

MAPEAMENTO MORFOLÓGICO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ELEVADAS (DIQUES MARGINAIS) COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Alisson Rodrigues Santori¹
José Cândido Stevaux²

RESUMO

O presente estudo propõe a análise das unidades morfológicas da planície de inundação de um grande rio tropical. O principal objetivo é a identificação e mapeamento das áreas de maior altitude no gradiente topográfico predominantemente plano da várzea e a dinâmica destes terrenos com a vazão do Rio Paraná. A base teórica está alicerçada no estudo do pulso de inundação e morfologia da planície que controlam a entrada e saída de água e material transportado do canal. A metodologia utiliza conjuntamente a interpretação de dados hidrológicos de vazão, extração de variáveis do relevo e mapeamento da superfície com o uso de sensoriamento remoto. Os resultados demonstram relações funcionais entre a morfologia, a vegetação e a água nesse processo natural de conectividade, e uma ênfase para as características naturais que definem bem a estrutura e a forma das áreas mais elevadas na planície de inundação.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial, Hidrologia, Conectividade, SIG.

RESUMEN

El presente estudio propone el análisis de las unidades morfológicas de la llanura de inundación de un gran río tropical. El objetivo principal es identificar y mapear las zonas de mayor altitud en el gradiente topográfico predominantemente plano de la llanura aluvial y la dinámica de estos terrenos con el caudal del río Paraná. La base teórica se basa en el estudio del pulso de inundación y morfología de la llanura que controlan la entrada y salida de agua y material transportado desde el canal. La metodología utiliza conjuntamente la interpretación de datos de caudales hidrológicos, la extracción de variables de relieve y el mapeo de superficies mediante teledetección. Los resultados demuestran relaciones funcionales entre morfología, vegetación y agua en este proceso natural de conectividad, y un énfasis en las características naturales que definen bien la estructura y forma de las áreas más altas de la llanura aluvial.

Palabras clave:

ABSTRACT

The present study proposes the analysis of the morphological units of the floodplain of a large tropical river. The main objective is to identify and map the areas of highest altitude in the predominantly flat topographic gradient of the floodplain and the dynamics of these lands with the flow of the Paraná River. The theoretical basis is based on the study of the flood pulse and morphology of the plain that

¹ Graduando do Curso de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, rodriguessantori@hotmail.com;

² Professor orientador: Professor Doutor Visitante, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, jcstevaux@gmail.com.



control the entry and exit of water and material transported from the channel. The methodology jointly uses the interpretation of hydrological flow data, extraction of relief variables and surface mapping using remote sensing. The results demonstrate functional relationships between morphology, vegetation and water in this natural process of connectivity, and an emphasis on natural characteristics that well define the structure and shape of the highest areas in the floodplain.

Keywords:**INTRODUÇÃO**

A planície de inundação associada ao sistema de um rio tropical de grandes dimensões e complexa bacia hidrográfica, consiste em uma forma de relevo aluvial construído por sedimentos transportados (erosão e deposição). O relevo é altamente conectado às variáveis do sistema fluvial e a interação entre diferentes elementos estruturais e funcionais destes ambientes complementares (NANSON; CROKE, 1992).

As unidades morfológicas são constituídas em diferentes momentos de evolução. As formas mais antigas remetem a uma estrutura e dinâmica de um período climático pretérito, em que a posição de canal do Rio Paraná estava situado onde atualmente está a planície (STEVAUX, 2000). A planície de inundação de um curso d'água com o porte do Rio Paraná possui variados compartimentos associados a diferentes etapas de construção morfológica (SOUZA-FILHO; STEVAUX, 1997; STEVAUX; CORRADINI; AQUINO, 2013).

Os ambientes mais antigos consistem principalmente em canais abandonados e superfícies em nível intermediário e alto que representavam antigas ilhas entre estes canais. Os compartimentos mais recentes estão associados ao trabalho atual do Rio Paraná e referem-se principalmente as formas de leito do rio (barras arenosas e ilhas) que se soldaram as margens da planície aumentando lateralmente o seu tamanho, além dos processos de avulsão (STEVAUX, 1993; LELI et al., 2021).

