorar grandes áreas de forma eficiente e contínua (Menezes; Almeida, 2012), permitindo a análise detalhada dos processos fluviais, dos pulsos de inundação e das interações canal-planície. Essa tecnologia facilita a identificação de áreas inundadas, a delimitação de sub-regiões hidrogeomorfológicas e o acompanhamento das mudanças sazonais e interanuais no regime hidrológico (Carvalho Junior, 2018).

A este respeito, considerando as complexidades mencionadas, Assine e Silva (2009) sistematizaram a compartimentação geomorfológica como um instrumento crucial para compreender os intrincados e dinâmicos processos fluviais do rio Paraguai. Essa abordagem baseia-se na sistematização de um conjunto de critérios que envolvem o padrão hidrológico e as características hidrogeomorfológicas dos canais e das planícies aluviais, conforme sintetizado no Quadro 4. A proposta destaca a importância de integrar diferentes variáveis ambientais para segmentar a planície em unidades mais homogêneas e compreensíveis do ponto de vista geomorfológico e hidrológico, bem como com informações obtidas em campo, permitindo uma análise mais detalhada e confiável. Dessa forma, a compartimentação geomorfológica se torna uma ferramenta indispensável para entender as relações canal-planície e aprimorar as estratégias de manejo e conservação.

geomotrologica no no r araguai.			
Critérios	Parâmetros/característica	Área	
Padrão de drenagem	Tributário ou distributário	Bacia	
Padrões de canal	Meandrante ou multicanal	Canal	
Morfologias adjacentes	Meandros abandonados, lagoas, diques marginais, paleocanais, barras sedimentares, entre outros	Planície	
Parâmetros morfométricos	Largura, sinuosidade, declividade,	Canal	
Orientação Geográfica	_	Canal e planície	
Confinamento dos vales aluviais	_	-	

Quadro 4 – Parâmetros propostos por Assine e Silva (2009) para a compartimentação geomorfológica no rio Paraguai.

Organização: Elaborado pelo autor.

Assim, como resultado da proposta de sistematização da compartimentação geomorfológica, diversas pesquisas foram desenvolvidas, utilizando essa abordagem como ferramenta para análises ambientais no Pantanal, tanto em termos espaciais quanto temporais. Entre os estudos que se destacam pela relevância e contribuições, está o de Assine (2003), que, ao examinar os sistemas deposicionais do Pantanal, identificou duas formas geomorfológicas principais: leques aluviais e planícies fluviais. Neste trabalho, o autor enfatizou que o rio Paraguai atravessa três compartimentos geomorfológicos distintos: o leque do rio Paraguai, a planície Paraguai-Paiaguás e o leque Jacadigo-Nabileque, evidenciando a complexidade deposicional e a diversidade morfológica da planície.

Outro estudo de destaque é a própria pesquisa de Assine e Silva (2009), que, ao investigar a geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, realizou um mapeamento mais detalhado em escala média. Nesse trabalho, foram identificadas sete feições geomorfológicas distintas, refletindo a diversidade de formas associadas aos processos sedimentares e fluviais da região. Essas contribuições ressaltam a importância da compartimentação geomorfológica como ferramenta essencial para compreender os padrões deposicionais, as dinâmicas fluviais e as interações entre as diferentes sub-regiões do Pantanal, oferecendo subsídios fundamentais para o manejo sustentável e a conservação desse ecossistema único.

Na primeira metade da década de 2010, destacaram-se os estudos de Macedo (2013, 2017) e Assine et al. (2015a, b), que avançaram na compreensão da geomorfologia e dinâmica hidrossedimentológica do Pantanal. Macedo (2013), seguido por Macedo (2017), realizou o mapeamento e análise das feições geomorfológicas da planície Paraguai-Corumbá, nas

proximidades do município de Corumbá. Os resultados evidenciaram mudanças no padrão de canal ao longo da transição entre o Pleistoceno e o Holoceno. Além disso, foi identificada a presença de uma ampla bacia de inundação em sua porção central, que desempenha um papel crucial na interação com a dinâmica hidrossedimentológica do rio Paraguai nesse trecho.

Em continuidade aos avanços no estudo da geomorfologia do Pantanal, Assine et al. (2015a), corroborado por Assine et al. (2015b), propuseram uma nova e abrangente compartimentação da planície pantaneira. Esse trabalho sistematizou a geomorfologia, o regime hidrológico e a dinâmica sedimentar dos sistemas fluviais do Pantanal, estabelecendo uma conexão direta com a geologia e geomorfologia das áreas de origem. Nestes trabalhos, foram delimitados novos compartimentos geomorfológicos, com destaque para as planícies Paraguai-Corumbá e Paraguai-Nabileque, que são as únicas compreendidas na área de estudo desta pesquisa. Adicionalmente, o estudo categorizou outras importantes feições geomorfológicas, como os leques fluviais degradacionais do rio Miranda e do Nabileque, bem como a planície interleques do rio Negro, todas localizadas no entorno da área de estudo.

Com maior nível de detalhamento, Kuerten (2010) analisou as características ambientais do megaleque do Nabileque, na porção sul do Pantanal, aplicando critérios de compartimentação geomorfológica para categorizar a geomorfologia da região. Nesse contexto, o autor identificou diversas feições geomorfológicas, entre as quais se destacam: um cinturão de meandros atual relativamente estreito, onde se localiza o rio Paraguai; um cinturão de meandros abandonado, que abriga o curso atual do rio Nabileque; e uma ampla e descontínua planície aluvial degradada, que ainda preserva feições reliquiares de paleolobos distributários (Figura 7).

Entre as feições descritas, o cinturão de meandros atual é a mais relevante para o presente estudo, pois a segmentação geomorfológica aqui proposta foi desenvolvida com base nos limites dessa unidade. Kuerten e Assine (2011) corroboram que o cinturão de meandros atual é confinado pelo megaleque do Nabileque e apresenta dois segmentos distintos: o primeiro, ao norte, orientado a sudoeste (SW), possui menor largura, baixa sinuosidade e padrão predominantemente erosivo; o segundo, ao sul, orientado a sudeste (SE), exibe maior sinuosidade e largura tanto do canal quanto do cinturão.

Stevaux *et al.* (2020) sistematizaram os estudos anteriores e propuseram uma nova compartimentação geomorfológica do Pantanal, identificando oito compartimentos distintos ao longo da planície aluvial do rio Paraguai. Três desses compartimentos situam-se na área de estudo deste trabalho: o cinturão de meandros de Urucum, o cinturão de meandros incisos do Nabileque e o cinturão de meandros de Porto Murtinho. O cinturão de meandros de Urucum

encontra-se confinado entre as montanhas do Urucum (formadas por rochas metamórficas do Pré-Cambriano) e o leque fluvial do rio Miranda, criando um "gargalo" hidráulico que resulta no represamento das águas a montante (Assine *et al.*, 2015b).



Figura 7 - Compartimentação geomorfológica da porção sul do Pantanal.

Fonte: Kuerten (2010). Dentre os compartimentos geomorfológicos identificados na área estudada, destaca-se o cinturão de meandros atual, denominado neste mapa como "planície do rio Paraguai" (em amarelo). O mapeamento deste cinturão de meandros atual será considerado como base para a segmentação geomorfológica. Destaque também para a planície aluvial degradacional, em verde, e os compartimentos P-1 e P-2.
O cinturão de meandros incisos do Nabileque abrange tanto os meandros atuais do rio Paraguai quanto o paleocinturão de meandros do Nabileque, que foi parcialmente abandonado há cerca de 4.000 anos devido a um evento de avulsão (Kuerten *et al.*, 2013). Por fim, Stevaux *et al.* (2020) diferenciam pela primeira vez o cinturão de meandros de Porto Murtinho, caracterizando-o como um trecho estreito, sob controle litoestrutural, que forma uma planície retilínea orientada ao sul, marcando o fim da planície pantaneira.

Os estudos citados, tanto em termos espaciais quanto temporais, ampliam significativamente a compreensão da geomorfologia da planície pantaneira, contribuindo especialmente para o entendimento dos processos hidrogeomorfológicos da planície fluvial do rio Paraguai. Assim, o presente capítulo objetiva identificar e delimitar os segmentos geomorfológicos do cinturão de meandros moderno do rio Paraguai, tendo em vista parâmetros hidrogeomorfológicos. Para isso, foi realizada uma integração dos mapeamentos propostos por Kuerten (2010), Padovani (2010) e Stevaux *et al.* (2020), com foco exclusivo na segmentação, em grande escala, dos diferentes trechos do cinturão de meandros atuais do rio Paraguai, parcialmente mapeado por Kuerten (2010). Enquanto a área de entorno do cinturão de meandros considera os compartimentos propostos por Stevaux *et al.* (2020), os limites da planície pantaneira e a dinâmica de fluxos de inundação seguiram os critérios estabelecidos por Padovani (2010).

Neste ponto, é importante definir o que se entende por compartimentação e segmentação geomorfológica. A compartimentação geomorfológica refere-se à subdivisão do ambiente em unidades relativamente homogêneas, considerando critérios mais amplos (Trentim; Santos; Robaina, 2012), como características geomorfológicas predominantes, padrões hidrológicos e contextos geológicos regionais, como empregado por Assine e Silva (2009). Essa abordagem busca identificar grandes compartimentos que compartilhem dinâmicas semelhantes, como planícies fluviais, leques aluviais e planícies interleques, geralmente em escalas médias a pequenas, proporcionando uma visão integrada das dinâmicas fluviais, sedimentares e tectônicas.

Por outro lado, a segmentação geomorfológica aqui proposta, propõe uma análise mais detalhada dentro de um mesmo compartimento, analisando trechos específicos com base em variações locais de relevo, dinâmica sedimentar e hidrológica. Essa abordagem é essencial para identificar e mapear feições geomorfológicas menores, que requerem escalas maiores e instrumentos de análise mais precisos. Ambos os métodos compartilham a análise do relevo em diferentes níveis taxonômicos, integrando a compartimentação da topografia, a análise das formas de relevo e a análise da estrutura superficial da paisagem, conforme as proposições de

Ross (1990; 1992), com Assine (2003) tendo iniciado a contextualização dessas proposições para a análise geomorfológica na planície pantaneira.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da segmentação geomorfológica da área de estudo, foi adotado o conjunto de procedimentos e critérios definidos por Assine e Silva (2009) para a compartimentação geomorfológica. Primeiramente foi a criado um banco de dados, integrando diferentes fontes de informações que permitiram uma análise abrangente e detalhada do relevo e dos processos associados. Dentre esses dados, podem-se citar: (1) produtos orbitais, nomeadamente imagens de satélite de alta e média resolução, utilizadas para identificar feições geomorfológicas, delimitação de áreas de inundação e análise da dinâmica fluvial e sedimentar; (2) dados secundários provenientes de instituições como IBGE, ANA e INPE, contendo mapas topográficos, hidrológicos e geológicos, além de dados climáticos e hidrométricos históricos e (3) dados primários contendo informações obtidas a partir de técnicas de Geoprocessamento, como modelos digitais de elevação (MDE), análises de curvatura do terreno e processamento de imagens para extração de padrões geomorfológicos.

Inicialmente, foram obtidas as imagens orbitais de satélites com diferentes resoluções espaciais, radiométricas e temporais, cada uma selecionada para auxiliar no processo de segmentação geomorfológica. Para a análise da cobertura do solo, mapeamento de áreas de inundação e identificação de feições geomorfológicas foram empregadas cenas orbitais dos satélites Landsat-8 (OLI) e Landsat-5 (TM) dos anos de 1988, 2014 e 2023, obtidas por meio do portal Earth Explorer, disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019).

Por meio do portal Earth Explorer, também foram obtidas imagens do satélite Sentinel 2A, sensor MSI, de 2023. Essas imagens foram empregadas devido à qualidade e versatilidade do sensor MSI, que oferece resolução espacial de 10 metros, permitindo um mapeamento detalhado das feições geomorfológicas e da cobertura do solo, bem como possibilita análises precisas de características ambientais, como a identificação de áreas inundadas, a diferenciação de vegetação e solos e a detecção de mudanças temporais na paisagem (Drusch, *et al.*, 2012). Além disso, a alta frequência de revisita (5 dias em média) garante uma atualização temporal consistente, essencial para monitorar a dinâmica sazonal e interanual de áreas altamente dinâmicas, como o Pantanal.

Por meio do portal Catálogo de Imagens, mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), foram adquiridas imagens do satélite CBERS 4A (sensores WFI e WPM), dos anos de 2021 e 2024. Com uma largura de faixa de cerca de 866 km, o sensor WFI permite capturar imagens que abrangem múltiplos compartimentos geomorfológicos em uma única cena, otimizando o processo de análise e integração de dados para grandes áreas. Adicionalmente, a sua resolução espacial de 64 metros e resolução radiométrica e capacidade de revisita frequente tornam-no uma ferramenta eficiente para acompanhar mudanças sazonais e mapear padrões de inundação e cobertura do solo em escalas amplas.

Imagens do sensor WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura) foram empregadas devido à sua elevada resolução espacial, que atinge 2 metros na banda pancromática e 8 metros nas bandas multiespectrais. Além disso, o sensor WPM oferece uma largura de faixa de 92 km, o que possibilita o mapeamento de áreas extensas, mantendo um bom nível de acurácia (Cargnin; Gass, 2023). Dessa forma, essas características permitem a identificação detalhada de feições geomorfológicas menores e a análise de áreas específicas com alta precisão, contribuindo positivamente para estudos que exigem uma análise detalhada da dinâmica fluvial e da cobertura do solo em regiões de alta complexidade, como o Pantanal. A especificação das imagens orbitais empregadas pode ser visualizada na Tabela 1.

Outros recursos provenientes de dados orbitais dizem respeito aos arquivos contendo dados altimétricos. Neste segmento, foram utilizados dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 metros de resolução espacial e dados do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)*, sensor *PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) de 12,5 metros de resolução espacial, disponíveis respectivamente no portal Earth *Explorer* e *Alaska Satellite Facility's* (UAF, 2019).

Os dados altimétricos provenientes do SRTM e do ALOS PALSAR são amplamente reconhecidos por sua qualidade e versatilidade em estudos geomorfológicos e ambientais (Farr *et al.*, 2007). O SRTM fornece modelos digitais de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, o que permite identificar feições topográficas mais amplas, determinar gradientes topográficos, avaliar padrões de drenagem etc., oferecendo uma base sólida para a compartimentação geomorfológica em escalas mais amplas. Por sua vez, os dados do ALOS PALSAR possuem resolução de 12,5 metros e são particularmente eficazes para áreas de difícil acesso ou com cobertura vegetal densa, como o Pantanal, devido à capacidade do radar de banda L de penetrar na vegetação (Rosenqvist *et al.*, 2007). Esses dados foram utilizados para gerar modelos altimétricos detalhados, diferenciar feições topográficas de pequeno porte, identificar áreas de inundação e analisar características específicas da planície fluvial, como espiras de meandros,

terraços aluviais e meandros abandonados. Foram realizados ainda duas campanhas de campo que contribuíram para esse estudo: a primeira campanha ocorreu durante o período de cheia (08 a 11 de agosto de 2023), enquanto a segunda foi realizada no período seco (10 a 14 de junho de 2024).

Satélite	Sensor	Identificação da cena	Data	Bandas utilizadas
Landsat-5	TM	227/73	Junho de 1988	1, 2, 3, 4 e 5
Landsat-5	TM	227/74	Junho de 1988	1, 2, 3, 4 e 5
Landsat-5	TM	227/74	Outubro de 1988	1, 2, 3, 4 e 5
Landsat-5	TM	227/75	Outubro de 1988	1, 2, 3, 4 e 5
Landsat-8	OLI	227/73	Agosto de 2014	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/74	Agosto de 2014	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/75	Agosto de 2014	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/73	Agosto de 2023	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/74	Agosto de 2023	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat-8	OLI	227/75	Agosto de 2023	2, 3, 4, 5 e 6
CBERS-4A	WFI	218/140	Agosto de 2023	13, 14, 15 e 16
CBERS-4A	WPM	217/137	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	217/138	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	217/139	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	217/140	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	218/137	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	218/138	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	218/139	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
CBERS-4A	WPM	218/140	Agosto de 2023	0, 1, 2, 3 e 4
Sentinel 2A	MSI	21KVU	Setembro de 2023	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	21KUT	Setembro de 2023	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	21KVT	Setembro de 2023	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	21KUS	Setembro de 2023	2, 3, 4 e 8
Sentinel 2A	MSI	21KVS	Setembro de 2023	2, 3, 4 e 8

Tabela 1 – Cenas orbitais empregadas para a segmentação geomorfológica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como suporte à delimitação dos segmentos geomorfológicos, foram utilizados dados do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018), incluindo os mapeamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos das folhas SD-21, SE-21 e SF-21, elaborados em escala 1:250.000. Para garantir a precisão e a compreensão detalhada dos dados, os arquivos foram organizados de forma a representar as informações até o último nível taxonômico disponível em cada mapeamento. Nos dados geomorfológicos, alcançou-se o quinto táxon, conforme metodologia descrita pelo IBGE (2009), enquanto no mapeamento pedológico foi

possível atingir o quarto nível hierárquico, conforme os critérios estabelecidos por IBGE (2007). O processamento e análise desses arquivos foram realizados por meio do *software* de SIG ArcGIS 10.8® (ESRI, 2021), o que permitiu integrar e visualizar as informações de forma eficiente, proporcionando maior detalhamento na delimitação dos segmentos geomorfológicos e contribuindo para a compreensão das interações entre o relevo, os solos e os processos geomorfológicos.

Assim como os arquivos vetoriais, as cenas orbitais também foram processadas por meio do SIG ArcGIS 10.8® (ESRI, 2021). Todas as imagens passaram por técnicas de realce com o objetivo de melhorar sua visualização, conforme descrito por Florenzano (2008). Posteriormente, realizou-se o processo de composição (ferramenta *composite bands*). Para as cenas do satélite Landsat-8, sensor OLI, foram selecionadas as bandas 2, 3, 4, 5 e 6, correspondentes às faixas espectrais azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio).

Para as imagens do satélite CBERS-4A, sensor WFI, foram empregadas as bandas 13, 14, 15 e 16, correspondente às faixas espectrais azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, enquanto para as imagens do sensor WPM foram empregadas as bandas 0, 1, 2, 3 e 4 que correspondem, respectivamente, às faixas espectrais pancromática, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo.

A integração dessas bandas orbitais possibilitou a criação de diferentes composições coloridas, permitindo uma análise mais detalhada e ágil dos elementos presentes em uma mesma área, otimizando a identificação de feições geomorfológicas, coberturas vegetais e padrões hidrológicos. Dessa forma, para as cenas do satélite Landsat-8, foram adotadas preferencialmente as composições RGB 6, 5, 4 e 5, 4, 3, que enfatizam elementos como a vegetação, corpos d'água e áreas de solo exposto. Já para as imagens do CBERS-4A, utilizaram-se principalmente as composições RGB 15, 16, 14 e 13, 16, 15 para o sensor WFI e as composições RGB 4, 3, 2 e 3, 4, 2 para o sensor WPM.

Para a delimitação dos segmentos geomorfológicos, foi adotado o método de vetorização manual, uma técnica amplamente reconhecida em mapeamentos geomorfológicos (Florenzano, 2008), especialmente quando é necessário alcançar alta precisão na delimitação de feições e compartimentos. Esse método consiste em traçar, manualmente, os contornos das unidades geomorfológicas diretamente sobre imagens orbitais, modelos digitais de elevação (MDE) e/ou outros dados geoespaciais, utilizando ferramentas disponíveis em *softwares* de SIG. A vetorização manual possibilita ao pesquisador integrar seus conhecimentos prévios acerca da área de estudo à interpretação visual dos dados (Barbosa, 2024), identificando

detalhes e sutilezas que frequentemente escapam aos métodos automatizados, especialmente em áreas de alta complexidade, como o Pantanal. Dessa forma, o processo de vetorização foi realizado por meio do *software* ArcGIS 10.8® (ESRI, 2021), no qual primeiramente criou-se uma nova camada vetorial utilizando a ferramenta *Create New Shapefile*. Em seguida, procedeu-se à delimitação das feições geomorfológicas com o auxílio da ferramenta *Create Features*, disponível na barra de tarefas *Editor*. Uma síntese das etapas envolvidas na segmentação geomorfológica pode ser visualizada na Figura 8.



Figura 8 – Fluxograma das etapas envolvidas na segmentação geomorfológica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a identificação e delimitação dos segmentos geomorfológicos, foi considerado um conjunto de critérios fundamentais, incluindo: tonalidade e cor (reflectância) dos objetos conforme a composição RGB empregada, texturas, padrões morfológicos, altimetria, contexto hidrológico, orientação e largura do cinturão de meandros, bem como sinuosidade e declividade do canal. Com base nesses critérios, foi desenvolvida uma chave de interpretação que destaca áreas que apresentam a ocorrência territorial dos critérios mencionados. A chave de interpretação elaborada neste trabalho pode ser visualizada na Figura 9.

No âmbito do mapeamento geomorfológico, a chave de interpretação desempenha um papel crucial como ferramenta metodológica para a identificação e classificação de feições morfológicas e suas dinâmicas associadas, auxiliando no reconhecimento de formas de relevo e na determinação de suas características (Lima; Lupinacci, 2021). A chave de interpretação é especialmente útil para garantir a consistência e a precisão das análises, permitindo que as feições identificadas em imagens orbitais sejam comparáveis e integradas em um sistema de classificação coerente (Melo *et al.*, 2017). Nos estudos geomorfológicos no Pantanal, este é um dos primeiros desenvolvimentos de chave de interpretação para feições morfológicas.

Figura 9 – Chave de interpretação evidenciando exemplos significativos da implementação dos critérios para a segmentação geomorfológica.



Área Inundada em Espiras de Meandro



Cinturão de Meandros Confinado



Área Inundada em Meandro Abandonado



Paleodrenagem no Megaleque do Nabileque



Morraria Residual e Cinturão de Meandros



Cinturão de Meandros Atual e Paleocinturão de Meandros



Exemplo de MDE processado para realçar os segmentos



Cinturão de Meandros Confinado por Leques Aluviais



Progressão de Onda de Inundação no Cinturão de Meandros

Fonte: Elaborada pelo autor. As Figura 9A a 9F e 8H, constituem composição de bandas do satélite CBERS-4A, sensor WPM. A Figura 9G constitui MDE obtido a partir do Alos Palsar. A Figura 9I refere-se a composição de bandas do satélite Landsat 5, sensor TM.

Dessa forma, a Figura 9 apresenta áreas distintas que ilustram os critérios utilizados na delimitação dos segmentos geomorfológicos (Figuras 9A a 9I). Nessas imagens, é possível observar a integração dos diversos critérios adotados para o mapeamento. Nas Figuras 9A e 9B destacam os padrões morfológicos e hidrológicos, evidenciando a relação entre os fluxos de água e as formas do relevo. A Figura 9C combina informações de tonalidade, textura, morfologia e hidrologia, permitindo identificar dois compartimentos geomorfológicos distintos. Já a Figura 9D integra critérios de textura, morfologia e topografia, essenciais para compreender a configuração tridimensional do terreno. A Figura 9E enfatiza a orientação e largura do cinturão de meandros, fornecendo *insights* sobre a dinâmica fluvial local. Por fim, a Figura 9F explora a interação entre morfologia e topografia, consolidando a análise das unidades geomorfológicas.

Nas Figuras 9G a 9I, é possível observar a mesma área analisada a partir de três fontes de dados distintas, demonstrando como a integração dessas informações contribui para a delimitação precisa dos segmentos geomorfológicos. A Figura 9G apresenta um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados do ALOS PALSAR, proporcionando uma visão detalhada do relevo e auxiliando na identificação de patamares topográficos. A Figura 9H exibe uma composição RGB 4, 3, 2 do sensor WPM do satélite CBERS-4A, que enfatiza a cobertura vegetal e padrões hidrológicos. Já a Figura 9I apresenta uma composição RGB 5, 4, 3 do sensor TM do satélite Landsat 5, destacando feições morfológicas e a cobertura do solo.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo da área estudada, o rio Paraguai percorre cerca de 465 km, abrangendo seis segmentos geomorfológicos nomeados segundo toponímias locais: Porto Esperança, Forte Coimbra, Bahia Negra, Barranco Branco, Fecho dos Morros e Porto Murtinho (Figura 10). Esses segmentos estão situados em uma das áreas mais baixas do Pantanal, com altitudes inferiores a 100 metros, desempenhando papel fundamental no escoamento das águas da planície. A altitude do cinturão de meandros diminui em direção ao sul, com um gradiente topográfico de 2,15 cm/km.

A diferenciação entre os segmentos geomorfológicos é marcada pela interação entre os critérios empregados no mapeamento. Por exemplo, entre os segmentos de Porto Esperança e Forte Coimbra, destacou-se a largura média do cinturão de meandros, o índice de sinuosidade e a declividade. No trecho entre Forte Coimbra e Bahia Negra, além de deflexão e alteração na orientação do canal, observou-se diferença na largura do cinturão, um aumento no índice de sinuosidade e uma redução da declividade.



Figura 10 - Segmentos geomorfológicos identificados ao longo da área de estudo.

Fonte: Elaborada pelo autor. Estrelas em vermelho dizem respeito às estações hidrométricas: 1-Porto da Manga; 2-Porto Esperança; 3-Forte Coimbra; 4-Bahia Negra; 5-Barranco Branco e 6-Porto Murtinho.

A jusante, entre os segmentos de Bahia Negra e Barranco Branco, foi registrada uma nova mudança na orientação do cinturão, acompanhada por um aumento em sua largura média, no índice de sinuosidade do canal e na declividade média. Por sua vez, entre os segmentos de Barranco Branco e Fecho dos Morros, predominou a redução na largura média do cinturão e na sinuosidade do canal, que alcançou valores correspondentes a canais retilíneos, conforme destacado por Stevaux e Latrubesse (2017). Por fim, no trecho entre Fecho dos Morros e Porto Murtinho, observou-se novamente um aumento na largura do cinturão, acompanhado por uma mudança na orientação do canal e uma elevação no índice de sinuosidade. Os critérios considerados para a segmentação geomorfológica estão sintetizados na Tabela 2.

Segmento Geomorfológico	Orientação Predominante	Largura Média do Cinturão (m)	Declividade (cm/km)	Área do Cinturão (km²)	Extensão do Canal (m)	Sinuosidade
Porto Esperança	NE-SW	2.242	2,02	195	98,8	1,37
Forte Coimbra	NE-SW	1.768	3,6	141	84,6	1,21
Bahia Negra	NW-SE	3.080	1,94	244	102,5	1,54
Barranco Branco	N-S	5.504	2,69	394	111,7	1,63
Fecho dos Morros	NE-SW	1.793	0	33	22,1	1,06
Porto Murtinho	N-S	4.465	2,2	152	45,3	1,45

Tabela 2 – Parâmetros calculados para a segmentação geomorfológica do cinturão de meandros do rio Paraguai na área estudada.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Esses segmentos identificados possuem um conjunto de feições geomorfológicas atuais e pretéritas, intrínsecas e extrínsecas à paisagem observada, representando registros evidentes das transformações paleogeográficas e paleohidrológicas ocorridas na região desde o Pleistoceno (Macedo, 2017; Assine; Silva, 2009). Para compreender melhor os processos fluviais, foi essencial realizar uma análise abrangente das diferentes partes do sistema fluvial, com foco na identificação das formas deposicionais e erosivas que registradas na paisagem (Silva, 2010). Fatores externos ao sistema fluvial como os controles geológicos estruturais possuem um papel relevante na formação e ajustes geomorfológicos, especialmente ao longo do trecho estudado do rio Paraguai conforme foi destacado por Paranhos Filho *et al.* (2017). O detalhamento das características geomorfológicas predominante nos seis segmentos identificados (Figura 10) são apresentados separadamente nos tópicos seguintes.

4.3.1 Cinturão de meandros de Porto Esperança (CmPE)

O cinturão de meandros de Porto Esperança tem início nas proximidades da antiga foz do rio Taquari, numa localidade popularmente conhecida como Porto da Manga (MS-228). Este cinturão apresenta largura média de 2.240 metros, apresentando uma expansão progressiva de nordeste para sudoeste. A menor largura registrada ao norte resulta do confinamento a que o cinturão está submetido. Em sua margem esquerda, o cinturão de meandros é confinado por depósitos sedimentares quaternários associados ao paleolobo deposicional do rio Miranda (Merino, 2011), que atualmente formam uma planície aluvial degradada. Essa área é marcada pela presença de drenagens descontínuas com orientação predominante para oeste, entre as quais se destaca o corixo Mutum (Figura 11B).

Em sua margem direita, a montante do rio Miranda, o cinturão é confinado por uma bacia de inundação caracterizada por paleodrenagens degradadas e formadas por depósitos quaternários, além de um paleocinturão de meandros (Figura 11A), remanescente de um antigo curso do rio Paraguai (Macedo, 2017). Já a jusante da confluência com o rio Miranda, ainda na margem direita, o cinturão encontra-se confinado por terrenos pré-cambrianos pertencentes ao Planalto Residual do Urucum e, posteriormente, por um amplo paleolobo distributário com orientação a sudoeste (Figura 11B), que representa uma etapa da evolução do megaleque do Nabileque (Kuerten, 2010, p.61).

Mais ao sul, o cinturão de meandros se alarga, especialmente nas proximidades de morraria residual localmente conhecida como "Morro do Conselho" e no início do paleocinturão de meandros do Nabileque (Figura 11C). A partir das análises realizadas por Macedo (2017) e Kuerten (2010), é possível observar a continuidade de um extenso paleocinturão de meandros que, no passado, constituiu o antigo curso do rio Paraguai. Ao norte, esse paleocinturão é atualmente drenado pelo rio Paraguai-Mirim, responsável pela drenagem das águas provenientes do norte da planície, com destaque para aquelas oriundas do megaleque do rio Taquari.

Na região central, o paleocinturão é interceptado pelo cinturão de meandros atual do rio Paraguai nas proximidades da foz do rio Paraguai-Mirim. A partir desse ponto, o paleocinturão segue margeando a morraria residual conhecida localmente como "Rabicho", onde é drenado pelo corixo Fundo. É nessa área que o paleocinturão atua como um elemento de confinamento para o cinturão de meandros atual, destacando sua importância geomorfológica, conforme indicado anteriormente (Figura 11A).



Figura 11 - Imagens orbitais do cinturão de meandros de Porto Esperança.

Fonte: Figuras A-C referem-se imagens orbitais provenientes do satélite CBERS 4A, sensor WPM. Figuras D-I referem-se a imagens orbitais do satélite Sentinel 2A.

Ao sul, como mencionado anteriormente, este paleocinturão dá origem à drenagem popularmente conhecida como rio Nabileque, caracterizada por um amplo cinturão de meandros que preserva diversas paleoformas, incluindo meandros abandonados e espiras de meandros, entre outros. Este paleocinturão apresenta uma largura superior à do cinturão de meandros atual, sendo responsável pela drenagem das águas provenientes da bacia do rio Miranda, da face ocidental da Serra da Bodoquena e do próprio rio Paraguai (Figura 11C). Nessa região, pode-se observar a ilha Nabileque, destacada em fotografia aérea obtida por Drone, na qual é possível notar o limite mapeado entre o cinturão de meandros atual e o paleo cinturão de meandros (Figura 12).



Figura 12 – Imagem aérea do segmento de Porto Esperança.

Fonte: Sidney Kuerten (08 de agosto de 2023). Imagem aérea obtida por meio do Drone DJI Spark. A esquerda da imagem é possível notar a delimitação natural entre o segmento de Porto Esperança (cinturão de meandros atual) e o paleocinturão de meandros do Nabileque. A localização dessa imagem pode ser visualizada na Figura 10C.

A jusante da entrada do rio Nabileque, o cinturão de meandros de Porto Esperança volta a se estreitar, com o rio Paraguai desenvolvendo um meandro de curvatura acentuada (Figura 11I). Esse meandro, embora mantenha a orientação geral predominante NE-SW, sugere

uma mudança na orientação do canal, marcando assim o início do cinturão de meandros de Forte Coimbra.

O gradiente topográfico do canal, calculado a partir dos dados do ALOS PALSAR, é de 2,02 cm/km, o que reflete em um índice de sinuosidade de 1,37, caracterizando-o como um canal pouco sinuoso, porém ainda classificado como meandrante. Essa classificação é corroborada pela expressiva presença de espiras de meandro, que evidenciam o predomínio de processos de migração lateral do canal, além da formação de barras em pontal (Figura 11D a 11I), elementos essenciais na caracterização de canais meandrantes, conforme descrito por De Araújo Rocha e Rocha (2013).

4.3.2 Cinturão de meandros de Forte Coimbra (CmFC)

O cinturão de meandros de Forte Coimbra é o mais estreito dentre os segmentos geomorfológicos identificados, com uma largura média de apenas 1.767 metros. Este cinturão está confinado, em ambas as margens, por depósitos sedimentares antigos associados à evolução do megaleque do rio Nabileque. A delimitação entre o cinturão de meandros e a planície degradada circundante é claramente perceptível durante os períodos de estiagem, quando a presença de espiras de meandros estreitas e com elevado volume de água contrastam com as áreas adjacentes, dominadas por cobertura vegetal de pequeno porte, composta principalmente por gramíneas e espécies gramíneo-lenhosas (Silva *et al.*, 2011). Essas áreas degradadas estão localizadas no paleoleque do Nabileque, formando uma transição marcante entre o cinturão ativo e os depósitos sedimentares mais antigos (Figura 13).

Neste segmento, a orientação do canal (NE-SW), o estreitamento do cinturão de meandros e a baixa sinuosidade (1,21) sugerem um elevado controle estrutural, conforme apontado por Kuerten (2010). De acordo com o autor, o principal elemento geotectônico responsável pela configuração atual do canal é o Lineamento Transbrasiliano, uma estrutura tectônica de caráter transcontinental que se estende por mais de 4.000 km, atravessando várias regiões do Brasil. Essa estrutura conecta-se a feições geológicas no continente africano, como resultado de eventos tectônicos associados ao Neoproterozoico (Lima, 2015). O controle estrutural imposto pelo Lineamento Transbrasiliano é evidente na orientação retilínea do canal e na influência direta sobre a morfologia fluvial e a dinâmica do cinturão de meandros.



Figura 13 – Visão geral do cinturão de meandros de Forte Coimbra.

Fonte: Imagem orbital do satélite CBERS 4A, sensor WPM; rede de drenagem mapeada manualmente.

O papel do Lineamento Transbrasiliano na configuração da geomorfologia regional do Pantanal é reconhecido e já foi evidenciado em diversos estudos, como o de Soares et al. (1998) e Kuerten (2010), constituindo uma hipótese robusta para justificar o padrão morfológico observado no segmento de Forte Coimbra. Além disso, a influência de controles estruturais na definição do curso atual do rio Paraguai foi previamente abordada por Ab'Saber (1988), que destacou o papel das estruturas tectônicas na organização fluvial regional. Essa abordagem foi posteriormente ratificada por Paranhos Filho *et al.* (2017, p. 161), que sintetizou os principais lineamentos estruturais coincidentes com o curso atual do rio Paraguai (Figura 14). Esses estudos reforçam a ideia de que a interação entre fatores tectônicos e geomorfológicos é fundamental para compreender a configuração do sistema fluvial no Pantanal.

Por outro lado, conforme Kuerten (2010), o desenvolvimento do curso atual do rio Paraguai pode ser resultado da integração de um amplo processo de avulsão e captura fluvial, influenciado por mudanças climáticas que teriam alterado as condições ambientais e o equilíbrio hidrológico do sistema. Essas alterações podem causar mudanças significativas nos padrões de sedimentação, como sugerido por Schumm (1993). Segundo essa hipótese, as mudanças fluviais locais associadas à avulsão podem ter se combinado com um processo de erosão remontante, que promoveu a migração para montante das cabeceiras de um pequeno afluente do rio Negro, um canal interleques responsável pela drenagem das águas dos leques do Nabileque e Pilcomayo (Kuerten *et al.*, 2013).

Esse processo, segundo Kuerten (2010), pode ter culminado na captura de parte do fluxo do rio Paraguai por um afluente do rio Negro, que já apresentava um controle estrutural associado ao Lineamento Transbrasiliano. Essa hipótese é consistente com as características observadas no cinturão de meandros atual, incluindo sua orientação e das drenagens adjacentes do megaleque do Nabileque e sua largura estreita e pouco variável.

Figura 14 – Principais lineamentos estruturais coincidentes com o curso atual do rio Paraguai na área de estudo.



Fonte: Adaptado da síntese elabora por Paranhos Filho *et al.* (2017, p. 161). I: Porto da Manga; II: Porto Esperança; III: Forte Coimbra; IV: Bahia Negra; V: Barranco Branco; VI: Porto Murtinho.

Dessa forma, o processo de avulsão fluvial no megaleque do rio Nabileque pode ser determinante para explicar as morfologias presentes na área do segmento de Forte Coimbra, dado que eventos de avulsão frequentemente resultam na redistribuição de fluxos hídricos e sedimentares em planícies aluviais, gerando feições geomorfológicas características (Kuerten; Stevaux, 2021; Cordeiro *et al.*, 2010). No contexto do megaleque do Nabileque, a avulsão teria ocasionado o desenvolvimento de morfologias características que são evidentes no contraste

observado entre o cinturão de meandros de Forte Coimbra e a planície aluvial degradada ao seu redor. Portanto, as morfologias identificadas no cinturão de meandros de Forte Coimbra e em suas adjacências refletem não apenas as mudanças hidrogeomorfológicas resultantes de processos de avulsão, mas também a influência do Lineamento Transbrasiliano, que desempenha um papel importante na orientação e configuração dos canais fluviais da região.

Na Figura 15 pode-se observar uma imagem aérea de julho de 2014 do cinturão de meandros nas proximidades de Forte Coimbra, na qual é possível observar o limite entre o cinturão de meandros atual, a planície adjacente e as morrarias residuais. Na imagem, destacase a presença de águas superficiais, tanto no cinturão, quanto no restante da planície, bem como a presença de uma linha de árvores que demarca a delimitação entre cinturão de meandros e a planície adjacente.



Figura 15 – Imagem aérea do segmento de Forte Coimbra.

Fonte: Aguinaldo Silva (11 de julho de 2014). A direita da imagem é possível notar a presença de uma linha de árvores que demarcam a delimitação entre o cinturão de meandros atual e a planície adjacente. A maior presença de águas superficiais também contribui para a diferenciação entre os compartimentos. Ao fundo, é possível notar as morrarias residuais que caracterizam a região. A localização dessa imagem pode ser visualizada na Figura 13.

4.3.3 Cinturão de meandros de Bahia Negra (CmBN)

O cinturão de meandros de Bahia Negra apresenta uma das mudanças mais significativas na configuração do rio Paraguai, marcada por uma brusca deflexão no canal na altura da Ilha Cavayú (Figura 16A), onde a orientação muda de NE-SW no cinturão de meandros de Forte Coimbra, para NW-SE no segmento de Bahia Negra. Essa mudança de orientação reflete, possivelmente, o controle estrutural imposto por lineamentos tectônicos na região, como sugerido por Kuerten (2010) e Paranhos Filho *et al.* (2017) e apresentado na Figura 14 (item B). Essa reorientação do canal está entre os elementos mais marcantes do segmento, contrastando significativamente com depósitos sedimentares do Megaleque do Nabileque (leste) e do Megaleque do Pilcomayo (oeste).



Figura 16 – Visão geral do cinturão de meandros de Bahia Negra.

Fonte: Imagem orbital do satélite CBERS 4A, sensor WPM de agosto de 2023; rede de drenagem mapeada manualmente. Toponímias provenientes da Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul (Campestrini *et al.*, 2014).