Este estudo justifica-se e demonstra as potencialidades das geotecnologias para a análise e representação da dinâmica do de elementos integrados do meio ambiente. Propõe a análise do sistema rio-planície e a relação entre a geomorfologia e o funcionamento dos ambientes de várzeas em rios tropicais. O objetivo deste trabalho é identificar e mapear as morfologias mais altas no gradiente de elevação da planície, e determinar a relação entre este tipo de relevo, a sua vegetação natural e a dinâmica do Rio Paraná em períodos de cheia e vazante.

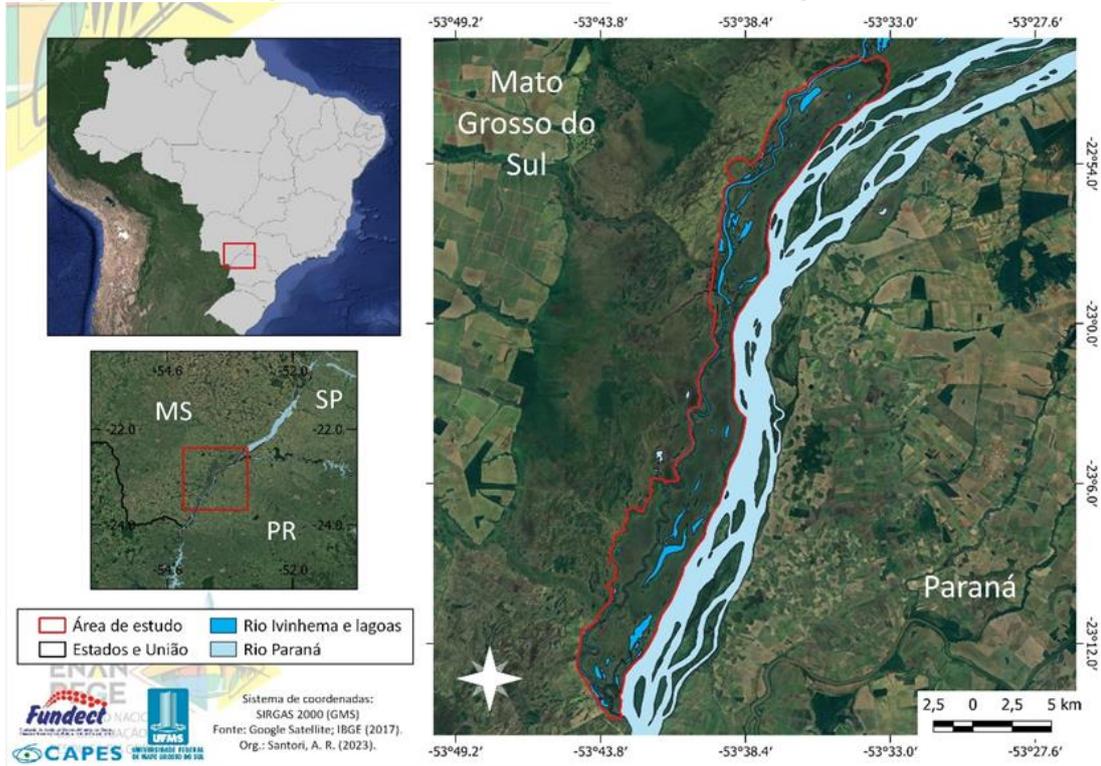
O estudo da variação dos níveis hidrológicos no presente estudo é uma das bases para o esclarecimento da relação integrada e conectada entre o processo de subida e descida da água e a influência deste fenômeno na estrutura e composição das formas de relevo na planície de inundação (BATES, 2022; ZHANG et al., 2022). As grandes cheias promovem a entrada e o retrabalho de quantidades consideráveis de sedimentos, entretanto, nos últimos anos observa-se um impacto na hidrologia do alto Rio Paraná que modificou parâmetros de conectividade e fluxo do rio (STEVAUX; MARTINS; MEURER, 2009; ROCHA, 2009).

A metodologia aplicada consiste no uso de sistemas de informações geográficas (SIG), imagens de satélite de boa resolução, modelo digital de elevação, perfis transversais de elevação e dados fluviométricos de vazão fluvial. O mapeamento das áreas morfológicamente mais elevadas, demonstrou que estas unidades são restritas e estão dispostas em faixas com variadas larguras, principalmente nas margens dos rios da área.