Outro aspecto relevante do cinturão de meandros de Bahia Negra é o aumento em sua largura média (~73% maior), com 3.080 metros. Esse aumento é mais evidente na porção sul do cinturão. Além disso, a área total do segmento também se destaca, sendo a segunda maior

entre os segmentos mapeados, com 244 km², evidenciando a ampliação da planície aluvial neste trecho.

Paralelamente, o índice de sinuosidade do canal também aumenta consideravelmente, alcançando 1,54, o segundo maior índice registrado ao longo de toda a área de estudo. Esse aumento de sinuosidade reflete uma maior migração lateral do canal, evidenciada pelo desenvolvimento de amplas espiras e maior curvatura dos meandros. O índice de sinuosidade e raio de curvatura de meandros se relacionam à medida em que rios de sinuosidade elevada geralmente apresentam meandros com curvaturas mais pronunciadas, de forma que maiores curvaturas de meandros podem indicar maior migração lateral do canal (Hickin; Nanson, 1975; Hooke; Harvey, 1983). Dessa forma, no cinturão de meandros de Bahia Negra, as espiras de meandros e os meandros abandonados são particularmente marcantes, contrastando visualmente, durante os períodos de estiagem, com a vegetação adjacente (Figura 16B).

A orientação da rede de drenagem adjacente ao segmento de Bahia Negra indica que o rio Paraguai constitui o principal elemento de drenagem das águas da região, especialmente nos períodos húmidos, o que sugere que, neste segmento, o rio Paraguai apresenta padrão de drenagem tributário. Em sua margem direita, o principal afluente do rio Paraguai é o rio Negro, um pequeno canal proveniente do território boliviano responsável por drenar águas provenientes das porções distais do megaleque do Tucavaca (Figura 17), um dos maiores megaleques do Pantanal, possuindo área de 3.800 km² (Kuerten; Stevaux, 2021). No entanto, também é notável uma rede de vazantes e fluxos não acanalados provenientes do megaleque do Pilcomayo.

Na margem esquerda do Rio Paraguai neste segmento, os tributários provenientes do megaleque do rio Nabileque, como o corixo do Veado Gordo e o corixo São Sebastião, atuam como importantes redistribuidores de água e sedimentos na planície aluvial (Figura 17). Os afluentes provenientes da margem esquerda apresentam maior relevância nos períodos úmidos, quando drenam parte das águas acumuladas no megaleque do Nabileque diretamente ao cinturão de meandros do rio Paraguai, constituindo assim canais de escoamento (Stevaux; Latrubesse, 2017).

Esses canais referem-se a morfologias pretéritas, reativadas nos períodos de cheia, a semelhança de diversos canais secundários identificados por Souza Filho e Stevaux (2004), no alto curso do rio Paraná. Dessa forma, esses tributários reforçam a conexão entre o rio Paraguai e suas áreas adjacentes, bem como constituem exemplos de morfologias pretéritas que apresentam funções hidrológicas no presente quando reativadas nos períodos úmidos,

reforçando a importância do estudo de morfologias pretéritas para a compreensão da evolução de sistemas fluviais (Blum; Tornqvist, 2000).



Figura 17 – Visão geral da rede de drenagem nas adjacências dos segmentos de Porto Esperança, Forte Coimbra, Bahia Negra e norte de Barranco Branco.

Fonte: Modelo Digital de Elevação proveniente de mosaico de cenas orbitais da missão SRTM; rede de drenagem e cinturão de meandros mapeados manualmente. Nomenclaturas provenientes da Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul (Campestrini *et al.*, 2014). Estrelas em vermelho se referem às seguintes estações hidrométricas: 1 – Porto da Manga; 2 – Porto Esperança; 3 – Forte Coimbra; 4 – Bahia Negra.

4.3.4 Cinturão de meandros de Barranco Branco (CmBB)

O cinturão de meandros de Barranco Branco é caracterizado por uma mudança na orientação do canal nas proximidades da ilha Cova da Onça, que passa de NW-SE no cinturão de meandros de Bahia Negra para N-S em Barranco Branco. Essa alteração na orientação pode ser atribuída a um possível controle estrutural. Essa reorganização do canal sugere a interação entre processos tectônicos e hidrossedimentares, cuja a influência de estruturas regionais atuam no direcionamento do canal do rio Paraguai (Ab'saber, 1988).

Uma das características mais expressivas deste segmento é o aumento da largura do cinturão (~79% em relação ao segmento anterior), que atinge 5.503 metros, o maior valor entre os segmentos mapeados. Essa largura é mais acentuada nas porções norte e central do cinturão,

mas apresenta redução significativa a jusante da confluência do rio Branco (Figura 18). Essa redução na largura pode ser explicada pelo maior confinamento do cinturão, com limites bem definidos: a oeste, por depósitos sedimentares do megaleque do rio Pilcomayo, e a leste, por terraços aluviais compostos por depósitos sedimentares quaternários (IBGE, 2018). Essa configuração resulta em uma transição geomorfológica que marca os limites do cinturão dentro da planície aluvial do Pantanal.





Fonte: Imagem orbital do satélite CBERS 4A, sensor WPM; rede de drenagem mapeada manualmente. Nomenclaturas provenientes da Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul (Campestrini et al., 2014).

O cinturão de meandros de Barranco Branco apresenta um índice de sinuosidade de 1,63, o maior registrado na área de estudo. A curvatura acentuada dos meandros e a presença de amplas cicatrizes de meandros adjacentes ao canal atual evidenciam processos de migração lateral do canal ao longo do Holoceno, como evidenciado pela datação de diversos compartimentos da região realizados por Kuerten (2010). Essas características são indicativas de um sistema fluvial dinâmico. A área total do segmento também se destaca, sendo a maior da área de estudo, com 400 km², enquanto a extensão do canal atinge 111 km.

No cinturão de meandros de Barranco Branco, o rio Paraguai é alimentado por importantes afluentes, como o rio Nabileque, o rio Aquidabã e o rio Branco, todos situados na margem esquerda do rio Paraguai; por sua margem direita, o rio Paraguai recebe fluxos superficiais do megaleque do rio Pilcomayo (Kuerten; Assine, 2011). Os rios Aquidabã e Branco drenam a face ocidental do Planalto da Bodoquena. No entanto, ao adentrar o Pantanal, o rio Aquidabã desenvolve um pequeno leque aluvial. Esse leque fluvial também resulta em um prolongamento do mapeamento do Pantanal, como evidenciado na Figura 18. Leques aluviais de pequenas proporções, localizados nas proximidades de encostas adjacentes, têm sido identificados em diversas regiões do Pantanal (Lo *et al.*, 2019).

4.3.5 Cinturão de meandros de Fecho dos Morros (CmFM)

O cinturão de meandros de Fecho dos Morros destaca-se por apresentar a menor área entre os segmentos geomorfológicos mapeados, com apenas 33 km². Este cinturão também é o mais estreito de toda a área de estudo, com largura média 1.700 metros. Esse estreitamento reflete o confinamento geomorfológico imposto pelos depósitos sedimentares do megaleque do rio Pilcomayo e do leque do rio Tererê (Figura 19).



Figura 19 - Visão geral do cinturão de meandros de Fecho dos Morros.

Fonte: Imagem orbital do satélite CBERS 4A, sensor WPM. Figura B: imagem orbital pancromática do satélite CBERS 4A, sensor WPM. Rede de drenagem mapeada manualmente. Nomenclaturas provenientes da Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul (Campestrini *et al.*, 2014).

O fator mais determinante para esse confinamento é a presença de morrarias residuais conhecidas como "Fecho dos Morros", que desempenham um papel estruturante na configuração do segmento. O Fecho dos Morros constitui um dos mais importantes gargalos hidráulicos do Pantanal (Stevaux *et al.*, 2020). Esse termo refere-se a áreas de estreitamento natural do canal fluvial ou da planície aluvial que restringem o escoamento das águas, reduzindo a capacidade do sistema fluvial de deslocar a onda de cheia (Assine, *et al.*, 2015a). Em tais gargalos, o fluxo é forçado a se acumular a montante, gerando efeitos significativos na hidrodinâmica da planície, como inundação a montante e inversão de fluxo e redução na velocidade da água no canal principal.

No caso do Fecho dos Morros, essa barreira geomorfológica cria um efeito de remanso (*backwater effect*), no qual o fluxo das águas é desacelerado ou mesmo paralisado, causando acúmulo e elevação do nível da água a montante como resultado da obstrução do fluxo, um processo semelhante ao identificado no próprio rio Paraguai nas proximidades da planície aluvial Paraguai-Corumbá (Macedo, 2017; Macedo *et al.*, 2019). Esse fenômeno suaviza a onda de inundação do rio Paraguai, um efeito mensurado na estação hidrométrica de Porto Murtinho por Stevaux *et al.* (2020), além de desempenhar um papel crítico na regulação das cheias no Pantanal (Figura 20).



Figura 20 – Papel do Fecho dos Morros no barramento da inundação do rio Paraguai em 1988.

Fonte: Landsat 5, sensor TM de julho de 1988. Na imagem é possível observar o papel do Fecho dos Morros no barramento da onda de inundação do rio Paraguai, o que ocasiona o efeito remanso (*backwater effect*) e a suavização da onda de inundação na estação hidrométrica de Porto Murtinho (Stevaux *et al.*, 2020).

Devido ao controle estrutural imposto pelas morrarias residuais, a orientação do canal sofre uma alteração significativa, mudando de N-S, no cinturão de meandros de Barranco Branco, para NE-SW no cinturão de meandros de Fecho dos Morros. Essa mudança reflete a interação entre os fatores tectônicos e geomorfológicos que configuram o segmento. Além disso, a sinuosidade do canal é bastante reduzida, com um índice de apenas 1,06 caracterizando o trecho como retilíneo (Stevaux; Latrubesse, 2017). Uma visão aérea da região de Fecho dos Morros pode ser visualizada na Figura 21.





Fonte: Fernanda C. de A. Marques. Arquivo Ecoa, janeiro de 2025. Na imagem é possível observar as morrarias que compõem o Fecho dos Morros, o cinturão de meandros no segmento de Fecho dos Morros e o córrego Salgado.

Na Figura 21A pode-se observar uma visão geral do segmento de Fecho dos Morros, com destaque para as morrarias residuais localizadas ao fundo da imagem. Destaca-se também a diferenciação entre o cinturão de meandros e a planície adjacente, marcada pela presença de elevada concentração de árvores. Destaque também para o córrego Salgado, marcado na planície por uma vegetação de grande porte, visível na imagem devido à coloração mais escura. Na Figura 21B é possível notar a bifurcação do canal devido à ilha Fecho dos Morros e a presença de morrarias residuais em ambas as bifurcações do canal.

Dessa forma, a configuração do cinturão de meandros de Fecho dos Morros reflete uma combinação única de controles estruturais e processos hidrodinâmicos que influenciam não apenas a forma do canal, mas também o comportamento das cheias e a dinâmica sedimentar na região. Sua localização estratégica como gargalo hidráulico e sua interação com os leques aluviais adjacentes tornam este segmento um elemento chave para a compreensão da geomorfologia e hidrologia do Pantanal, influenciando diretamente o cinturão de meandros de Porto Murtinho.

4.3.6 Cinturão de meandros de Porto Murtinho (CmPM)

O cinturão de meandros de Porto Murtinho apresenta aumento de sua largura de norte para sul com média de 4.464 metros, a segunda maior entre os segmentos mapeados. Essa configuração reflete o confinamento geomorfológico a oeste, pelos depósitos sedimentares do megaleque do rio Pilcomayo, e a leste, por terraços aluviais compostos por depósitos sedimentares quaternários (IBGE, 2018). Dessa forma, na região deste cinturão, o Pantanal apresenta pequena largura, constituindo a área mais estreita do Pantanal (Padovani, 2010), com o cinturão de meandros de Porto Murtinho ocupando grande parte dessa estreita área do Pantanal (Figura 22A).

Apesar da largura expressiva, o cinturão de meandros de Porto Murtinho é o segundo mais curto, com o rio Paraguai apresentando uma extensão de apenas 45 km. Portanto, a área total do cinturão é de 151 km², sendo maior apenas que os cinturões de Fecho dos Morros e Forte Coimbra. Essa extensão limitada, combinada com a largura significativa, caracteriza este cinturão como uma unidade morfologicamente distinta, com uma configuração mais compacta em relação aos outros segmentos mapeados.

Uma característica marcante deste segmento é a mudança na orientação do canal, que se altera de NE-SW, no cinturão de meandros de Fecho dos Morros, para uma orientação N-S no segmento de Porto Murtinho. Essa alteração na direção, aliada à baixa sinuosidade registrada

no trecho (1,45), pode indicar controle estrutural, conforme destacado no item E da Figura 13. A curvatura dos meandros, embora significativa, é inferior à registrada nos cinturões de Bahia Negra e Barranco Branco, indicando processos de migração lateral mais atenuados neste trecho. Essa relação entre a sinuosidade, a curvatura dos meandros e o controle estrutural reflete a dinâmica imposta pelas condições geomorfológicas e hidrodinâmicas locais e regionais, especialmente pelo papel de depósitos sedimentares mais antigos e consolidados e terenos da depressão do rio Paraguai (Alvarenga; Brasil; Del'arco, 1982).



Figura 22 – Visão geral do cinturão de meandros de Porto Murtinho.

Fonte: Figura 22A refere-se a imagem orbital do satélite CBERS 4A, sensor WPM de agosto de 2023. Figura 22B refere-se a imagem orbital do satélite Landsat-5, sensor TM, de julho de 1988. Rede de drenagem mapeada manualmente. Nomenclaturas provenientes da Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul (Campestrini *et al.*, 2014).

A presença de espiras de meandros, associada à presença de águas superficiais, confere ao cinturão um contraste visual marcante durante os períodos de estiagem. Este contraste é ainda mais acentuado pela antropização das áreas adjacentes, frequentemente desmatadas para o desenvolvimento da pecuária (Souza Jr. *et al.*, 2020). Nos períodos de cheia, o cinturão de Porto Murtinho é quase que totalmente inundado, funcionando como uma grande bacia de inundação, responsável por drenar todas as águas provenientes do Pantanal (Figura 22B). Os principais aportes hídricos chegam pela margem esquerda, com destaque para os rios Tarumã e Amonguijá. O rio Tarumã drena águas superficiais do leque aluvial do rio Tererê, enquanto o rio Amonguijá transporta fluxos oriundos da face ocidental do Planalto da Bodoquena. Pela margem direita, o rio Paraguai recebe fluxos superficiais provenientes do megaleque do rio Pilcomayo, contribuindo para a intensa dinâmica hidrossedimentar que caracteriza o cinturão de meandros de Porto Murtinho.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segmentação geomorfológica proposta neste capítulo constitui uma importante contribuição para o avanço do entendimento dos processos hidrogeomorfológicos do rio Paraguai e do Pantanal Sul. Os seis segmentos geomorfológicos identificados com base em critérios detalhados, como padrões morfológicos e hidrológicos, topografia local, orientação e largura do cinturão de meandros, sinuosidade, largura, declividade do canal e interação com as drenagens adjacentes.

A integração de dados obtidos por sensoriamento remoto, modelos digitais de elevação, mapeamentos prévios e o uso do método de vetorização manual, permitiram maior precisão e a robustez da delimitação geomorfológica proposta. A análise revelou variações significativas ao longo do cinturão de meandros do rio Paraguai, como mudanças abruptas de orientação, larguras distintas e índices de sinuosidade que refletem não apenas os processos hidrossedimentares locais, mas também o controle estrutural geológico regional exercido sob o sistema fluvial.

Os segmentos mapeados evidenciam a complexidade do Pantanal como uma bacia sedimentar dinâmica, onde processos pretéritos, como avulsões e migrações laterais do canal, continuam a moldar as feições atuais. Os resultados deste capítulo reforçam a importância de considerar tanto a escala temporal quanto a espacial para compreender o comportamento dos canais fluviais em regiões planas, como o Pantanal. Além disso, a delimitação dos segmentos de Porto Esperança, Forte Coimbra, Bahia Negra, Barranco Branco, Fecho dos Morros e Porto Murtinho fornece subsídios para o monitoramento e o manejo das áreas de planície aluvial, que desempenham papel crucial no amortecimento das cheias e na redistribuição dos fluxos sedimentares, considerando a importância de gargalos hidráulicos e consequente efeito remanso.

Por fim, os aportes hídricos provenientes de drenagens adjacentes e leques aluviais, bem como as interações entre o canal principal e as planícies adjacentes, são fundamentais para a compreensão da dinâmica hidrológica do rio Paraguai. Essas interações são essenciais não apenas para a manutenção dos ecossistemas locais do rio Paraguai, mas também para a dinâmica hidrológica e sedimentar de todo o Pantanal. Os resultados obtidos contribuem para consolidar uma base científica e para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à conservação e ao manejo sustentável do Pantanal. A identificação detalhada da segmentação geomorfológica e da dinâmica hidrológica do rio Paraguai possibilita a criação de estratégias para a gestão dos recursos hídricos, a prevenção de eventos extremos, como inundações e secas severas.

5 DINÂMICA HIDROLÓGICA DO RIO PARAGUAI

5.1 INTRODUÇÃO

Os rios desempenham um papel fundamental para a humanidade, não apenas como fontes de água doce, mas também como vetores de desenvolvimento social, econômico e cultural ao longo da história (Arruda, 2008). Os rios constituem elementos cruciais no equilíbrio ambiental, regulando o ciclo hidrológico, recarregando aquíferos e sustentando a biodiversidade em seus ecossistemas aquáticos e ripários (Vogel; Zawadzki; Metri, 2009). Apesar da relevância histórica e ambiental dos rios para a humanidade, muitos desses sistemas têm sofrido significativa degradação ao longo do tempo, principalmente devido às atividades humanas (Moraes; Jordão, 2002).

Neste contexto, o estudo do sistema fluvial e o desenvolvimento de estratégias de conservação contribuem para a preservação dos rios e a recuperação de ecossistemas degradados (Souza; Correa, 2012). O estudo da dinâmica hidrológica e morfológica dos canais fluviais contribuem para a compreensão do ambiente, oportunizando subsídios para a gestão dos recursos hídricos. Ao monitorar variáveis como vazão, cota, padrões de inundação e balanço hidrológico (Silva, 2020), as pesquisas em hidrologia possibilitam a identificação de padrões fluviais, processos de conectividade (Stevaux; Corradini; Aquino, 2013) e compreensão da estrutura e funcionamento dos sistemas fluviais.

De acordo com Coelho (2008) o sistema fluvial abrange um conjunto dinâmico de componentes hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos que se interligam, materializando-se por meio de processos erosivos, de transporte e deposicionais que esculturam as paisagens fluviais. Os rios devem ser compreendidos como sistemas dinâmicos e abertos, nos quais o clima, a tectônica, a litologia e atividades antrópicas se interagem de forma a condicionar a morfologia e o comportamento dos canais ao longo do tempo (Petts; Foster, 1990).

Enquanto sistemas abertos e sujeitos a alterações nas fontes de energia, que podem ocasionar mudanças nas condições ambientais, na descarga líquida e sólida, etc., os rios buscam constantemente ajustar sua morfologia, hidrossedimentologia e geometria hidráulica, ajustes esses que podem ser sintetizados por meio do conceito de equilíbrio dinâmico (Schumm, 1977). De acordo com a teoria do equilíbrio dinâmico, as formas não são estáticas, tanto temporal, quanto espacialmente, mas respondem às alterações no fluxo de energia por meio de mudanças nos padrões hidrológicos, sedimentológicos e morfológicos (Fontes, 2010).

A esse respeito, diversos conceitos e métodos foram sistematizados com o objetivo de estudar e caracterizar os sistemas fluviais, entre os quais se destacam a hidrossedimentologia, (Wolman; Miller, 1960), que aborda os processos de transporte e deposição de sedimentos em interação com o regime hídrico, e a geometria hidráulica (Leopold; Maddock, 1953), que descreve as relações entre variáveis hidráulicas, como vazão, largura, profundidade e velocidade, e sua evolução ao longo do canal fluvial. Esses conceitos subsidiaram importantes avanços na compreensão do sistema fluvial e continuam sendo amplamente aplicados em estudos de rios ao redor do mundo.

As modelagens e equações matemáticas que foram desenvolvidas com o objetivo de quantificar e analisar os sistemas fluviais, são reconhecidas como universais devido à sua aplicabilidade em diferentes contextos. Dentre essas, destacam-se o número de *Froude*, que permite classificar o regime de fluxo em subcrítico, crítico ou supercrítico; o coeficiente de *Reynolds*, utilizado para distinguir fluxos laminares e turbulentos; a potência do canal (Bagnold, 1966), fundamental para avaliar a energia despendida pelo canal em seu regime de fluxo e realização dos processos de erosão, transporte e sedimentação); e a relação largura/profundidade (Leopold; Maddock, 1953), que auxilia na caracterização da morfologia do canal e seu comportamento frente a variações hidrológicas, entre tantas outras.

Esses parâmetros são fundamentais para a compreensão da dinâmica fluvial, fornecendo uma base quantitativa para a análise dos processos hidrossedimentares e contribuindo para o planejamento e a gestão sustentável dos sistemas fluviais. Assim, este capítulo tem como objetivo específico caracterizar os aspectos hidrológicos e morfológicos do rio Paraguai na área estudada, relacionando-os à segmentação geomorfológica proposta no capítulo anterior, bem como estabelecer relações entre a dinâmica hidrológica de cada segmento geomorfológico do com as características morfológicas e hidrológicas do canal na área estudada e avaliar a contribuição de tributários. Para isso, serão integradas diferentes abordagens metodológicas, incluindo a análise de dados hidrológicos primários obtidos *in loco* e secundários, a aplicação de equações matemáticas e o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. A partir dessa integração, será realizada a avaliação do balanço da descarga líquida entre as seções estudadas, possibilitando uma compreensão ainda mais detalhada da redistribuição dos fluxos de água.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste capítulo, foram utilizados dados hidrológicos provenientes de diferentes fontes, incluindo literatura científica, bases de dados hidrométricos da Agência

Nacional de Águas (ANA, 2024) e medições diretas realizadas *in loco*. Além disso, foram aplicadas equações para a análise de parâmetros hidráulicos do canal, permitindo uma caracterização quantitativa da dinâmica fluvial do rio Paraguai. Complementarmente, produtos de Sensoriamento Remoto foram empregados para a obtenção de informações espaciais e temporais sobre o sistema fluvial, destacando-se as imagens orbitais dos satélites Landsat-8, Landsat-5, Sentinel-2A e CBERS-4A, conforme especificado na Tabela 1.

Em relação aos dados obtidos *in loco*, foram realizadas duas campanhas de campo para coleta de dados hidrológicos e morfológicos do rio Paraguai e seus principais tributários. A primeira campanha ocorreu entre os dias 08 a 11 de agosto de 2023, durante o período de cheia, enquanto a segunda foi realizada entre 10 a 14 de junho de 2024, no período seco. Nessas campanhas, foram levantadas 31 seções transversais distribuídas ao longo do rio Paraguai e de três de seus principais afluentes: rio Miranda, rio Nabileque e rio Amonguijá (Figura 23).

Oliveira (2012) destaca que as seções transversais desempenham um papel fundamental nos estudos de sistemas fluviais, pois englobam elementos geométricos essenciais para a caracterização da dinâmica fluvial e refletem a interação entre o fluxo de água e o material sedimentar que estrutura o canal. Parâmetros como largura, profundidade, área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico são cruciais para avaliar a capacidade de escoamento, o transporte de sedimentos e as respostas morfológicas do canal frente às variações hidrogeomorfológicas (Magalhães Júnior; Barros; Lavarini, 2020). Assim, a análise das seções transversais é indispensável para estudos hidrossedimentológicos e de geometria hidráulica (Grison; Kobiyama, 2011), fornecendo subsídios para compreender os processos de erosão, transporte e deposição.

Para a obtenção dos dados hidromorfológicos, foi utilizado o *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*, um equipamento que permite a determinação de parâmetros essenciais para a caracterização da dinâmica hidrológica do canal. Entre os principais dados obtidos com o ADCP, destacam-se a velocidade média do fluxo, vazão líquida, temperatura da água, largura e profundidade do canal, além da área das seções transversais (Mueller; Wagner, 2009). O seu uso recorrente, inclusive em estudos no Pantanal (Merino; Assine; Pupim, 2013; Zaparoli, 2015; Macedo, 2017; Luz *et al.*, 2017; Merino; Assine, 2020), deve-se ao fato de obter, com maior precisão e rapidez, dados hidrodinâmicos, bem como a sua capacidade de medir continuamente o perfil transversal do canal. Assim, o ADCP torna-se uma ferramenta essencial para análises mais detalhadas (Guerrero; Rüther; Szupiany, 2012).



Figura 23 - Localização das seções transversais, levantadas em pesquisa de campo por meio de *ADCP*.

Fonte: Imagens orbitais provenientes do Satélite CBERS 4A, sensor WFI (multiespectral) e sensor WPM (pancromática). Limite dos segmentos geomorfológicos acentuados afim de melhorar a visualização.

O levantamento das 31 seções transversais foi distribuído estrategicamente ao longo dos diferentes cinturões de meandros da área de estudo, considerando tanto a acessibilidade quanto a viabilidade logística das medições. Assim, foram alocadas 7 seções no cinturão de meandros de Porto Esperança, 6 em Forte Coimbra, 6 em Bahia Negra, 8 em Barranco Branco, 2 em Fecho dos Morros e 2 em Porto Murtinho (Figura 23). A localização das seções baseou-se na disponibilidade de pontos acessíveis para a realização das medições e no tempo disponível para as campanhas de campo, garantindo uma amostragem representativa da dinâmica hidrológica dos diferentes segmentos geomorfológicos do rio Paraguai.

O uso dos dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024) contribuiu com a caracterização do regime hidrológico do rio Paraguai ao longo das séries históricas disponíveis. A partir dessas informações, foram analisadas as vazões registradas nas estações de Porto da Manga, Porto Esperança, Barranco Branco e Porto Murtinho, com especial atenção às estações de Porto da Manga e Porto Murtinho, que apresentam as séries históricas mais completas (Tabela 3). Os dados das estações de Forte Coimbra e Bahia Negra não foram empregados devido à descontinuidade na disponibilidade de dados de vazão.

Тіро	Nome	Código da Estação	Série Histórica da Vazão	
Fluviométrica	Porto da Manga	66895000	1969-2024	
Fluviométrica	Porto Esperança	66960008	1964-2014	
Fluviométrica	Barranco Branco	67030000	1965-2014	
Fluviométrica	Porto Murtinho	67100000	1964-2024	

Tabela 3 – Série histórica das estações fluviométricas empregadas.

Fonte: ANA (2024). Organizada pelo autor.

Considerando a variação nos períodos de registro entre as estações, foram padronizadas duas séries temporais de dados para a análise hidrológica: a primeira, compreendendo o intervalo entre 1969 e 2014, abrangendo todas as estações; e a segunda, estendendo-se de 1969 a 2024, restrita às estações de Porto da Manga e Porto Murtinho. A segunda série de dados foi importante para a evidenciação da ocorrência de períodos de seca acentuados no início das décadas de 1970 e 2020, destacando similaridades nos padrões de redução da vazão ao longo do tempo. Essa abordagem metodológica permitiu avaliar a evolução hidrológica do rio Paraguai ao longo das décadas e a partir de dados temporalmente padronizados, possibilitando a identificação de padrões recorrentes de variabilidade hidrológica.

Tendo como base os dados coletados por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e aqueles obtidos *in loco* durante as pesquisas de campo, foi possível determinar um conjunto de parâmetros morfométricos fundamentais para a caracterização da geometria hidráulica e o regime de fluxo do rio Paraguai. Esses parâmetros são essenciais para compreender a dinâmica hidrológica e morfológica do canal fluvial ao longo dos diferentes segmentos geomorfológicos da área de estudo. Os principais parâmetros analisados incluem:

Largura do canal (w): é definida como a distância horizontal entre as margens opostas do rio na seção transversal analisada (Leopold; Maddock, 1953). Esse parâmetro é um dos elementos mais fundamentais na caracterização geomorfológica dos sistemas fluviais, influenciando diretamente a capacidade de escoamento, os processos de transporte de sedimentos e a interação do canal com a planície de inundação. A variação da largura ao longo do curso do rio reflete a complexa interação entre fatores hidrossedimentológicos e controles estruturais, como a influência de lineamentos tectônicos e confinamento do canal por terraços aluviais e depósitos sedimentares (Barros; Magalhães Júnior, 2020).

Profundidade Média (d): outro parâmetro essencial, a profundidade média é a relação entre as profundidades medidas ao longo do perfil transversal do canal. Esse parâmetro desempenha um papel fundamental na hidrodinâmica do rio, pois influencia diretamente a capacidade de escoamento, a distribuição da velocidade do fluxo e os processos de transporte de sedimentos (Knighton, 1998). Em canais meandrantes, a profundidade é maior nos trechos de talvegue e menor nas áreas de depósitos de barra, refletindo a interação entre processos erosivos e deposicionais ao longo da seção transversal (Bridge, 2003).

Área (A): a área é a relação entre a largura e a profundidade média de uma seção transversal. A área da seção transversal desempenha um papel fundamental na dinâmica hidrossedimentológica, influenciando diretamente a vazão, velocidade do fluxo e o transporte de sedimentos.

Relação largura/profundidade $(w/_{\overline{d}})$: é um dos principais parâmetros para a caracterização da geometria hidráulica, sendo fundamental para compreender a morfodinâmica dos canais fluviais e sua resposta a variações hidrossedimentológicas. Canais com índices elevados de largura/profundidade tendem a ser mais amplos e rasos, apresentando menor energia de fluxo e maior deposição sedimentar, o que favorece a formação de barras e bancos de sedimentos (Knighton, 1998). Por outro lado, canais com baixos valores de largura/profundidade apresentam maior profundidade, sendo comuns em trechos mais confinados ou com maior controle estrutural, onde há maior capacidade de transporte de

sedimentos e menor deposição de material no leito (Schumm, 1977). Dessa forma, a relação largura/profundidade é um indicador para a análise da morfologia dos canais fluviais, permitindo inferências sobre os processos hidrossedimentares e a dinâmica de ajuste do canal ao regime hidrológico e à carga sedimentar (Church, 2006).

Número de Reynolds (Re): é um parâmetro adimensional destinado à compreensão da dinâmica dos fluídos em um canal. Valores inferiores a 500 "Re" são classificados como de fluxo laminar; entre 500 a 2500 tem-se um fluxo em transição, enquanto um número de Reynolds maior que 2500 é classificado como um fluxo turbulento. O número de Reynolds classifica o tipo de escoamento no canal, sendo que fluxos laminares ocorrem quando a água se desloca em camadas paralelas, com mínima mistura entre elas, enquanto fluxos turbulentos são caracterizados por movimentos caóticos e irregulares, com maior dispersão de energia (Reynolds, 1883). Em sistemas fluviais naturais, o escoamento é predominantemente turbulento, devido às interações com o leito do canal, variações na profundidade e presença de obstáculos naturais.

Número de Froude (*F*): é um parâmetro adimensional amplamente utilizado para classificar o regime de escoamento em canais fluviais, categorizando-o em três principais condições: subcrítico, crítico e supercrítico. No regime subcrítico (F < 1), o fluxo é predominantemente "tranquilo", caracterizado por pequenas ondulações superficiais e maior controle gravitacional sobre a velocidade do escoamento. No regime crítico (F = 1), o fluxo atinge uma condição de equilíbrio, onde as perturbações se propagam com a mesma velocidade do escoamento, resultando em um estado instável. Já no regime supercrítico (F > 1), o fluxo é rápido e turbulento, com velocidades elevadas, corredeiras e maior dissipação de energia. O Número de Froude tem sido amplamente empregado na caracterização do regime de fluxo dos rios pantaneiros em diferentes estudos (Macedo, 2017; Luz *et al.*, 2017; Silva, 2020).

Considerando que, em condições naturais, o escoamento fluvial ocorre predominantemente de forma turbulenta (conforme indicado pelo Número de Reynolds), é esperado que o fluxo em canais naturais seja classificado como turbulento subcrítico, turbulento crítico ou turbulento supercrítico, dependendo da interação entre esses dois parâmetros (Silva, 2020; Stevaux; Latrubesse, 2017).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 Análise da vazão nas estações hidrométricas

A análise da vazão média mensal ao longo da série histórica das estações hidrométricas de Porto da Manga, Porto Esperança, Barranco Branco e Porto Murtinho contribuem para a caracterização da dinâmica hidrológica do Rio Paraguai ao longo do trecho estudado. A distribuição espacial dessas estações (Figura 23) permite avaliar a variação do escoamento ao longo do curso do rio, considerando tanto os efeitos da sazonalidade hidrológica quanto as influências geomorfológicas e hidrossedimentares que condicionam a dinâmica do sistema fluvial.

A análise dos dados das citadas estações hidrométricas indica um padrão hidrológico anual característico (Figura 24), com as maiores vazões ocorrendo entre abril e julho, período posterior ao ápice da estação chuvosa no Pantanal, que normalmente ocorre entre outubro a abril (Junk *et al.*, 2006). Por outro lado, as menores vazões são registradas entre setembro e dezembro, novamente refletindo descompasso com as chuvas, visto que a estação seca se pronuncia de maio a setembro.



Figura 24 – Vazão média mensal histórica (1970-2014) do rio Paraguai na área estudada.

Fonte: ANA (2024). Organizado pelo autor. Série de dados de janeiro de 1970 a dezembro de 2014 proveniente das estações hidrométricas de Porto da Manga, Porto Esperança, Barranco Branco e Porto Murtinho. Estações organizadas conforme a sua distribuição no rio Paraguai de montante a jusante.

Esse padrão confirma o comportamento típico de rios inseridos em grandes áreas úmidas tropicais (Latrubesse; Stevaux; Sinha, 2005), onde há um tempo de resposta significativo entre a precipitação na bacia de drenagem e o escoamento efetivo no canal principal. Esse efeito é particularmente acentuado no Pantanal, devido ao armazenamento temporário da água em
lagos, corixos e megaleques, que modulam o fluxo do rio Paraguai e contribuem para a manutenção da descarga mesmo nos meses de estiagem.

Nesse contexto, conforme a teoria do *continuum* fluvial (*river continuum concept* – *RCC*), proposta por Vannote, Minshall e Cummins (1980), o gradiente longitudinal do canal constitui o principal controlador da dinâmica do sistema fluvial, o que implica na progressão natural das características do rio ao longo de seu curso, como aumento da vazão a jusante, a redução da declividade do leito e alterações na granulometria dos sedimentos transportados. É de se esperar que a vazão aumente progressivamente ao longo do percurso do rio, uma vez que a bacia de drenagem aumenta e o canal recebe contribuições adicionais de seus tributários.

De acordo com Petts e Amoros (1996), o *continuum* fluvial é unidirecional e desconsidera o papel das planícies aluviais e a integração entre os demais elementos do sistema fluvial. A esse respeito, a comparação da vazão mensal média medida nas estações de Porto Esperança e Barranco Branco representam um evidente exemplo de contraposição à teoria da continuidade fluvial, o que à primeira vista representa descontinuidade serial (Ward; Stanford, 1983).

O conceito de descontinuidade serial (*serial discontinuity concept – SDC*) é uma contraposição à teoria do *continuum* fluvial, à medida que enfatiza que a continuidade pode ser interrompida por interferências naturais ou antrópicas, como barragens, desvios de água e mudanças abruptas na geomorfologia do canal (Stanford; Ward, 2001). Essas interrupções causam alterações significativas que não ocorrem de maneira homogênea ao longo do perfil longitudinal do rio, interferindo na dinâmica dos rios, por meio de mudanças no transporte de sedimentos, nos padrões de fluxo, balanço hidrológico etc.

Neste contexto, ao comparar as vazões médias entre as quatro estações, verifica-se que Barranco Branco apresenta valores menores do que Porto Esperança (estação localizada a montante) em alguns meses do ano, o que representa uma incongruência hidrológica em relação ao esperado por meio do conceito de continuidade fluvial. Porto Esperança apresenta vazão superior justamente no período de cheia, entre março a julho, cobrindo inclusive o ápice de inundação em ambas estações. Enquanto Porto Esperança apresenta pico de cheia nos meses de maio e junho, Barranco Branco apresenta ápice durante os meses de junho e julho. Em abril, por exemplo, Porto Esperança registra uma vazão média de 2.733 m³/s, enquanto Barranco Branco apresenta 2.323 m³/s, evidenciando uma diferença de 410 m³/s entre essas estações.

Por outro lado, Barranco Branco apresenta vazão média superior a Porto Esperança entre os meses de agosto a fevereiro, justamente nos quais há a redução da vazão média geral em ambas as estações e o início do período de seca. No mês de setembro, Barranco Branco apresenta vazão de 2.377 m³/s, enquanto Porto Esperança apresenta 2.040, uma diferença de 336 m³/s. A diferença de vazão superior a 150 m³/s em Barranco Branco frente a Porto Esperança mantém-se entre os meses de agosto a outubro (Tabela 4).

Mês	Porto Esperança (m ³ /s)	Barranco Branco (m ³ /s)	Estação com maior vazão	Diferença (m³/s)
Jan	1628	1740	Barranco Branco	112
Fev	1882	1925	Barranco Branco	43
Mar	2220	2113	Porto Esperança	107
Abr	2733	2323	Porto Esperança	410
Mai	2981	2574	Porto Esperança	407
Jun	3035	2718	Porto Esperança	317
Jul	2837	2750	Porto Esperança	87
Ago	2454	2645	Barranco Branco	191
Set	2040	2377	Barranco Branco	336
Out	1683	1974	Barranco Branco	291
Nov	1487	1632	Barranco Branco	145
Dez	1494	1575	Barranco Branco	81
Vazão Média Histórica	2206	2196	Porto Esperança	11

Tabela 4 – Vazão mensal média histórica entre as estações fluviométricas de Porto Esperança e Barranco Branco.

Fonte: ANA (2024). Organizada pelo autor.

A diferença de vazão entre Porto Esperança e Barranco Branco pode ser explicada por quatro fatores principais: a geomorfologia da área, a localização das estações hidrométricas, a presença de gargalos hidráulicos e confinamentos estruturais e a forma como a onda de inundação se distribui ao longo da planície fluvial.

O primeiro fator, a geomorfologia da região, é determinante para a dinâmica hidrológica observada. A área adjacente ao cinturão de meandros atual, categorizada por Kuerten (2010) como uma planície aluvial degradacional, é dividida em dois compartimentos principais: a primeira área (P-1) situada entre a margem esquerda do cinturão de meandros atual do rio Paraguai e a margem direita do paleocinturão de meandros do Nabileque; a segunda (P-2) localizada entre a margem direita do cinturão de meandros atual do rio Paraguai e os setores distais dos megaleques dos rios Tucavaca e Pilcomayo, como pode ser observado na Figura 7 (p. 35).

Na planície aluvial degradacional P-1, são identificados diversos canais secundários responsáveis por drenar parte das águas das inundações, com destaque para o rio Nabileque e os corixos Veado Gordo e São Sebastião (Figura 16A). Já planície aluvial degradacional P-2, destacam-se um conjunto de canais secundários e vazantes com orientação NE-SW, dos quais se podem citar os corixos da Canoa e do Jacaré e os rios Verde, Novo e Negro (Figura 13). Nos períodos de cheias, esses dois compartimentos da planície aluvial degradacional atuam como bacias de inundação, retendo grandes volumes de água e liberando-a de forma gradual ao longo do período seco, o que influencia diretamente a descarga líquida do rio Paraguai e as diferenças de vazão entre as estações analisadas, como pode ser observado na Figura 25.