Os resultados apresentados demonstram parte da configuração morfológica das diferentes unidades, que se estruturaram na topografia da planície ao longo de seu desenvolvimento associado a atividade fluvial do Rio Paraná. A dinâmica do regime fluvial é retratada pelo comparativo entre dois momentos extremos de inundação e vazante em anos mais recentes da série hidrológica. Nas imagens de satélite e seus subprodutos são demonstrados os efeitos destes cenários na superfície da várzea e que como ocorrem as “perturbações” na paisagem superficial da várzea.

A área de estudo consiste em um trecho da planície de inundação da margem direita do Rio Paraná, no estado do Mato Grosso do Sul. O local está situado entre as cidades de Jateí-MS e Naviraí-MS ou entre as coordenadas geográficas $53^{\circ} 59' 49'' / 22^{\circ} 86' 34''$ e $53^{\circ} 71' 84'' / 23^{\circ} 24' 71''$, e uma área de aproximadamente 160 quilômetros quadrados distribuídos em larguras entre 3km e 8km da margem para o interior da planície (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo (Planície de inundação do alto Rio Paraná)



Fonte: O autor (2023).

REFERENCIAL TEÓRICO

Os elementos estruturais e funcionais são as bases que moldam a relação conectada entre o rio e sua planície (sistema rio-planície) em associação ao regime hidrológico (NANSON; CROKE, 1992). As características da bacia hidrográfica do Rio Paraná influenciam na dinâmica das variáveis do rio e na estruturação de suas várzeas adjacentes (STEVAUX, 1993; STEVAUX, 2000; STEVAUX; MARTINS; MEURER, 2009; ROCHA, 2009). A planície de inundação do Alto Paraná apresenta estrutura geomorfológica complexa e diferenciada em determinados trechos do local, as morfologias são herdadas por processos antigos de incorporação de ilhas e avulsões e também recentes por processos atuais do rio principal e da dinâmica dos canais secundários (LELI et al., 2021; STEVAUX; CORRADINI; AQUINO, 2013). A conectividade hidrológica é o conceito chave para entender os processos e fundamentos dos ecossistemas de várzea e o papel das inundações no sistema terrestre (BATES, 2022). Os diferentes graus de ligação entre as morfologias da várzea e a água do canal são importantes, pois a amplitude da conectividade do sistema rio-planície afeta o



padrão espacial de distribuição dos sedimentos, de matéria orgânica e outros nutrientes (ZHANG, 2022).

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo é composta pela integração de diferentes fontes de dados e recursos associados ao sensoriamento remoto em estudos ambientais. O levantamento do regime hidrológico para elaboração das hidrógrafas dos anos e meses analisados, a aquisição do Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR (12,5m) para obtenção de variáveis do relevo e a seleção de imagens de satélite para interpretação visual da superfície e a relação do rio e a planície. A principal ferramenta para o processamento dos dados é o software livre de geoprocessamento e criação de banco de dados espaciais Qgis 3.16.

Foram adquiridos dados diários e mensais de vazão (m^3/s) da estação fluviométrica de Porto São José-Paraná (cod. 64575003) para os anos analisados, uma tabela no formato .csv foi adquirida na plataforma [Hidroweb](#) da Agência Nacional de Águas. Os dados hidrológicos foram tratados no programa Excel®, onde foram gerados tabelas e gráficos com linhas de valor médio em tons de verde, representando no recorte de dados o valor mínimo (verde-claro), médio (verde) e máximo (verde-escuro) dos dados fluviométricos trabalhados.

O modelo digital de imagens ALOS PALSAR (12,5 m) foi utilizado como apoio para identificação das áreas mais elevadas e extração de perfis transversais. A variação topográfica mínima nos terrenos da planície fica muito evidenciado no MDE, exceto pelas áreas com diques naturais bem desenvolvidos e conseqüentemente mais elevadas.

O produto SRTM do radar de abertura sintética ALOS pode ser obtido no serviço *Alaska Satellite Facility (ASF)* pelo banco de imagens *Earthdata*. As cenas do modelo de elevação são dos pontos 6720 e 6710, ambas na órbita 73 da plataforma obtidas no ano de 2010 e disponibilizadas com correção do terreno.

Primeiramente, ocorre o processo de mudança da projeção do MDE alterando sua projeção original em unidades transversais do sistema WGS 84 para o SIRGAS 2000, mantendo as coordenadas projetadas mais adequadas para área de estudo. Na sequência do processamento ocorre o mosaico das duas cenas MDE separadas em uma imagem única e continua, a etapa final executa o recorte da camada SRTM para representar apenas a área de estudo e a aplicação de simbologia, renderização e gradiente de cores adequado para observação do relevo.



A extração de perfis transversais foi aplicada para observação geral das mudanças na topografia da área analisada, a obtenção dos perfis é realizada pela ferramenta Profile Tool, o MDE recortado é adicionado e o perfil é traçado entre os pontos A e B (Figura 2).

Figura 2 – Modelo Digital de Elevação (MDE) e perfil transversal.



Fonte: ASF Data Search (2010).

Os produtos de satélites são provenientes da plataforma Sentinel-2 com imagens de resolução espacial em 10m (tamanho do píxel), obtidas diretamente do banco de imagens *Copernicus Hub* da Agência Espacial Europeia (ESA). A seleção das imagens ocorreu pela pesquisa de cenas sem presença de nuvens na órbita 124 (T21KZQ e T22KBA) na data de 17 de janeiro de 2016 (cheia) e 10 de junho de 2019 (vazante).

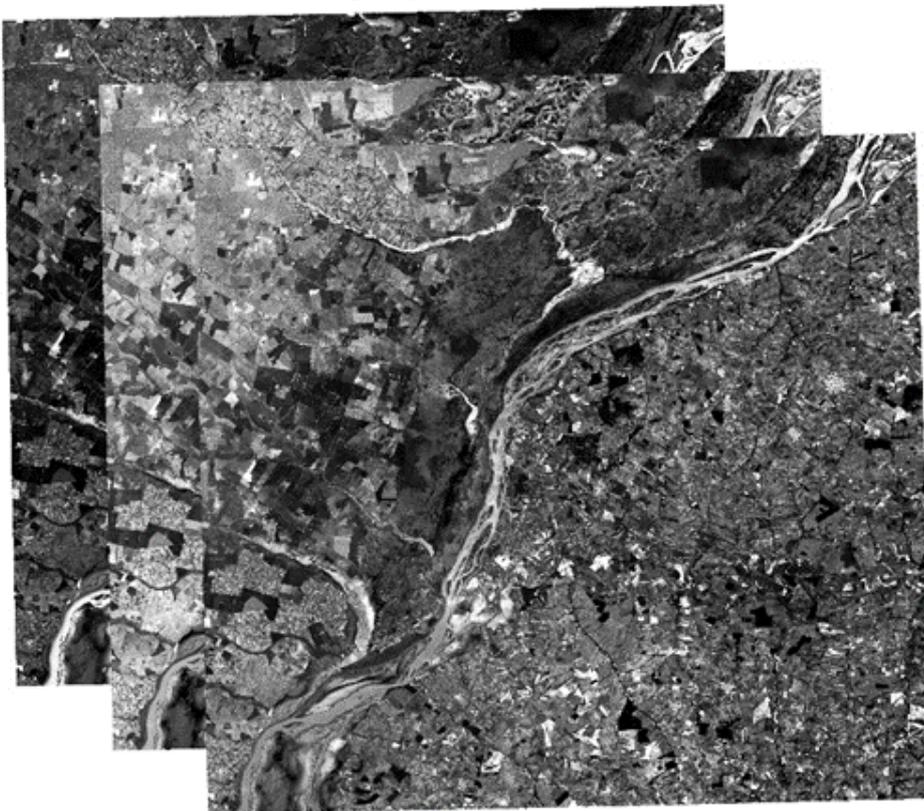
A etapa inicial de processamento, corresponde a reprojeção do sistema de coordenadas das bandas trabalhadas (*4-red, 3-green, 2-blue*), é o momento da mudança do Datum WGS 84 para o SIRGAS 2000 em projeção geográfica (G-M-S). Posteriormente, o recorte da área de estudo nas cenas é feito pela camada vetorial da planície de inundação. As bandas recortadas são agrupadas em uma composição colorida de ‘cor-verdadeira’ a partir da função RGB, onde também são ajustadas as características de renderização das bandas.