O segundo fator refere-se à posição das estações dentro dessa estrutura geomorfológica. A estação de Porto Esperança está localizada a jusante da confluência com o rio Miranda e do Corixo Mutum, dois importantes tributários da margem esquerda do rio Paraguai, que contribuem significativamente para o aumento da vazão nesse trecho. No entanto, Porto Esperança está a montante do rio Nabileque, um canal que drena parte da água do rio Paraguai para a planície aluvial (Kuerten, 2010). Assim, Porto Esperança recebe contribuições diretas de tributários sem registrar grandes perdas para a planície, o que justifica os valores mais elevados de vazão durante o período de cheia. Já Barranco Branco, localizado a jusante, sofre os efeitos da redistribuição da onda de inundação e da drenagem lateral para a planície aluvial degradacional, resultando em uma redução da vazão máxima observada.

O terceiro fator envolve a presença de gargalos hidráulicos e confinamentos estruturais na região. Barranco Branco está situado em uma área onde o Pantanal é confinado a oeste pelos depósitos sedimentares do megaleque do rio Pilcomayo e a leste por terraços aluviais quaternários (IBGE, 2018). Além disso, a estação encontra-se nas proximidades do Fecho dos Morros, um dos mais significativos gargalos hidráulicos do Pantanal, que atua como uma barreira natural, restringindo o escoamento e promovendo o armazenamento de água na planície. Esse confinamento reduz a variação da vazão em Barranco Branco, amortecendo os picos de cheia e garantindo maior estabilidade ao longo do ciclo hidrológico.



Figura 25 – Propagação da onda de inundação do rio Paraguai entre as estações de Porto Esperança e Barranco Branco.

Fonte: banda 5 do satélite Landsat-5, sensor TM, de 1988.

Dessa forma, o armazenamento das águas de cheia ao longo da planície aluvial degradacional contribui para a atenuação do pico de inundação que poderia ser registrado em Barranco Branco, promovendo um efeito de regularização do fluxo, conforme discutido por Stevaux *et al.* (2020). Esse efeito é evidenciado pela menor variação entre as vazões máximas e médias observadas nesta estação em comparação com as demais da área de estudo, especialmente em relação a Porto Esperança (Tabela 5). Enquanto na estação de Porto Esperança a relação entre a vazão máxima histórica e a vazão média histórica é de 1,38, em Barranco Branco esse valor é de apenas 1,25, sendo o menor índice registrado entre as quatro estações hidrométricas analisadas. Esse padrão sugere que a planície de inundação atua como um regulador hidrológico, amortecendo os picos de vazão durante a cheia e liberando gradativamente o excedente de água ao longo do período de recessão, resultando em uma menor amplitude de variação na vazão ao longo do ciclo hidrológico.

Parâmetro	Porto da Manga	Porto Esperança	Barranco Branco	Porto Murtinho				
Vazão média mensal histórica	1921	2206	2196	2537				
Vazão máxima mensal histórica	2653	3035	2750	3309				
Vazão mínima mensal histórica	1255	1487	1575	1765				
Vazão máxima mensal histórica/vazão média mensal histórica	1,38	1,38	1,25	1,30				

Tabela 5 – Análise da vazão média mensal histórica nas estações hidrométricas analisadas.

Fonte: ANA (2024). Organizada pelo autor.

A relação entre a Vazão Máxima Histórica e a Vazão Média Histórica é uma adaptação metodológica proposta neste estudo, baseada na abordagem de Latrubesse, Stevaux e Sinha (2005). Enquanto esses autores utilizaram a razão entre a descarga máxima anual e a descarga média anual (Qmax/Qmean), aqui a métrica foi aplicada considerando os valores médios ao longo de toda a série histórica disponível. Essa adaptação visa fornecer um parâmetro auxiliar para a quantificação da variabilidade da descarga líquida ao longo do tempo, permitindo uma análise mais integrada do regime hidrológico do rio Paraguai.

Dessa forma, quanto maior o valor dessa relação, maior a variabilidade hidrológica, indicando um sistema com picos elevados de vazão durante os períodos de cheia e valores significativamente reduzidos durante os períodos de estiagem. Por outro lado, quanto menor o produto dessa relação, mais regular se apresenta o regime de escoamento, caracterizado por uma menor diferença entre os fluxos sazonais. Essa métrica, portanto, contribui para a avaliação

da capacidade de regularização do fluxo em diferentes segmentos do rio Paraguai, especialmente nos trechos onde a interação entre canal e planície desempenha um papel determinante na distribuição das águas ao longo do ciclo hidrológico.

Essa relação também contribui para explicar porque a estação de Barranco Branco apresenta vazões superiores a Porto Esperança durante o período de estiagem. Como a onda de inundação é represada pelo gargalo hidráulico do Fecho dos Morros e armazenada ao longo da planície aluvial degradacional, o retorno gradual dessa água ao canal principal ocorre de forma mais lenta e prolongada. Esse processo garante que, mesmo com a redução da vazão média geral do sistema fluvial, a diminuição do fluxo em Barranco Branco ocorra a um ritmo mais moderado em comparação às demais estações hidrométricas da área de estudo. Esse comportamento é visível na Figura 24, que ilustra um gráfico mais suavizado para as vazões de Barranco Branco.

Dessa maneira, entre agosto e janeiro, Barranco Branco mantém vazões superiores às de Porto Esperança, o que evidencia o efeito da regularização da descarga líquida nesse trecho do rio Paraguai. Esse fenômeno é característico de sistemas fluviais onde há forte interação entre canal e planície de inundação, resultando em uma redistribuição temporal do fluxo, como observado por Macedo (2017) e Silva (2020) em outros trechos do próprio rio Paraguai. Assim, a regularização hidrológica observada em Barranco Branco reforça a importância da planície aluvial na modulação do regime de escoamento do rio Paraguai, demonstrando como a geomorfologia regional influencia diretamente os padrões hidrodinâmicos do sistema. Esse comportamento se repete a cada novo ciclo hidrológico, com Porto Esperança voltando a apresentar vazões superiores no período de cheia, quando o sistema recebe um maior volume de água.

Como abordado, a diferença de vazão entre Porto Esperança e Barranco Branco, tanto no período de cheia quanto no período de seca, expressa a complexidade do sistema fluvial que não pode ser compreendida por meio do conceito de *continuum* fluvial, nem apenas por meio do conceito de descontinuidade serial, apesar de apresentar algumas conexões. A melhor conceituação para a compreensão dessa complexidade se dá a partir da teoria da conectividade, uma vez que essa abordagem considera de forma integrada as interações entre os diferentes componentes do sistema fluvial, englobando não apenas a relação longitudinal entre os trechos do rio (como no conceito de *continuum* fluvial), mas também os processos laterais e verticais que envolvem a planície de inundação, os afluentes e as trocas hidrossedimentares ao longo do tempo (Amoros; Roux, 1988).

Enquanto a teoria do continuum fluvial enfatiza um fluxo progressivo e contínuo de água e sedimentos ao longo do rio, e a teoria da descontinuidade serial reconhece a existência de perturbações que alteram esse padrão, a teoria da conectividade integra esses conceitos e os amplia, permitindo compreender como diferentes fatores geomorfológicos, estruturais e hidrológicos se interagem para modificar a dinâmica hidrológica ao longo do sistema. As variações temporais de vazão entre Porto Esperança e Barranco Branco são um exemplo fidedigno do papel da conectividade.

A esse respeito, no período de seca, o papel da conectividade torna-se ainda mais evidente que no período de cheia. Com a redução do aporte de água e a diminuição da vazão no canal principal, a planície aluvial degradacional, que atuou como uma área de armazenamento durante a cheia, passa a liberar gradativamente essa água de volta ao sistema fluvial. Assim, enquanto a vazão em Porto Esperança diminui mais rapidamente, Barranco Branco mantém vazões relativamente mais elevadas devido ao efeito de retroalimentação da planície de inundação, evidenciando a importância da conectividade lateral e vertical para a regulação do regime hidrológico do rio Paraguai.

Em continuidade, a diferença de vazão entre a estação de Barranco Branco e Porto Murtinho, representam outro exemplo satisfatório de conectividade no sistema fluvial, indicando que o balanço hidrológico do rio Paraguai não é linear, mas fortemente condicionado pela interação entre o canal e a planície de inundação. Entre as citadas estações, observa-se um aumento significativo da vazão, especialmente nos meses de cheia, em Porto Murtinho, com acréscimos médios de 400 a 500 m³/s. Apesar de haverem aportes hídricos a desaguar no rio Paraguai entre Barranco Branco e Porto Murtinho, inclusive com alguns fluxos acanalados em sua margem esquerda (rios Tererê, Tarumã e Amonguijá), é possível supor que estes não seriam suficientes para manterem uma diferença de vazão tão significativa e permanente (Tabela 6).

Mês	Barranco Branco (m ³ /s)	Porto Murtinho (m³/s)	Estação com maior vazão	Diferença (m ³ /s)
Jan	1740	1930	Porto Murtinho	191
Fev	1925	2156	Porto Murtinho	231
Mar	2113	2391	Porto Murtinho	278
Abr	2323	2635	Porto Murtinho	312
Mai	2574	3016	Porto Murtinho	442
Jun	2718	3276	Porto Murtinho	558
Jul	2750	3309	Porto Murtinho	559

Tabela 6 – Vazão mensal média histórica entre as estações fluviométricas de Barranco Branco e Porto Murtinho.

Mês	Barranco Branco (m³/s)	Porto Murtinho (m³/s)	Estação com maior vazão	Diferença (m³/s)
Ago	2645	3142	Porto Murtinho	497
Set	2377	2758	Porto Murtinho	381
Out	1974	2241	Porto Murtinho	267
Nov	1632	1819	Porto Murtinho	187
Dez	1575	1765	Porto Murtinho	191

Tabela 6 – Continuação.

Fonte: ANA (2024). Organizada pelo autor.

A hipótese levantada para explicar a diferença de vazão entre Barranco Branco e Porto Murtinho está diretamente relacionada aos controles estruturais e à geomorfologia da área, refletindo processos complexos de conectividade hidrológica. Como evidenciado na Figura 26, observa-se que, em períodos de cheia, a geomorfologia do cinturão de meandros confinado próximo a Barranco Branco atua como um corredor de drenagem preferencial para as águas represadas a montante. Esse processo sugere que uma parcela significativa do fluxo não é integralmente registrada pela estação hidrométrica, uma vez que a água escoa lateralmente para a planície de inundação, retornando ao canal em áreas a jusante da estação.





Fonte: imagens orbitais do satélite Landsat-5, sensor TM, de junho e outubro de 1988.

Essa dinâmica de escoamento e redistribuição da vazão entre canal e planície é um dos principais fatores que reforçam o papel da conectividade lateral no sistema fluvial do rio Paraguai. Durante os períodos de cheia, a planície aluvial assume uma função de armazenamento temporário, com parte do fluxo sendo dissipado para áreas adjacentes, resultando na redução da vazão medida na estação de Barranco Branco. Esse comportamento é semelhante ao descrito por Macedo (2017) para a estação de Ladário, onde a dispersão do fluxo pela planície aluvial altera significativamente os registros hidrométricos, mascarando o real volume de água transportado pelo sistema.

Adicionalmente, a configuração geomorfológica do cinturão de meandros entre Barranco Branco e Porto Murtinho favorece a recarga da vazão no rio Paraguai nos períodos de seca. O cinturão de meandros apresenta extensas áreas de retenção hídrica, formadas por depressões topográficas e antigos canais abandonados, que atuam como reservatórios sazonais, com destaque as espiras de meandros, lagoas e canais secundários, especialmente no segmento de Porto Murtinho. Durante a transição entre o período úmido e o seco, essas áreas funcionam como importantes fontes de retroalimentação do sistema fluvial, contribuindo para a manutenção da descarga líquida do rio Paraguai. Essa dinâmica é observada em diversos grandes sistemas aluviais, onde a conectividade entre canal e planície exerce forte controle sobre a variação temporal da vazão (Junk *et al.*, 1989; Stevaux; Martins; Meurer, 2009).

Dessa forma, a diferença entre os padrões de escoamento nos períodos de cheia e seca evidencia que a conectividade do sistema fluvial do rio Paraguai é altamente influenciada pela relação entre os controles estruturais e a interação entre canal e planície (Macedo *et al.*, 2019). Durante a cheia, a estação de Barranco Branco pode não captar integralmente o volume de água devido à dispersão do fluxo, enquanto no período de seca a recarga progressiva da planície mantém a vazão relativamente estável. Assim, compreender essa dinâmica de conectividade hidrológica é fundamental para a caracterização do balanço hidrológico do rio Paraguai e a interpretação adequada dos dados de vazão ao longo das estações hidrométricas.

Outro aspecto relevante identificado na análise é a semelhança entre os períodos de seca registrados no início das décadas de 1970 e 2020. Ao considerar e padronizar as séries históricas de Porto da Manga e Porto Murtinho para o intervalo de 1970 a 2024, verificou-se que dois períodos de baixa vazão com dados relativamente compatíveis, tanto no início da década de 1970, como no início da década de 2020, indicando a recorrência de eventos hidrológicos extremos ao longo do tempo, por meio da série histórica de dados disponíveis. Como observado na Figura 27, esses períodos apresentam similaridades em termos de redução da vazão e duração dos eventos, sugerindo a recorrência de secas severas no sistema fluvial ao longo do tempo,

com uma diferença de 50 anos. No entanto, algumas diferenças importantes foram identificadas, principalmente quanto à intensidade, duração e recuperação da vazão após os períodos críticos, o que carece de maior aprofundamento em relação ao período de seca da década de 2020 que ainda se prolonga.



Figura 27 - Vazão mensal média histórica nas estações de Porto da Manga e Porto Murtinho.

Fonte: ANA (2024). Dados organizados pelo autor considerando o intervalo de 1970 a 2024.

Os dados indicam que a seca da década de 1970 ocorreu entre os anos de 1970 e 1973, com uma recuperação mais abrupta e significativa a partir de 1974. Já a seca da década de 2020 apresenta uma duração mais prolongada, com baixos índices de vazão registrados entre 2020 e 2023, sem sinais claros de recuperação completa até o final do período analisado. Esse comportamento sugere que, enquanto a seca da década de 1970 pode ter sido um evento hidrológico extremo pontual, a seca da década de 2020 pode estar inserida em um contexto de mudanças climáticas mais amplas, caracterizado por uma intensificação da variabilidade hidrológica na região (Marques *et al.*, 2024).

Além disso, a recuperação da vazão após os períodos de seca apresenta padrões distintos entre as duas décadas. Em 1974, observa-se um aumento abrupto da vazão, especialmente na estação de Porto Murtinho, sugerindo que a bacia hidrográfica conseguiu recuperar rapidamente seus níveis hídricos, possivelmente devido a uma combinação de fatores climáticos e hidrológicos favoráveis, como um regime pluviométrico acima da média e a recarga eficiente

da planície de inundação. Em contrapartida, na década de 2020, a recuperação foi mais lenta e menos acentuada, com valores de vazão ainda reduzidos. Apenas a partir de 2023 é que se observam valores mais próximos e, em alguns momentos, até mesmo superiores à média histórica, como evidenciado na Figura 28.



Figura 28 – Vazão média mensal nas estações de Porto da Manga e Porto Murtinho nos anos de 1970 e 2020.

Fonte: ANA (2024). Organizado pelo autor. Vazão média histórica calculada a partir de dados mensais de toda a série histórica (1970 a 2024).

Outro aspecto relevante da análise diz respeito à possível associação entre os períodos de seca e fenômenos climáticos globais. A recorrência desses eventos sugere que padrões hidrológicos cíclicos podem influenciar a disponibilidade hídrica no rio Paraguai e no Pantanal como um todo. A coincidência entre os períodos de menor vazão identificados neste estudo e a

ocorrência de grandes incêndios florestais (Souza, 2023) reforça a hipótese de que a região tem enfrentado um período de redução na disponibilidade hídrica, o que também é evidenciado por mapeamentos recentes do uso e cobertura da terra (Mapbiomas, 2024). No entanto, os dados disponíveis e o estado atual do conhecimento científico não permitem estabelecer com precisão uma relação direta entre esses eventos hidrológicos locais e variações climáticas de grande escala, como os fenômenos El Niño e La Niña (Ferreira, 2021) e as mudanças climáticas associadas ao aquecimento global.

Por outro lado, projeções climáticas futuras indicam que o Pantanal tende a enfrentar um clima progressivamente mais seco e quente (Pereira *et al.*, 2024), o que pode acentuar o déficit hídrico já existente e impactar diretamente o balanço hídrico da planície. Nesse cenário, espera-se uma redução das áreas úmidas, acompanhada pelo avanço de formações vegetacionais típicas de ambientes mais secos, como savanas e áreas sub-úmidas (Lorençone *et al.*, 2022). Essas transformações podem ter implicações significativas para a dinâmica hidrológica do sistema fluvial do rio Paraguai, bem como para o uso e cobertura da terra na região.

Dessa forma, a análise hidrológica do rio Paraguai, com base nas quatro estações hidrométricas estudadas, evidencia uma dinâmica fluvial complexa, caracterizada por um padrão sazonal bem definido, influências diretas da planície de inundação e variações no balanço hídrico ao longo do trecho analisado. As discrepâncias observadas entre as vazões de Porto Esperança e Barranco Branco ressaltam a importância de compreender os processos de perda e ganho de água ao longo do canal, enquanto a identificação de tendências de seca em diferentes períodos históricos reforça a necessidade de monitoramento contínuo para prever eventos hidrológicos críticos.

5.3.2 Coletas In loco

Ao longo do trecho estudado, as coletas realizadas *in loco* evidenciaram que o rio Paraguai manteve um regime de fluxo predominantemente turbulento, com valores do número de Reynolds muito superiores a 2.500 (Tabela 7). Conforme destacado nos materiais e métodos, esse resultado já era esperado, uma vez que fluxos laminares são raros em condições naturais (Stevaux; Latrubesse, 2017). Em relação ao número de Froude, o fluxo foi classificado como subcrítico ou tranquilo, pois permaneceu abaixo de 1 tanto no período de cheia quanto no de seca. A comparação entre os dois períodos revelou pouca variação no regime de fluxo, com a cheia apresentando valores ligeiramente mais elevados tanto para o número de Reynolds quanto para o número de Froude, o que também era esperado. No entanto, nos cinturões de meandros de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros, os valores do número de Froude foram mais altos no período de seca em comparação à cheia, sugerindo a influência de características geomorfológicas locais na distribuição da energia do fluxo ao longo do canal.