A identificação e mapeamento das áreas mais elevadas da planície foi feito com a utilização da metodologia de classificação supervisionada em imagens de satélite, obtida a



partir amostras do terreno na composição colorida das bandas n.º 4, 3 e 2 (Figura 3). O conjunto de amostras de elementos da superfície na área de estudo foi coletado conforme os padrões de cobertura observados no resultado da composição colorida.

Figura 3 – Bandas utilizadas na composição do RGB (do fundo para frente bandas 4, 3 e 2)



Fonte: SentinelHub (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

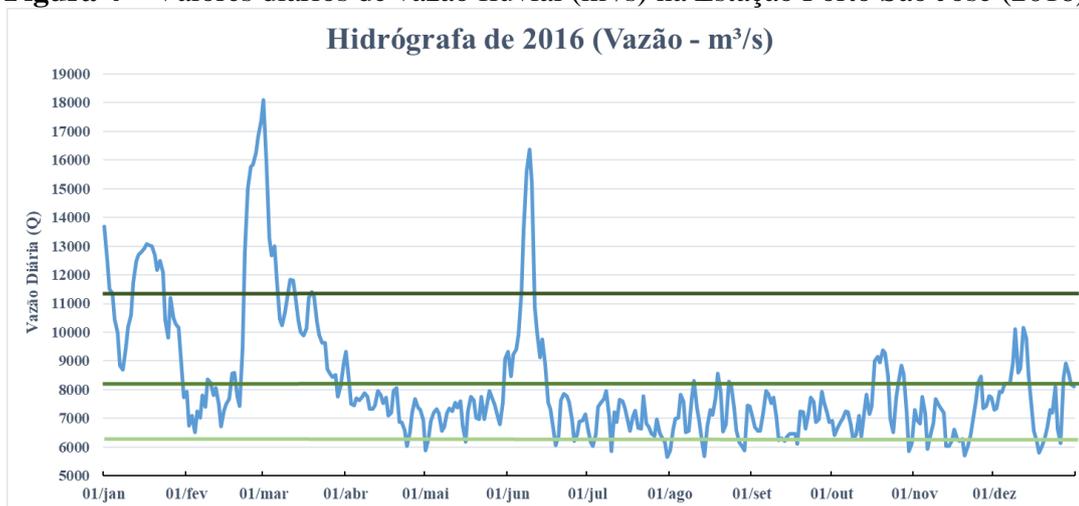
Os resultados são apresentados em duas etapas e demonstram de forma complementar o processamento da dinâmica hidrológica e parte do entendimento funcional do sistema fluvial estudado. A análise dos dados hidrológicos produziu gráficos demonstrando o comportamento da hidrógrafa na estação Porto São José-PR, os dados diários de vazão no mês de janeiro de 2016 e junho de 2019 apontam duas situações distintas na relação da planície de inundação e o Rio Paraná. No caso do específico deste trecho do alto rio Paraná a hidrógrafa apresenta comportamentos, onde é possível observar a existência de um período de cheias entre os meses de dezembro e maio, com pico no mês de fevereiro, intercalado por um período de vazante entre os meses de junho e novembro.



Análise dos dados hidrológicos

Os dois gráficos das datas trabalhadas mostram situações opostas da dinâmica fluvial do Alto Paraná em um intervalo de 4 anos. A vazão na data utilizada para análise na fase de cheia foi de 13.070 m³/s, enquanto na data definida para a fase de vazante a vazão foi de 4840 m³/s. para uma diferença de 8.230 m³/s no fluxo de água do Rio Paraná. Ocorrem três picos de inundação, dois mais longos no início do ano e um mais curto no meio. O ano de 2016 registrou a maior inundação da década passada e demonstra ter uma recorrência menos frequente no atual regime hidrológico do Rio Paraná (Figura 4).

Figura 4 – Valores diários de vazão fluvial (m³/s) na Estação Porto São José (2016).