Segmento	Secõo	Che	ia	Seca		
Geomorfológico	Seçao	Re	F	Re	F	
CmPE	PAR-1	5,6x10 ⁶	0,078	$2,5x10^{6}$	0,093	
CmPE	PAR-2	$4,2x10^{6}$	0,081	1,8x10 ⁶	0,102	
CmPE	MIR	$2,2x10^{6}$	0,052	0,8x10 ⁶	0,07	
CmPE	1	7,7x10 ⁶	0,071	$3,4x10^{6}$	0,048	
CmPE	2	3,6x10 ⁶	0,072	1,6x10 ⁶	0,102	
CmPE	3	$3,7x10^{6}$	0,066	$2,1x10^{6}$	0,083	
CmPE	4	6,4x10 ⁶	0,075	3,0x10 ⁶	0,068	
CmFC	5	6,3x10 ⁶	0,068	2,9x10 ⁶	0,067	
CmFC	6	$4,2x10^{6}$	0,068	$2,0x10^{6}$	0,078	
CmFC	7	$4,9x10^{6}$	0,075	$3,7x10^{6}$	0,082	
CmFC	8	7,2x10 ⁶	0,069	3,5x10 ⁶	0,065	
CmFC	9	5,0x10 ⁶	0,067	3,0x10 ⁶	0,077	
CmFC	10	6,3x10 ⁶	0,078	2,5x10 ⁶	0,069	
CmBN	11	8,5x10 ⁶	0,082	3,8x10 ⁶	0,062	
CmBN	12	7,3x10 ⁶	0,08	$3,7x10^{6}$	0,066	
CmBN	13	8,3x10 ⁶	0,086	4,5x10 ⁶	0,064	
CmBN	14	5,5x10 ⁶	0,077	3,0x10 ⁶	0,078	
CmBN	15	10x10 ⁶	0,065	$4,8x10^{6}$	0,055	
CmBN	16	5,8x10 ⁶	0,067	3,5x10 ⁶	0,047	
CmBB	17	5,8x10 ⁶	0,076	$2,8x10^{6}$	0,074	
CmBB	18	9,6x10 ⁶	0,066	$4,8x10^{6}$	0,044	
CmBB	19	5,9x10 ⁶	0,074	$2,9x10^{6}$	0,067	
CmBB	20	10x10 ⁶	0,074	$4,9x10^{6}$	0,062	
CmBB	21	9,3x10 ⁶	0,048	$4,4x10^{6}$	0,056	
CmBB	22	5,0x10 ⁶	0,074	$2,6x10^{6}$	0,033	
CmBB	23	5,0x10 ⁶	0,082	2,3x10 ⁶	0,072	
CmBB	NAB	1,5x10 ⁶	0,06	$0,4x10^{6}$	0,068	
CmFM	24	3,8x10 ⁶	0,065	1,5x10 ⁶	0,086	
CmFM	25	7,0x10 ⁶	0,052	3,5x10 ⁶	0,08	
CmPM	PAR-3	8,5x10 ⁶	0,046	$4,7x10^{6}$	0,034	
CmPM	AMON	$0,1x10^{6}$	0,012	$0,2x10^{6}$	0,005	

Tabela 7 – Número de Reynolds e no número de Froude calculado a partir de coletas *in loco* para o período de cheia e de seca.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma hipótese para os cinturões de meandros de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros apresentarem valores mais elevados do número de Froude no período de seca, em comparação à cheia, pode estar relacionada às variáveis que compõem esse parâmetro. Considerando que o número de Froude é determinado principalmente pela relação entre a velocidade do fluxo e a profundidade média do canal, a redução na profundidade do canal aliada a um aumento da velocidade do fluxo pode resultar em um incremento desse índice. Dessa forma, observou-se uma redução geral na velocidade média do fluxo em todos os segmentos geomorfológicos analisados durante o período de seca, em relação à cheia. No entanto, essa redução foi menos acentuada nos cinturões de meandros de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros. Paralelamente, também foi identificada uma diminuição generalizada na profundidade média do canal, sendo essa redução mais expressiva justamente nesses mesmos cinturões. Esse padrão indica que o aumento do número de Froude nesses trechos está associado à interação entre uma leve diminuição na velocidade do fluxo e uma redução significativa na profundidade do canal. Assim, embora a velocidade do fluxo também tenha diminuído, a redução acentuada na profundidade do canal compensa essa variação, resultando em um número de Froude mais elevado. A síntese das médias de velocidade e profundidade do canal pode ser observada na Tabela 8.

Segmento	Froude (F)			Velocidade Média (m/s)			Profundidade Média (m)		
Geomorfológico	Cheia	Seca	Dif.	Cheia	Seca	Dif.	Cheia	Seca	Dif.
CmPE	0,074	0,083	-0,009	0,623	0,528	0,095	7,47	4,56	2,92
CmFC	0,071	0,073	-0,002	0,638	0,523	0,115	8,09	5,28	2,82
CmBN	0,076	0,062	0,014	0,739	0,516	0,223	9,62	7,30	2,31
CmBB	0,071	0,062	0,009	0,693	0,489	0,204	9,85	7,43	2,42
CmFM	0,059	0,063	-0,004	0,539	0,429	0,110	9,19	5,98	3,21
CmPM	0,046	0,034	0,012	0,547	0,369	0,178	14,20	12,60	1,60

Tabela 8 – Número de Froude, velocidade média e profundidade média nos segmentos geomorfológicos mapeados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No contexto do rio Paraguai, a elevação do número de Froude nos cinturões de meandros de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros durante o período de seca sugere que esses trechos apresentam um escoamento relativamente mais rápido e turbulento, em relação à sua profundidade reduzida, embora ainda dentro do regime subcrítico. Esse comportamento pode indicar um aumento da declividade do canal e da energia específica do fluxo nesses segmentos, influenciando diretamente os processos erosivos e deposicionais. Nesse sentido, Kelniar (2014) destaca que a descarga de sedimentos tende a aumentar conforme o número de Froude se eleva, sugerindo que os cinturões de meandros mencionados possuem uma maior dinâmica de fluxo e transporte sedimentar.

Em relação à profundidade, todas as seções apresentaram índices maiores no período de cheia em relação à seca, como já era esperado. Considerando os segmentos geomorfológicos mapeados, a profundidade é maior nos cinturões de meandros de Porto Murtinho, Barranco Branco e Bahia Negra, indicando um padrão esperado de aumento da profundidade média

conforme o rio se desenvolve em direção a jusante (continuidade), como pode ser verificado na Figura 29.

Entretanto, um aspecto relevante identificado na análise é a quebra desse padrão no Cinturão de Meandros de Fecho dos Morros (CmFM), onde ocorre uma redução significativa da profundidade média, destoando dos demais segmentos analisados. Esse fenômeno caracteriza um processo de descontinuidade fluvial, sugerindo que esse trecho do rio Paraguai, além de ser confinado por lineamentos estruturais, encontra-se encaixado sobre um embasamento rochoso que restringe sua capacidade de aprofundamento. Localmente, as formações litológicas responsáveis por esse embasamento são conhecidas, não por coincidência, como Fecho dos Morros.

Figura 29 – Profundidade média do rio Paraguai ao longo do trecho estudado por segmentos geomorfológicos.



Fonte: Elaborada pelo autor. Profundidade média na cheia e na seca foi calculada considerando todas as medições obtidas ao longo do rio Paraguai no trecho analisado.

Além disso, a expressiva redução da profundidade do rio Paraguai nesse trecho, conforme evidenciado na Figura 29, ressalta o papel do Fecho dos Morros como um barramento natural para a onda de inundação, exercendo influência direta sobre a conectividade entre o canal e a planície de inundação. A presença de embasamentos litológicos limita significativamente o ajuste da geometria hidráulica do canal frente ao aumento da vazão, resultando em um processo de barramento e represamento das águas, que se acumulam ao longo

da planície aluvial degradacional, conforme apontado anteriormente. Dessa maneira, esse segmento se destaca como um dos principais gargalos hidráulicos do Pantanal (Stevaux *et al.*, 2020), desempenhando um papel crucial na dinâmica de fluxo e na redistribuição da carga sedimentar a jusante.

Ao analisar a largura do rio Paraguai, observa-se um padrão inverso ao da profundidade, com a largura média diminuindo ao longo do desenvolvimento do perfil longitudinal do canal. No entanto, o segmento de Fecho dos Morros impõe uma descontinuidade nessa tendência, visto que a largura se expande significativamente (Figura 30). Esse comportamento pode ser explicado como um ajuste da geometria hidráulica do canal ao aumento da vazão, uma vez que a profundidade não pode se expandir devido à presença do embasamento litológico. Assim, a ampliação da largura emerge como um mecanismo de compensação para manter o equilíbrio hidráulico do trecho.

900 800 700 600 Largura (m) 500 400 300 200 100 0 CmPE CmFC CmBN CmBB CmFM CmPM Largura na Cheia Largura na Seca -- Largura Média Geral na Cheia Largura Média Geral na Seca

Figura 30 – Largura média do rio Paraguai ao longo do trecho estudado por segmentos geomorfológicos.

Fonte: Elaborada pelo autor. Largura média na cheia e na seca foi calculada considerando todas as medições obtidas ao longo do rio Paraguai no trecho analisado.

Entretanto, a expansão da largura, tanto do canal, quanto do cinturão de meandros, também encontra limitações naturais, impostas diretamente pelo embasamento litológico e os controles estruturais, ou pelos depósitos sedimentares antigos e consolidados da área de entorno. Como consequência, ocorre um barramento das águas, resultando na propagação diferenciada da onda de cheia, conforme ilustrado na Figura 25. Esse cenário destaca a complexidade dos ajustes morfológicos do rio Paraguai, demonstrando que a dinâmica fluvial da região não pode ser explicada apenas por processos hidráulicos isolados, mas sim por uma interação entre fatores geológicos, geomorfológicos e hidrossedimentológicos.

Nesse contexto, a relação entre largura e profundidade constitui um parâmetro essencial para compreender o ajuste da geometria hidráulica do canal frente às variações na descarga líquida e, sobretudo, à influência de fatores externos ao sistema fluvial, como lineamentos estruturais e gargalos hidráulicos. Esses elementos exercem um papel determinante na morfodinâmica do rio, condicionando sua capacidade de acomodar fluxos e transportar sedimentos.

A título de esclarecimento, valores elevados da relação largura/profundidade indicam canais mais largos e rasos, geralmente associados a rios menos confinados, com menor declividade e reduzida capacidade de transporte de sedimentos mais grosseiros, como ocorre em canais entrelaçados (Leopold; Wolman, 1957). Esses trechos tendem a favorecer processos deposicionais, propiciando a formação de barras fluviais e bancos sedimentares (Riccomini; Coimbra, 1993). Por outro lado, valores reduzidos dessa relação indicam canais mais estreitos e profundos, muitas vezes associados a maior controle estrutural, como encaixamentos litológicos, ou a fluxos de maior energia, resultando em maior competência para o transporte de sedimentos, característica comum em rios anastomosados (Miall, 1977).

Contudo, a análise da relação largura/profundidade do rio Paraguai revela que valores elevados desse parâmetro nem sempre estão associados a trechos menos confinados. Pelo contrário, no trecho estudado, dois segmentos geomorfológicos fortemente confinados apresentam altos índices de largura/profundidade: os cinturões de meandros de Forte Coimbra e Fecho dos Morros (Figura 31). Além disso, pode-se incluir o cinturão de meandros de Porto Esperança nesse padrão, uma vez que sua largura é relativamente menor em comparação aos cinturões de Bahia Negra, Barranco Branco e Porto Murtinho.

Nos cinturões de meandros de Bahia Negra, Barranco Branco e Porto Murtinho, a relação largura/profundidade apresenta índices mais baixos. Nesses segmentos, predominam profundidades maiores, enquanto as larguras registradas estão, em sua maioria, próximas ou abaixo da largura média geral do trecho analisado. No entanto, em contraste com essa tendência, esses cinturões apresentam as maiores larguras absolutas entre os segmentos geomorfológicos mapeados. Além disso, a maior sinuosidade e maior curvatura dos meandros do canal sugerem menor confinamento e maior espaço para ajustes fluviais, o que diverge da tendência geralmente apontada na literatura científica.



Figura 31 – Relação largura/profundidade do rio Paraguai ao longo do trecho estudado por segmentos geomorfológicos.

Fonte: Elaborada pelo autor. Relação largura/profundidade média geral na cheia e na seca foi calculada considerando todas as medições obtidas ao longo do rio Paraguai no trecho analisado.

Por outro lado, os cinturões de meandros de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros apresentam valores elevados de largura/profundidade, caracterizados por menores profundidades e maiores larguras, conforme demonstrado nas Figuras 29 e 30. De acordo com a literatura científica, espera-se que trechos de rios com altos índices de largura/profundidade sejam menos confinados. No entanto, embora esses segmentos apresentem canais relativamente mais largos, eles exibem um maior grau de confinamento em seus cinturões de meandros, o que, à primeira vista, representa uma aparente descontinuidade em relação aos padrões esperados.

Uma hipótese plausível para essa aparente descontinuidade está na limitação da profundidade nesses segmentos, possivelmente decorrente da presença de embasamentos litológicos. Como forma de ajuste ao equilíbrio hidráulico do canal, a largura é ampliada, mesmo em trechos onde os cinturões de meandros apresentam maior confinamento. Dessa maneira, observa-se que a geometria hidráulica do canal responde mais diretamente a controles estruturais e litológicos do que à vazão propriamente dita. Essa dinâmica é reforçada pelo papel

preponderante do Fecho dos Morros como um gargalo hidráulico, condicionando a redistribuição da energia do fluxo e reorganizando toda a dinâmica hidrológica da região.

Essa adaptação da geometria hidráulica também influencia diretamente os processos de sedimentação e erosão ao longo do canal. Em trechos onde a profundidade é limitada e a largura do canal se expande, a dissipação da energia do fluxo pode favorecer a deposição de sedimentos mais finos, enquanto em áreas onde o confinamento estrutural é maior, a concentração da energia pode intensificar processos erosivos. Esse comportamento sugere que a relação largura/profundidade no rio Paraguai não pode ser analisada isoladamente, mas deve ser compreendida dentro do contexto dos controles estruturais e da interação entre o canal e a planície de inundação, evidenciando o papel do conceito de conectividade no entendimento do sistema fluvial do rio Paraguai. Na Tabela 9 são apresentados os valores de largura, profundidade e relação largura/profundidade nos períodos de cheia e seca ao longo das seções levantadas.

Sogmonto		Cheia			Seca			
Geomorfológico	Seção	Largura (m)	Profundidade (m)	Larg./ Prof.	Largura (m)	Profundidade (m)	Larg./ Prof.	
CmPE	PAR-1	441,5	7,56	58,40	459,8	4,0	115,0	
CmPE	PAR-2	661,9	6,02	109,95	688	3,01	228,6	
CmPE	MIR	96,2	5,47	17,59	102,8	2,44	42,1	
CmPE	1	355,9	10,3	34,55	354,1	7,97	44,4	
CmPE	2	797,2	5,9	135,12	765,5	2,88	265,8	
CmPE	3	767,3	6,34	121,03	592,2	3,84	154,2	
CmPE	4	416,2	8,72	47,73	393,3	5,65	69,6	
CmFC	5	434,4	8,92	48,70	436,4	5,48	79,6	
CmFC	6	647	6,86	94,31	640,6	3,88	165,1	
CmFC	7	569,5	7,09	80,32	352,1	5,68	62,0	
CmFC	8	371,2	9,87	37,61	359,1	6,45	55,7	
CmFC	9	559,2	7,67	72,91	407,9	5,19	78,6	
CmFC	10	441	8,14	54,18	492,3	4,98	98,9	
CmBN	11	327,1	9,54	34,29	318	7,01	45,4	
CmBN	12	387,5	8,69	44,59	332,7	6,65	50,0	
CmBN	13	317,4	9,53	33,31	278,9	7,78	35,8	
CmBN	14	479,4	7,63	62,83	428,3	5,09	84,1	
CmBN	15	243,8	13,7	17,80	248,8	9,11	27,3	
CmBN	16	468,2	8,6	54,44	333,6	8,18	40,8	
CmBB	17	468,2	7,97	58,75	446	4,99	89,4	
CmBB	18	274,5	12,1	22,69	238,5	10,6	22,5	
CmBB	19	470,9	8	58,86	418,6	5,68	73,7	
CmBB	20	253,5	11,9	21,30	242,7	9,15	26,5	
CmBB	21	270,2	14,8	18,26	287,1	12,7	22,6	
CmBB	22	535,8	7,33	73,10	484,9	4,94	98,2	

Tabela 9 – Largura, profundidade e relação largura/profundidade ao longo das seções levantadas *in loco*.

Segmento Geomorfológico	Seção	Cheia			Seca		
		Largura (m)	Profundidade (m)	Larg./ Prof.	Largura (m)	Profundidade (m)	Larg./ Prof.
CmBB	23	538,8	6,85	78,66	539,5	3,98	135,6
CmBB	NAB	88	3,8	23,16	63,8	1,6	39,9
CmFM	24	735,6	6,57	111,96	802,5	3,24	247,7
CmFM	25	390,9	11,8	33,13	327,9	8,72	37,6
CmPM	PAR-3	312,5	14,2	22,01	312,5	12,6	20,1
CmPM	AMON	119,2	2,63	45,32	45,3	1,22	37,1

Tabela 9 - Continuação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3.3 Balanço hidrológico no interior do canal

A análise da descarga líquida ao longo do rio Paraguai em diferentes períodos hidrológicos evidencia a complexidade desse sistema fluvial, que resulta da interação dinâmica entre hidrologia, geomorfologia, geologia e biota local. Essa configuração multidimensional não segue um padrão linear de continuidade fluvial, mas sim um arranjo altamente conectado e condicionado por múltiplos fatores ambientais. Assim, a compreensão da estrutura e do funcionamento do rio Paraguai depende do reconhecimento dessas conexões intrincadas, nas quais elementos físicos e ecológicos se inter-relacionam para moldar sua dinâmica hidrológica e sedimentar. A esse respeito, ao analisar a dinâmica hídrica do rio Paraguai no período de cheia, é perceptível um conjunto de características específicas que expressam a elevada conectividade entre canal-planície e planície-canal.

No segmento geomorfológico de Porto Esperança, observa-se a influência direta dos tributários na configuração da descarga líquida do rio Paraguai. Nesse segmento, diversos fluxos acanalados contribuem com volumes hídricos significativos, destacando-se o rio Miranda e o corixo Mutum (Figura 32), que evidenciam a relevância da bacia do rio Miranda na dinâmica hídrica local. No entanto, o principal fator para a dinâmica hidrológica dessa área é o rio Nabileque, que drena uma parcela considerável das águas do rio Paraguai, conforme apontado por Kuerten (2010). Dados levantados durante o período de cheia indicam que o rio Nabileque é responsável por escoar até 64 m³/s do rio Paraguai, correspondendo a 3% da vazão do canal nesse trecho. Considerando que a medição foi realizada em 2023, um período em que a vazão do rio Paraguai ainda se mantinha relativamente baixa, é plausível que, em cheias de maior magnitude, o rio Nabileque drene um volume hídrico ainda mais expressivo.



Figura 32 – Padrão hídrico do rio Paraguai ao longo do trecho estudado durante o período de cheia.

Fonte: Elaborada pelo autor. Levantamento in loco realizado durante a cheia de 2023.

No segmento de Forte Coimbra, a dinâmica hidrológica é predominantemente influenciada pela atuação de canais secundários e fluxos planície-canal, caracterizando o segmento como um padrão de drenagem tributário. Esse comportamento é evidenciado pelo aumento da vazão média em 50 m³/s ao longo do trecho. No entanto, variações locais na descarga líquida são notáveis. Por exemplo, a jusante de Forte Coimbra, observa-se uma redução significativa na vazão, da ordem de 70 m³/s, o que pode estar relacionado à presença de canais secundários localizados à margem esquerda do cinturão, que aparentemente drenam parte das águas do canal para a planície aluvial degradacional adjacente (Figura 33A). Em contrapartida, nas proximidades do fim do segmento, o rio Paraguai apresenta aumentos substanciais na vazão. Como não há presença de canais secundários conectados diretamente ao canal ou ao cinturão de meandros nessa área, esse incremento sugere a ocorrência de fluxos advindos da planície para o canal a partir de sua margem direita, conforme demonstrado na Figura 33A.

No segmento de Bahia Negra, observa-se um padrão de drenagem distributária, caracterizado pelo papel significativo desempenhado pelos canais secundários impressos na planície aluvial adjacente. Esses canais são responsáveis pela redução na vazão média ao longo do segmento, evidenciando a perda de descarga do canal principal para a planície. No início do

segmento, os canais secundários drenam parte do fluxo do rio Paraguai, o que se reflete na expressiva diminuição da vazão nesse trecho (Figura 33B). No entanto, a jusante, ainda dentro do segmento de Bahia Negra, esses mesmos canais restituem parte da água ao cinturão de meandros, resultando em um aumento na vazão média ao final do trecho analisado. Dentre os principais canais secundários responsáveis por essa redistribuição hídrica destacam-se os corixos Veado Gordo e São Sebastião, que desempenham um papel fundamental na conectividade entre o canal e a planície de inundação.

Figura 33 – Características locais que influenciam o padrão hídrico do Rio Paraguai no período de cheia.



Fonte: Imagem do satélite Landsat-8, sensor OLI, de 2023. Cores no canal conforme legenda apresentada na Figura 31.

O segmento de Barranco Branco apresenta uma leve redução em sua vazão média, permitindo sua categorização como um trecho de drenagem distributária. No entanto, esse segmento se destaca por apresentar elevadas variações locais na vazão, com diferenças que podem ultrapassar os 200 m³/s. A análise de imagens orbitais não evidencia a presença de sistemas de canais secundários capazes de drenar volumes expressivos de descarga líquida (Figura 33C). Assim, considerando a ampla largura do cinturão de meandros e a significativa

presença de corpos d'água superficiais em suas espiras de meandros, pressupõe-se que os fluxos canal-planície constituem o principal mecanismo de redistribuição das águas nesse trecho.

Entretanto, o elemento mais determinante para a configuração hídrica desse segmento é a foz do rio Nabileque, que contribui com um aporte significativo de descarga líquida, alcançando até 129 m³/s. Apesar desse acréscimo, observa-se uma redução acentuada na vazão média na seção levantada nas proximidades de Barranco Branco, o que pode estar relacionado à geometria hidráulica da seção e à dinâmica do fluxo local, como apontado na análise da vazão nas estações hidrométricas. Tal situação, pode remeter à ocorrência de efeito remanso, com o represamento de parte do aporte hídrico a montante. Tal ocorrência é ratificada tendo em vista que a velocidade do fluxo diminui cerca de 30% na seção levantada em Barranco Branco, em relação à seção levantada a montante, mesmo com maior disponibilidade hídrica. Ocorrência semelhante é percebida no rio Paraguai na região de Descalvados, no qual a velocidade do fluxo do canal também se reduz nos períodos de cheia (Silva, 2010).

No cinturão de meandros de Fecho dos Morros, observa-se um pequeno aumento na vazão média, embora variações locais da descarga líquida sejam registradas ao final do segmento. Esse comportamento pode estar associado à interação entre o canal e a planície, bem como à influência dos lineamentos estruturais que caracterizam essa região. A presença de embasamento litológico, já discutida anteriormente, pode condicionar os padrões de escoamento ao restringir a profundidade do canal, favorecendo fluxos redistributivos entre o canal e a planície.

Neste sentido, a tendência de redução da descarga líquida se mantém no segmento de Porto Murtinho, onde a seção levantada nas proximidades da cidade homônima registrou uma das menores vazões durante o período analisado. Esse padrão sugere uma predominância de fluxos canal-planície, evidenciada pela ampla extensão do cinturão de meandros e pela presença expressiva de águas superficiais armazenadas nas espiras de meandros abandonados (Figura 33D). Esse armazenamento temporário pode atuar como um mecanismo regulador da descarga líquida, reduzindo os volumes de água efetivamente escoados pelo canal principal e promovendo uma redistribuição sazonal da vazão ao longo da planície aluvial.

Considerando os padrões hídricos identificados e suas particularidades locais, foi elaborado um balanço hidrológico do rio Paraguai ao longo da área de estudo. Esse balanço baseia-se na análise da variação da descarga líquida entre seções transversais consecutivas levantadas *in loco*, permitindo inferir os processos de ganho ou perda de água ao longo do trecho estudado. Quando a vazão registrada na seção a jusante é maior do que na seção a montante, indica-se a ocorrência de aporte hídrico ao canal principal (drenagem tributária). Por

outro lado, quando a vazão diminui na seção a jusante, considera-se que há perda de água do canal (drenagem distributária) (Silva, 2020). O balanço hidrológico do rio Paraguai no trecho estudado para o período de cheia pode ser observado na Figura 34.



Figura 34 – Balanço hidrológico no rio Paraguai durante o período de cheia.

Fonte: Elaborada pelo autor. Imagem de fundo refere-se ao satélite CBERS-4A, sensor WFI.

No período seco, a análise da variação da vazão ao longo do rio Paraguai revela uma dinâmica diferenciada em relação à cheia, refletindo as interações complexas entre o canal e sua planície de inundação. Em diversos trechos, padrões hídricos observados na cheia se invertem na seca, evidenciando a forte influência da conectividade lateral e das trocas de água entre o canal e a planície aluvial.

No cinturão de meandros de Porto Esperança, a influência do rio Miranda e do corixo Mutum na manutenção da vazão do rio Paraguai é constante, destacando-se como os principais responsáveis pelo aumento da descarga líquida no segmento. Como ilustrado na Figura 35, esses tributários desempenham um papel essencial na sustentação da vazão do canal, particularmente durante os períodos de estiagem, mas não somente. Contudo, enquanto na cheia observa-se uma redução no aporte hídrico a jusante de Porto Esperança, intensificada pela entrada do rio Nabileque e pelo início do processo de redistribuição das águas para a planície aluvial, no período seco, esse trecho continua recebendo contribuições hídricas, possivelmente devido à recarga progressiva da planície.



Figura 35 – Padrão hídrico do rio Paraguai ao longo do trecho estudado durante o período de

Fonte: Elaborada pelo autor. A cor azul indica trechos com ganho de vazão; a cor vermelha indica trechos com redução na descarga líquida; a cor roxa indica localização de estações hidrométricas no trecho.

A redução da vazão na região próxima à entrada do rio Nabileque é um fenômeno recorrente, presente tanto no período seco quanto no período de cheia, embora seja mais acentuada durante as cheias. Esse comportamento reforça a importância desse trecho como um dos principais pontos de redistribuição da água ao longo do sistema, destacando a influência dos processos de drenagem distributária na configuração do balanço hídrico do rio Paraguai no Pantanal. Em continuidade, o trecho localizado a jusante do rio Nabileque até as proximidades de Forte Coimbra apresenta um padrão de aumento na vazão tanto no período seco quanto no período de cheia. Esse comportamento sugere que esse segmento funciona predominantemente como uma região de drenagem tributária.

Já no trecho compreendido entre Forte Coimbra e as proximidades de Bahia Negra, observa-se uma tendência geral de diminuição da vazão, indicando a predominância de processos de drenagem distributária. Essa redução está associada à atuação de canais secundários que redistribuem parte da descarga líquida do rio Paraguai para a planície de inundação (Figura 33A). No entanto, apesar dessa tendência de perda hídrica, são perceptíveis variações locais positivas na vazão ao longo desse trecho, o que reflete a ocorrência de fluxos da planície para o canal. Esses aportes, no entanto, são relativamente pequenos e não chegam a modificar significativamente a dinâmica hídrica geral do segmento.

No cinturão de meandros de Bahia Negra, observam-se constantes variações locais na vazão entre os períodos de cheia e seca, refletindo a elevada conectividade entre canal e planície de inundação, além da atuação expressiva de canais secundários (Figura 33B). Durante o período de cheia, a vazão no cinturão de Bahia Negra mantém-se relativamente constante, sugerindo que os aportes hídricos recebidos e as perdas por drenagem distributária encontram um certo equilíbrio. Já no período seco, a descarga líquida apresenta uma redução substancial, indicando um predomínio dos processos de perda hídrica para a planície aluvial.

Uma hipótese para essa diferença está na atuação dos canais secundários na planície adjacente, especialmente o corixo Veado Gordo. Durante a cheia, esses canais parecem atuar como vias de drenagem da planície para o canal principal, trazendo contribuições hídricas da planície aluvial degradacional e da porção superior do cinturão de meandros. Em contrapartida, na estação seca, esses mesmos canais passam a atuar de forma inversa, drenando parte da vazão do rio Paraguai para a planície adjacente e acentuando a redução da descarga líquida.

Esse padrão de troca hídrica é ratificado pelo comportamento hidrológico observado no cinturão de meandros de Barranco Branco, onde a vazão volta a se expandir (Figura 36). Esse aumento sugere um retorno das águas para o canal principal, possivelmente devido à topografia do terreno e ao próprio regime hidrológico da planície de inundação. Assim, o cinturão de Bahia Negra se configura como um trecho de forte interação hidrológica, no qual a relação canal-

planície desempenha um papel determinante na regulação do fluxo do rio Paraguai ao longo do ciclo hidrológico anual.



Figura 36 - Balanço hidrológico no rio Paraguai durante o período de seca.

Fonte: Elaborada pelo autor. Imagem de fundo refere-se ao satélite CBERS-4A, sensor WFI.

A montante da confluência do rio Nabileque, observa-se uma redução na vazão do canal, tanto no período de cheia quanto na seca. Essa diminuição da descarga líquida sugere a existência de fluxos canal-planície, regulando a distribuição hídrica ao longo do trecho, visto que não foram identificados visualmente canais secundários de grande expressividade nas proximidades do cinturão de meandros (Figura 33C). Durante a cheia, esse processo pode ser intensificado pela elevação dos níveis d'água e pelo transbordamento do canal principal. Na estação seca, a redução da vazão no canal sugere que parte da água permanece armazenada na planície aluvial, possivelmente em lagoas temporárias e depressões da paisagem, retardando o retorno ao canal principal.

O trecho localizado na confluência do rio Nabileque apresenta um aumento na vazão média, tanto no período de cheia quanto na seca, evidenciando a importância desse tributário na dinâmica hidrológica do rio Paraguai. Durante a cheia, o rio Nabileque exerce um papel mais expressivo no aporte hídrico ao canal principal, com uma descarga líquida que atinge até 129 m³/s. No período seco, apesar da redução na vazão do rio Nabileque, sua contribuição para a manutenção da descarga líquida do rio Paraguai ainda é perceptível. Assim, percebe-se que a confluência do rio Nabileque desempenha um papel estratégico no padrão hídrico do rio Paraguai.

No entanto, o trecho localizado nas proximidades da estação hidrométrica de Barranco Branco apresenta um padrão hídrico marcadamente distinto entre os períodos de cheia e seca. Durante o período úmido, a seção levantada nesse trecho registra uma acentuada diminuição na vazão, com uma perda aproximada de 180 m³/s, a maior redução entre todas as seções medidas ao longo do trecho estudado. Esse comportamento pode indicar que, com o aumento do nível do canal, ocorre um desconfinamento do fluxo, resultando na dispersão das águas para além dos limites do canal ativo. Esse fenômeno impede que a medição capture toda a descarga líquida do sistema, refletindo uma subestimação da vazão real. Esse fenômeno pode estar associado à ocorrência de efeito remanso, possibilidade ratificada pela redução de 30% da velocidade média da seção medida em Barranco Branco em relação à seção medida a montante.

Por outro lado, no período de seca, observa-se o fenômeno inverso: a seção medida em Barranco Branco apresenta o maior aumento da vazão entre todas as seções levantadas nesse período, com um acréscimo de 83 m³/s. Esse padrão hídrico singular corrobora a análise das estações hidrométricas, que já apontavam uma variação distinta nesse trecho. Durante a cheia, o gargalo hidráulico representado pelo Fecho dos Morros atua como uma barreira natural, restringindo a passagem da onda de cheia e promovendo o armazenamento temporário da água na planície aluvial degradacional. Conforme a vazão do rio Paraguai diminui no período seco, as águas armazenadas na planície começam a retornar gradualmente ao canal principal, contribuindo para uma regulação da vazão no trecho de Barranco Branco. Esse processo se manifesta na forma de uma redução mais suave da vazão ao longo do período seco, contrastando com a queda mais acentuada observada em outras estações hidrométricas. Em outras palavras, a maior vazão registrada em Barranco Branco durante a estiagem não significa um aumento absoluto da descarga líquida em relação ao período de cheia, mas sim um reflexo do retorno das águas previamente armazenadas na planície aluvial degradacional.

A jusante de Barranco Branco, observa-se outra diferença marcante no padrão hídrico do rio Paraguai entre os períodos de cheia e seca. Durante a cheia, são registrados aumentos sucessivos na vazão até as proximidades do Fecho dos Morros, sugerindo a predominância de fluxos tributários e contribuições da planície para o canal. Já no período seco, a dinâmica se inverte: há uma contínua redução na vazão ao longo do trecho, uma tendência que se mantém até o cinturão de meandros de Porto Murtinho. Esse padrão sugere que, na estiagem, predominam fluxos por canais secundários, como corixos e vazantes, morfologias presentes no cinturão de meandros.

O próprio cinturão de meandros de Porto Murtinho exibe uma variação significativa no comportamento hidrológico entre os dois períodos analisados. Durante a cheia, é identificada uma redução na vazão, o que indica que parte do fluxo do canal é redistribuído para a planície. Esse comportamento pode estar associado à extensa rede de meandros abandonados e espiras de meandros que caracterizam esse cinturão, funcionando como reservatórios temporários de água. Em contrapartida, no período seco, ocorre um aumento da vazão nesse trecho, o que sugere um retorno gradual da água previamente armazenada na planície para o canal principal. Esse padrão reafirma a conectividade entre canal e planície e destaca como a hidrodinâmica do rio Paraguai está diretamente condicionada pela interação entre os diferentes compartimentos geomorfológicos ao longo de seu curso.

Dessa forma, o balanço hidrológico constitui uma ferramenta essencial para a compreensão da dinâmica hidrológica do rio Paraguai, pois permitiu quantificar as variações na descarga líquida ao longo do trecho analisado. A partir da análise comparativa entre as vazões medidas em diferentes seções transversais ao longo do canal, foi possível determinar a influência dos processos de troca hidrológica entre o canal e a planície, permitindo não apenas caracterizar a distribuição da água ao longo do sistema, mas também a magnitude e a frequência das interações entre o fluxo principal e os compartimentos geomorfológicos adjacentes.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica hidrológica do rio Paraguai ao longo do trecho estudado permitiu evidenciar a complexidade desse sistema fluvial, caracterizado por uma forte interação entre processos hidrológicos, geomorfológicos e estruturais. Os resultados obtidos demonstram que a variabilidade da vazão ao longo do canal não segue um padrão contínuo e linear, mas é fortemente influenciada pela relação entre o canal e a planície, pela presença de controles estruturais e pela segmentação geomorfológica do sistema.

Ao longo do estudo, ficou evidente que os padrões hidrológicos do rio Paraguai são modulados por uma intrincada rede de interações entre drenagens tributárias e distributárias, com distintos segmentos apresentando variações espaciais e temporais no balanço hidrológico. A conectividade entre canal e planície de inundação revelou-se um fator determinante na regulação do regime de vazão, influenciando diretamente a propagação da onda de cheia e o seu escoamento durante o período seco. Em segmentos como o de Barranco Branco, por exemplo, a interação hidrológica com a planície aluvial degradacional resultou em padrões de redistribuição da água que impactam diretamente a vazão do canal principal.

Os padrões identificados nos balanços hidrológicos de períodos distintos (cheia e seca) reforçam a necessidade de compreender o sistema fluvial do rio Paraguai sob o prisma da conectividade entre os diferentes compartimentos geomorfológicos, geológicos e hidrológicos. A alternância entre fluxos canal-planície e planície-canal ao longo do padrão hídrico reforça o papel da planície aluvial como um elemento regulador da vazão do sistema.

Além disso, a análise histórica das estações hidrométricas indicou a ocorrência de períodos de seca severos no início das décadas de 1970 e 2020, sugerindo padrões cíclicos na variabilidade hidrológica do rio Paraguai. No entanto, a seca mais recente apresenta características distintas, com uma recuperação da vazão mais lenta e prolongada, o que pode estar associado a mudanças climáticas de maior escala.

Dessa forma, este capítulo contribui para a ampliação do conhecimento sobre a dinâmica hidrológica do rio Paraguai, demonstrando que sua complexidade não pode ser compreendida apenas a partir de conceitos tradicionais de continuidade fluvial, mas deve ser analisada dentro de uma abordagem sistêmica, que integre aspectos hidrológicos, geomorfológicos, estruturais e ecológicos.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo geral analisar a dinâmica hidrológica do rio Paraguai e a geomorfologia de seu cinturão de meandros em um trecho importante na planície do Pantanal, identificando as interações entre a vazão, a geomorfologia e os controles estruturais que influenciam o comportamento do canal. Para isso, foram utilizados dados hidrométricos históricos, medições *in loco* e análises geomorfológicas, integrando diferentes abordagens metodológicas para a compreensão da hidrodinâmica do sistema.

A segmentação geomorfológica do rio Paraguai revelou-se uma abordagem essencial para compreender a complexidade de sua dinâmica hidrológica e morfológica ao longo do trecho estudado. A divisão do canal em cinturões de meandros permitiu identificar padrões distintos de ajuste hidráulico e sedimentar, evidenciando que cada segmento responde de maneira diferenciada às variações na descarga líquida, aos controles estruturais e à conectividade com a planície de inundação. Assim, a segmentação geomorfológica não apenas demonstrou a heterogeneidade morfológica do rio Paraguai, mas também ressaltou a importância dos condicionantes geológicos e hidrossedimentológicos na definição dos padrões fluviais, oferecendo subsídios valiosos para a gestão e conservação desse sistema dinâmico.

Em termos hidrológicos, a vazão do rio Paraguai não segue um padrão linear de continuidade fluvial, mas é fortemente condicionada por processos de conectividade entre o canal e a planície de inundação, além da influência de gargalos hidráulicos e estruturas geológicas que modulam sua dinâmica. O balanço hidrológico permitiu identificar trechos de drenagem tributária e distributária, evidenciando a redistribuição da descarga líquida ao longo do perfil longitudinal do rio. Esse comportamento foi particularmente evidente em segmentos como Barranco Branco, onde o Fecho dos Morros atua como uma barreira hidráulica que armazena a onda de cheia e libera a água de forma gradual durante o período seco, regulando a vazão do sistema.

A análise da relação largura/profundidade do canal revelou padrões inesperados. Enquanto a literatura sugere que valores elevados dessa relação estão associados a trechos menos confinados, os dados coletados indicaram que cinturões de meandros como os de Porto Esperança, Forte Coimbra e Fecho dos Morros apresentaram elevados índices de largura/profundidade, mesmo estando submetidos a maior controle estrutural. Esse resultado evidencia que os ajustes morfológicos do rio Paraguai são condicionados mais pela geologia e pela dinâmica hidrossedimentar do que pela simples adaptação à vazão. Outro aspecto relevante foi a identificação de padrões hidrológicos distintos entre os períodos de cheia e seca. Enquanto a cheia se caracteriza por uma redistribuição da onda de inundação para áreas adjacentes, no período seco ocorre um retorno gradual dessa água para o canal, sustentando a vazão em alguns trechos. Essa dinâmica reforça o papel da planície de inundação e controles estruturais como reguladores do regime hídrico do rio Paraguai, amortecendo picos de vazão e garantindo um fluxo mais estável ao longo do tempo.

Dessa forma, os objetivos gerais e específicos da pesquisa foram atingidos. Foi possível não apenas caracterizar a geomorfologia do cinturão de meandros por meio da segmentação, mas também a compreensão da dinâmica hidrológica do rio Paraguai. Além disso, as análises realizadas trouxeram contribuições significativas para a compreensão dos efeitos dos controles estruturais e da conectividade hidrológica no comportamento do rio. Por fim, este trabalho reforça a importância de abordagens integradas para o estudo de sistemas fluviais complexos como o rio Paraguai.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 50, n. 2 Especial, p.9-57, 1988. Disponível em: https://www.rbg.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/1212. Acesso em: 20 dez. 2024.

AB'SABER, A. N. **Brasil: paisagens e exceções**: o litoral e o Pantanal Mato-grossense, patrimônios básicos. 3. ed. Cotia-SP: Ateliê Editorial, 2011.

ALHO, C. J. R.; LACHER, T. E.; GONÇALVES, H. C. Environmental degradation in the Pantanal ecosystem. **Bioscience**, v. 38, n. 3, p. 164-171, mar, 1988. DOI: https://doi.org/10.2307/1310449.

ALMEIDA, M. A.; DA SILVA, C. J. As comunidades tradicionais pantaneiras da Barra de São Lourenço e Amolar, Pantanal, Brasil. **História e Diversidade**, v.1, p. 10 - 31, 2012.

ALVARENGA, S. M., BRASIL, A. E., DEL'ARCO, D. M. **Geomorfologia**. Projeto RadamBrasil. Folha SF-21-Campo Grande. Rio de Janeiro, MME, 28: 125-184, 1982.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R.; KUX, H. J. H. Estudo geomorfológico aplicado à Bacia do alto Rio Paraguai e Pantanais Matogrossenses. Projeto RADAM/ BRASIL, **Boletim Técnico**, Série Geomorfologia. Salvador, 187. p. 89-183. 1984.