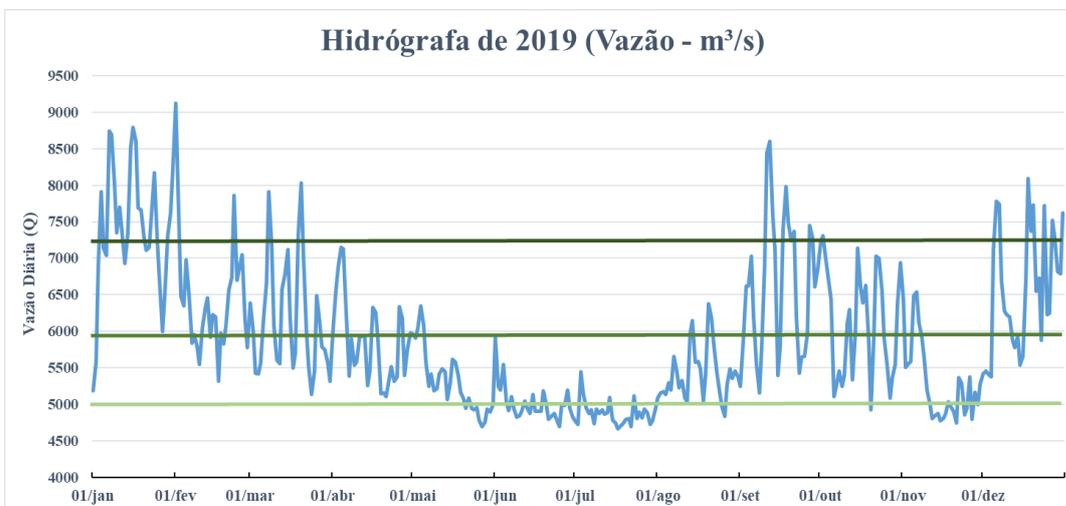


Fonte: ANA (2016).

O segundo período corresponde ao processo de vazões baixas ou período de vazante em que o fluxo de água no canal diminui consideravelmente (Figura 5). O período considerado como “cheia” é de magnitude baixa, estando predominantemente menor que 9.000 m³/s. A data escolhida para análise da planície no período de vazante (10/06) está registrada próxima à linha de média das mínimas registradas no ano.

A diminuição da amplitude entre as vazões mínimas e máximas é um dos fatores mais notáveis de regulação neste ciclo de águas baixas. Este impacto de diminuição na atividade fluvial condiciona os terrenos da planície a longos períodos sem contato com o fluxo do rio, provocando isolamento de corpos d’água. Ocorre uma vazante extrema entre os meses de maio e agosto, as vazões abaixo de 6.000 m³/s são mais permanentes e estão associadas a cotas fluviométricas geralmente menores que 2m.

Figura 5 – Valores diários de vazão fluvial (m³/s) na Estação Porto São José (2019).



Fonte: ANA (2019).

A dinâmica apresentada pela vazão nas duas datas analisadas demonstra como a relação entre o rio e as áreas de planície são afetadas pelos níveis e frequências das inundações. No ano de 2016, a situação de cheias extremas com altos picos de vazão não deve ocorrer mais com frequência. No entanto, as fases de vazões muito baixas como a apresentada neste estudo tendem a aumentar a sua recorrência, à medida que a regulação do rio for diretamente afetada pela intervenção humana, neste caso, pelo funcionamento de usinas hidroelétricas.