AMOROS, C.; ROUX, A. L. Interactions between water bodies within the floodplain of large rivers: function and development of connectivity. In: Schereiber, K. F. (Ed.). **Connectivity in landscape ecology**. Munstersche Geographische Arbeiten, n. 29, p.125-130, 1988.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai**: Resumo Executivo. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2018. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/portal/SAS/PRH_Paraguai/PF-02_PRH_Paraguai_Resumo_Executivo.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

ANA - Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. **Base de dados Hidroweb**. Disponível em: http://hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em: 10 dezembro de 2024.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Anuário – **Região Hidrográfica em toneladas**. Brasília. Disponível em: http://web.antaq.gov.br/Anuario/. Acesso em 14 jul. 2020.

ARRUDA, G. (Org.). A natureza dos rios: história, memória e territórios. Curitiba: EDUFPR, 2008.

ASSINE, M. L. Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil. 2003. 115 f. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2003.

ASSINE, M. L.; MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C. R.; SILVA, A. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. In: BERGIER, I;

ASSINE, M. L (Orgs). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing Switzerland, 2015a. p 83-110. DOI:10.1007/978-3-319-18735-8

ASSINE, M. L.; MERINO, E. R.; PUPIM, F. N.; MACEDO, H. A.; SANTOS, M. G. M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 475-489, September, 2015b. DOI:10.1590/2317-4889201520150014.

ASSINE, M. L.; PADOVANI, C. R.; ZACHARIAS, A. A.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato- Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005. DOI: 10.20502/rbg.v6i1.43.

ASSINE, M. L.; SILVA, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, p. 189-199, 2009. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.012.

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, p. 23-34. 2004. DOI: 10.1016/S1040-6182(03)00039-9.

BAGNOLD, R. A. An approach to the sediment transport problem from general physics. **Geological Survey Professional Paper**, n. 422, p. 1-37, 1966. DOI: 10.3133/pp422I.

BARBOSA, M. C. R. Análise da qualidade ambiental dos remanescentes de cerrado na bacia hidrográfica do rio do Pombo, Três Lagoas - MS. 2024. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas-MS, 2024.

BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

BERBERY, E. H.; BARROS, V. R.; The Hydrologic Cycle of the La Plata Basin in South America. **Journal of Hydrometeorology**. Volume 3: Issue 6, 2002. DOI: 10.1175/1525-7541(2002)003<0630:THCOTL>2.0.CO;2.

BLUM, M. D.; TORNQVIST, T. E. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. **Sedimentology**, v. 47, p. 2-48, 2000. DOI: 10.1046/j.1365-3091.2000.00008.x.

BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. **Estudos** hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Rio de Janeiro, RJ: 1974.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **PCBAP-Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - Pantanal**. Brasília, DF: MMA, 1997.

BRIDGE, J. S. *Rivers and Floodplains: Forms, Processes, and Sedimentary Record*. Malden: Blackwell Science Ltd, p. 419. 2003.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003. p.1-5. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/. Acesso em: 15 fev. 2025.

CAMPESTRINI, H.; MENECOZIM, A. R.; LAURINO, A. A. A.; MINEIRO JÚNIOR, F. J. **Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Instituto Histórico e Geográfico de Mato Grosso do Sul, 2014.

CARGNIN, B. da R.; GASS, S. L. B. Avaliação da qualidade planimétrica de imagens do sensor WPM do satélite Cbers-4A. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20, 2023, Florianópolis-SC. **Anais** [...]. Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023.

CARVALHO JUNIOR, O. A. Aplicações e perspectivas do Sensoriamento Remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 4, p. 412-431, 2018. DOI: 10.51359/2238-6211.2018.238239.

CHURCH, M. Bed Material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 34, p. 325–354, 2006. DOI: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122721.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008. DOI: 10.14393/RCG92615721.

CORDEIRO, B. M.; FACINCANI, E. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; BACANI, V. M.; ASSINE, M. L. Compartimentação geomorfológica do leque fluvial do rio Negro, borda sudeste da Bacia do Pantanal (MS). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 175-183, 2010. DOI:10.25249/0375-7536.2010402175183.

COSTA, M. F. **História de um país inexistente**: o Pantanal entre os séculos XVI e XVIII. São Paulo: estação liberdade: Kosmos, 1999.

DE ARAÚJO ROCHA, R. R.; ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: Geomorfologia e Conectividade Hidrodinâmica. **Revista Tópos**, v. 1, n. 2, p. 81–112, 2013. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/view/2198. Acesso em: 15 fev. 2025.

DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. **Remote sensing of Environment**, v. 120, p. 25-36, 2012. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.8 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2021.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PÁLIDA, M.; RODRÍGUEZ, E.; ROTH, L.; DAVID, S.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, 2007. DOI: 10.1029/2005RG000183.

FERREIRA, K. R. M. **Estudo dos focos de calor no Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (2010-2020)**. 2021, 26 f. TCC (Graduação em Engenharia Florestal) -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, T. P. L.; Os Efeitos Dos Impactos Ambientais Naturais Nas Comunidades Ribeirinhas Da Barra Do São Lourenço E Paraguai Mirim Na Fronteira Brasil – Bolívia. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Fronteiriços) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá-MS, 2017.

FONTES, A. L. **Geomorfologia Fluvial e Hidrografia**. São Cristóvão/SE: Universidade Federal de Sergipe, 2010.

FRASER, L. H.; KEDDY, P. A (Orgs). **The Word's Largest Wetlands - Ecology and Conservation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

GRISON, F.; KOBIYAMA, M. Teoria e Aplicação da Geometria Hidráulica: Revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, *[S. l.]*, v. 12, n. 2, 2011. DOI: 10.20502/rbg.v12i2.232.

GUERRERO, M.; RÜTHER, N.; SZUPIANY, R. N. Laboratory validation of acoustic Doppler current profiler (ADCP) techniques for suspended sediment investigations. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 23, n. 1, p. 40-48, 2012. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2011.10.003.

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. Archiv fur Hydrobiologie, Stuttgart, v.137, p.1-23, jul.,1996. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/137/1996/1

HICKIN, E. J.; NANSON, G. C. The Character of Channel Migration on the Beatton River, Northeast British Columbia, Canada. **Geological Society of America Bulletin** v. 86, n. 4, p. 487-494, 1975. DOI: 10.1130/0016-7606(1975)86<487:TCOCMO>2.0.CO;2

HOOKE, J. M.; HARVEY, A.M. Meander changes in relation to bend morphology and secondary flows. In: COLLINSON, J.; LEWIN, J. (Orgs.). **Modern and Ancient Fluvial Systems**. International Association of Sedimentologists, 1983. p. 121–132. DOI:10.1002/9781444303773.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Escala: 1:250.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais Técnicos em Geociências**: Manual Técnico de Pedologia. Rio de Janeiro, 2007.
IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais Técnicos em Geociências**: Manual Técnico de Geomorfologia. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**: escala 1:250.000 – Versão 2023. Rio de Janeiro, 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens. **Catalogo de Imagens**. São José dos Campos-SP, 2024. Disponível em http://www.dgi.inpe.br/catalogo/. Acesso em: 15 fev. 2025.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989. Disponível em:

https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/docs/cmnt0817 12/sldmwa/junketal1989.pdf. Acesso em: 15 fev. 2025.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. da; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**. v. 68, p. 279-309, 2006. DOI: 10.1007/s00027-006-0851-4.

KELNIAR, A. R. Estudo da Descarga de Sedimentos Transportados em três rios da Bacia Hidrográfica do Rio Mourão. 2014. 69 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR, 2014.

KNIGHTON, D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. 2^a ed. London: Routledge, p. 400. 1998.

KUERTEN, S. **Evolução geomorfológica e mudanças ambientais no megaleque do Nabileque, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense**. 2010. 111 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2010.

KUERTEN, S.; ASSINE, M. L. Rio Paraguai no megaleque do Nabileque, sudoeste do Pantanal Mato-Grossense, MS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 642-653, 2011. DOI: 10.25249/0375-7536.2011414642653.

KUERTEN, S.; PAROLIN, M.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M. Sponge spicules indicate Holocene environmental changes on the Nabileque River floodplain, southern Pantanal, Brazil. **Journal of Paleolimnology**, 49, n. 2, p. 171-183, 2013. DOI: 10.1007/s10933-012-9652-z.

KUERTEN, S.; STEVAUX, J. C. Megaleques das bacias sedimentares do Chaco e Pantanal: uma revisão comparada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 3, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i3.1886.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 187-206, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.02.005.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. Jr. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **Geological Survey Professional Paper**, n. 252, 1953. DOI: 10.3133/pp252.

LEOPOLD, L. B.; WOMAN, M. G. River Channel Patterns: Braided, Meandering, and Straight. Washington-DC: U.S. Government Printing Office, n. 282-B, p. 50, 1957. DOI: https://doi.org/10.3133/pp282B.

LIMA, K. C.; LUPINACCI, C. M. Geomorfologia do semiárido: proposta metodológica de representação cartográfica e interpretação do relevo em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 2, p. 217-234, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i2.1527.

LIMA, L. O. A guerra do Paraguai. 1. Ed. São Paulo: Planeta, 2016.

LIMA, T. P. C. Expressão geofísica-estrutural do Lineamento Transbrasiliano na porção central da Bacia do Parnaíba (Maranhão-Piauí). 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2015.

LO, E. L.; MCGLUE, M. M.; SILVA, A. BERGIER, I. YAGER, K. M.; MACEDO, H. A.; SWALLOM, M.; ASSINE, M. L. Fluvio-lacustrine sedimentary processes and landforms on the distal Paraguay fluvial megafan (Brazil). **Geomorphology**, v. 342, p. 163-175, 2019. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.06.001.

LORENÇONE, J. A.; APARECIDO, L. E. O.; LORENÇONE, P. A.; LIMA, R. F.; TORSONI, G. B. Avaliação das Mudanças Climáticas Usando o índice de Humidade da Classificação Climática Thornthwaite no Bioma Pantanal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 99-119, 2022. DOI: 10.1590/0102-7786370075.

LUZ, L. D.; STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M.; SILVA, A. Hidrodinâmica da Confluência dos Rios Cuiabá e Paraguai, Pantanal Mato-grossense. **Revista do Departamento de Geografia**, n. spe, p. 1–10, 2017. DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.132949.

MACEDO, H, A. **Geomorfologia e hidrossedimentologia da planície do Rio Paraguai, da Lagoa Vermelha à confluência do Rio Miranda, Pantanal Mato-Grossense**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2013.

MACEDO, H. A.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; PUPIM, F. N.; MERINO, E. R.; STEVAUX, J. C. Mudanças paleo-hidrológicas na planície do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 1, p.75-85, jan-mar, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i1.431.

MACEDO, H. A. **Evolução Geomorfológica e Dinâmica Hidrossedimentar da Planície Fluvial Paraguai-Corumbá, Quaternário do Pantanal**. 2017. 195 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2017.

MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; SILVA, A.; MERINO, E. R.; LO, E. L.; ASSINE, M. L. Hydrosedimentology of the Paraguay River in the Corumbá fluvial reach, Pantanal

wetland. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, p. 255-271, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i2.1500.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; **Hidrogeomorfologia**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C. Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MAPBIOMAS, Projeto. **Mapeamento da superfície de água no Brasil**: Panorama da Superfície de Água do Brasil, 1985-2023. Coleção 3, p. 18, 2024.

MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. M. Climate change scenarios in the Pantanal. In: BERGIER, I., ASSINE, M. L. (Orgs). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, Switzerland, 2015. p. 227–238. DOI:10.1007/978-3-319-18735-8

MARQUES, R. C. G; MARQUES, A. G.; DOMINGOS, J. D.; RAMALHO, A. R.; PEREIRA, J. G. As variações Climáticas e Uso da Terra Alteram a Hidrologia da Região de Nabileque, Pantanal, MS. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 2, 2024. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/10033. Acesso em: 15 fev. 2025.

MELO, C. G.; LUZ, I. C.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. Chave de Interpretação para o Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Santo Anastácio. **Colloquium Exactarum**, vol. 9, n. Especial, p. 226-233, 2017. DOI: 10.5747/ce.2017.v9.nesp.000147.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: Universidade de Brasília, 2012, 274 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332292728_introducao_ao_processamento_de_ima gens_de_sensoriamento_remoto. Acesso em: 15 fev. 2025.

MERINO, E. R.; ASSINE, M. L. Hidden in plain sight: How finding a lake in the Brazilian Pantanal improves understanding of wetland hydrogeomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 2, p. 440-458, 2020. DOI: 10.1002/esp.4745.

MERINO, E. R.; ASSINE, M. L.; PUPIM, F. do N. Estilos Fluviais e Evidências de Mudanças Ambientais na Planície do Rio Miranda, Pantanal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i2.246.

MERINO, E. R. Caracterização geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda (borda sul do Pantanal mato-grossense, MS) com base em dados orbitais. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2011.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth-Science Reviews**, v. 13, n. 1, p. 1-62, 1977. DOI: 10.1016/0012-8252(77)90055-1.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; ALBREZ, E. A. Contribuição à Caracterização Das Sub-regiões Do Pantanal. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n.6, p 165 - 180, 2. semestre de 2012. Disponível em:

https://www.academia.edu/91572881/Contribui%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_caracteriza %C3%A7%C3%A3o_das_sub_regi%C3%B5es_do_Pantanal?uc-sb-sw=30499855. Acesso em: 15 fev. 2025.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 370-374, 2002. DOI: 10.1590/S0034-89102002000300018.

MUELLER, D. S.; WAGNER, C. R. Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat. U.S. **Geological Survey Techniques and Methods**, 3A-22, 72 p, 2009. DOI: 10.3133/tm3A22.

OLIVEIRA, E. D. de. Geometria Hidráulica: Algumas Considerações Teóricas e Práticas. **Sociedade e Território**, *[S. l.]*, v. 24, n. 1, p. 166–184, 2012. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3470. Acesso em: 15 fev. 2025.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica Espaço-Temporal das Inundações do Pantanal**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2010.

PARANHOS-FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MACHADO, R.; GONÇALVES, F. V.; RIBEIRO, V. O.; GRIGIO, A. M.; SILVA, N. M. Controle Estrutural da Hidrografia do Pantanal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 40, n. 1, p. 156-170, 2017. Disponível em: https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/18237. Acesso em: 15 fev. 2025.

PEREIRA, V. R.; VICTORIA, D. C.; OLIVEIRA, A. F.; CUADRA, S. V.; MONTEIRO, J. E. B. A.; GALIB, R.; WELLE, A. Projeções de mudanças climáticas para o Pantanal-uma análise dos cenários do CMIP6. In: Simpósio De Geotecnologias No Pantanal, 8., 2024, Poconé. **Anais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024. p. 640-648.

PETTS, G. E.; AMOROS, C. The fluvial hydrosystem. In: PETTS, G. E.; AMOROS, C. (Eds.). **Fluvial Hydrosystem**. Lodon: Chapman & Hall, 1996.

PETTS, G. E.; FOSTER, I. Rivers and Landscape. 3 ed., New Castle: Edward Arnold, 1990.

POR, F.D. **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil) - World's Largest Wetlands**. Dordrecht, The Netherland: Kluvwer Academic Publishers, 1995.

REYNOLDS, O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, n. 174, p. 935-982, 1883. DOI: 10.1098/rstl.1883.0029.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M. Sedimentação em rios entrelaçados e anastomosados. **Boletim IG-USP. Série Didática**, n. 6, p. 1–44, 1993. DOI: 10.11606/issn.2316-896X.v0i6p1-37.

ROSENQVIST, A.; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABLE, M. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307-3316, 2007. DOI: 10.1109/TGRS.2007.901027

ROSS, J. L. S. Geomorfologia ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992. DOI: 10.7154/RDG.1992.0006.0002.

SCHUMM, S. A. River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraphy. **The Journal of Geology**, 101: 279 – 294. 1993. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/30081152. Acesso em: 15 fev. 2024.

SCHUMM, S. A. The Fluvial System. New York: John Wiley and Sons, 338 p. 1977.

SILVA, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2010.

SILVA, A. **Padrões de Canal do Rio Paraguai na Região de Cáceres-MT**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2006.

SILVA, E. R. S. **Geomorfologia e Dinâmica Fluvial do Rio Paraguai no Trecho entre Cáceres-MT e Corumbá-MS**. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas-MS, 2020.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M.; POTT, V. J. **Projeto GeoMS: Cobertura** vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011.

SILVA, J. S. V; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 33, Número Especial, p.1703-1711. Outubro 1998. Disponível em: https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/5050. Acesso em: 15 fev. 2025.

SOARES, P. C., ASSINE, M. L., RABELO, L. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationships to the Transbrasiliano Lineament. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998. Santos, **Anais [...]**. Santos: Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais, 1998. Disponível em:

https://www.academia.edu/19406820/The_Pantanal_Basin_Recent_Tectonics_Relationships_ to_the_Transbrasiliano_Lineament. Acesso em: 15 fev. 2025. SOUZA, B. R. **Direcionadores dos incêndios florestais no Pantanal: análise temporal e associação com biomas adjacentes**. 2023. 70 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2023.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geology and Geomorphology of the Baia-Curutuba-Ivinhema River complex. In: TOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Eds.) **The Upper Paraná River an its Floodplain: Physical aspects, ecology and Conservation**. Leiden: Backhuys Publishers, p. 1-29, 2004.

SOUZA JR, C. M., 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, Issue 17, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735

SOUZA, J.; CORREA, A. C. Sistema Fluvial e Planejamento Local no Semiárido. Mercator, v. 11, n. 24, p. 149-168, 2012. DOI: 10.4215/RM2012.1124.0010.

STANFORD, J. A.; WARD, J. V. Revisiting the serial discontinuity concept. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 17, n. 4-5, p. 303-310, 2001. DOI: 10.1002/rrr.659.

STEVAUX, J. C.; CORRADINI, F. A.; AQUINO, S. Connectivity processes and riparian vegetation of the upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 46, p. 113-121, oct, 2013. DOI: 10.1016/j.jsames.2011.12.007.

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

STEVAUX, J. C.; MACEDO, H. de A.; ASSINE, M. L.; SILVA, A. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 350, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106906.

STEVAUX, J. C.; MARTINS, D. P.; MEURER, M. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, v. 113, n. 3-4, p. 230-238, 2009. DOI: doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.015.

TRENTIN, R.; SANTOS, L. J. C.; ROBAINA, L. E. de S. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Itu: oeste do Rio Grande do Sul-Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 127-142, 2012. DOI: 10.1590/S1982-45132012000100011.

TUCCI, C. E. M. Some scientific challenges in the development of South America's water resources. **Hydrological Sciences Journal**, v. 46, n. 6, p. 937-946, 2001. DOI: 10.1080/02626660109492887.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Environmental issue of La Plata Basin. **International Journal of Water Resources Development**, v. 14, n. 2 p. 157-173, 1998. DOI: 10.1080/07900629849376.

UAF. University of Alaska Fairbanks. Alaska Satellite Facility's. **Data Portal Vertex**. College, Alaska. 2019. Disponível em https://vertex-retired.daac.asf.alaska.edu/. Acesso em: 01 dez. 2019.

USGS. United States Geological Survey. **Earth Explorer**. Reston, Virginia. 2019. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**. v. 18, n. 1, p. 25-39, feb, 1999. DOI: 10.1029/1998TC900004.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W. The river continuum concept. **Canadian journal of fisheries and aquatic sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980. DOI: 10.1139/f80-017.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas Ripárias: Importância e Principais Ameaças. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, n. 1, 2009. Disponível em: https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/143. Acesso em: 15 fev. 2025.

WARD J. V.; STANFORD J. A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: Fontaine, T. D.; Bartell, S. M. (Eds.). Dynamics of Lotic Ecosystems. Michigan: Ann Arbor Science, p. 29-42, 1983.

WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. **Journal of Geology**. v.68, n.1, p.54-74, 1960. DOI: 10.1086/626637.

ZANI, H.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; CORRADINI, F. A. Redes de drenagem distributária e formas deposicionais no megaleque do Taquari, Pantanal: uma análise baseada no MDE SRTM. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2009. DOI: 10.20502/rbg.v10i2.127.

ZAPAROLI, F. C. M. **Evolução Geomorfológica da Planície do Rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense**. 2015. 158 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2015.