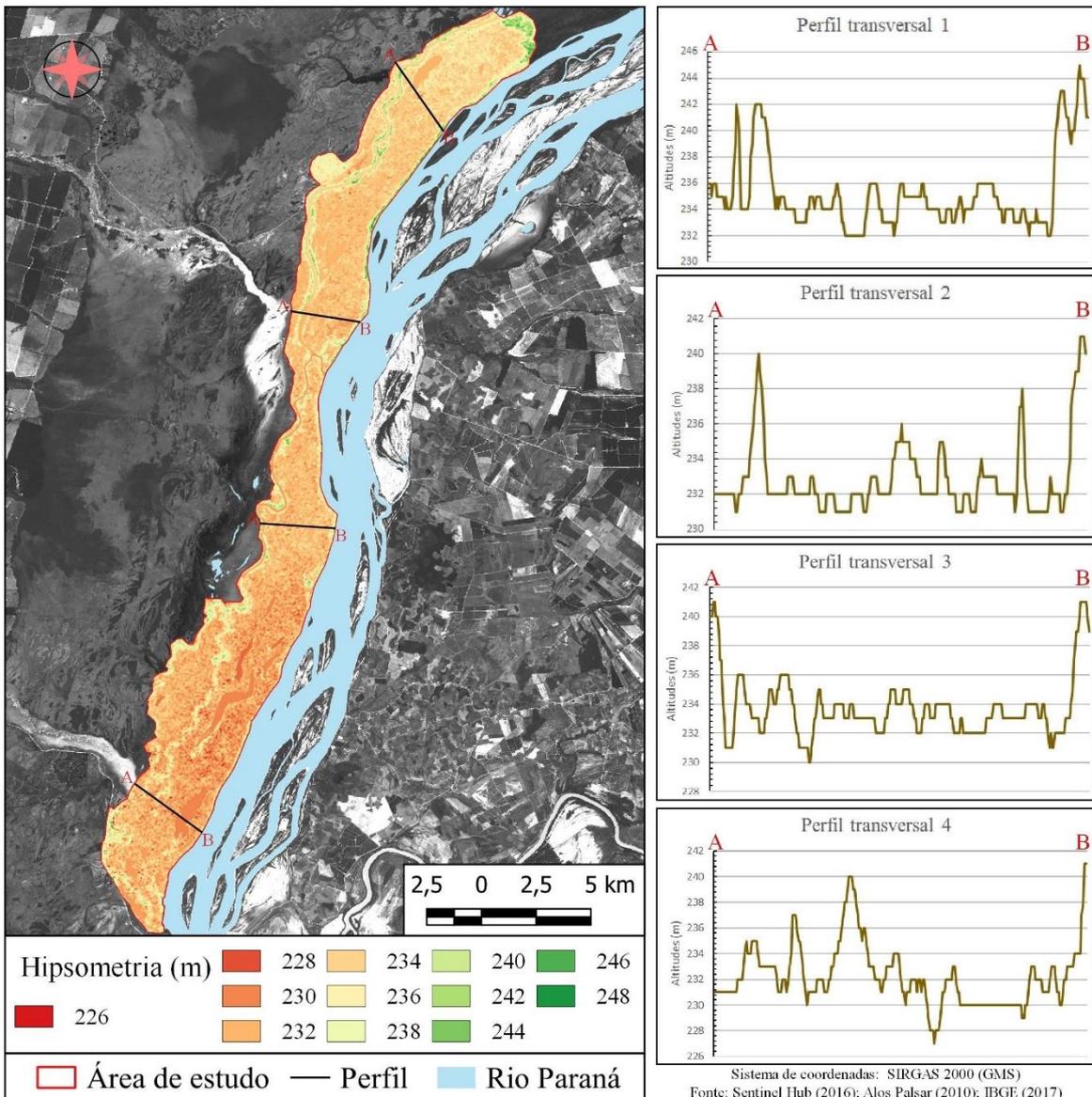
Na comparação entre as condições hidrológicas apresentadas, a vazão máxima de 2016 está muito acima da média das cheias, e a vazão mínima de 2019 muito abaixo da média das vazantes estimadas para toda a série histórica de dados hidrológicos da estação Porto São José. A condição apresentada nestes anos trabalhados foi bem distinta e demonstra como é dinâmico o funcionamento da vazão e imprevisibilidade da mudança do nível da água.

Altimetria e perfis transversais

Os perfis transversais de elevação foram posicionados em superfícies que retratassem as diferentes unidades morfológicas da planície de inundação (lagoas, diques, canais etc). Os perfis traçados demonstram a posição dos diques naturais e a características dos pontos/áreas mais elevados do local, observando o limite de 240m para definição destas morfologias. Além disto, os dados reforçam que as superfícies menos expostas ao processo de cheia e inundação ficam predominantemente abaixo de 238m. O mapa hipsométrico revela com clareza a predominante presença de superfícies baixas (226m a 236m) com diferenças sutis (Figura 6).



Figura 6 – Mapa hipsométrico e perfis transversais



Fonte: O autor (2023).

A composição das bandas do vermelho, verde e azul produziram um resultado peculiar nos baixos terrenos da planície já alagados pela entra de água dos rios Paraná e Ivinhema, a mistura entre a água, vegetação e solo resultaram em uma superfície amarronzada e escurecida. O resultado obtido nestas cartas demonstra claramente que a inundação registrada na data não apresenta conectividade com os diques naturais, ressaltados pela vegetação arbórea de média e grande porte e suas seus respectivos dosséis.

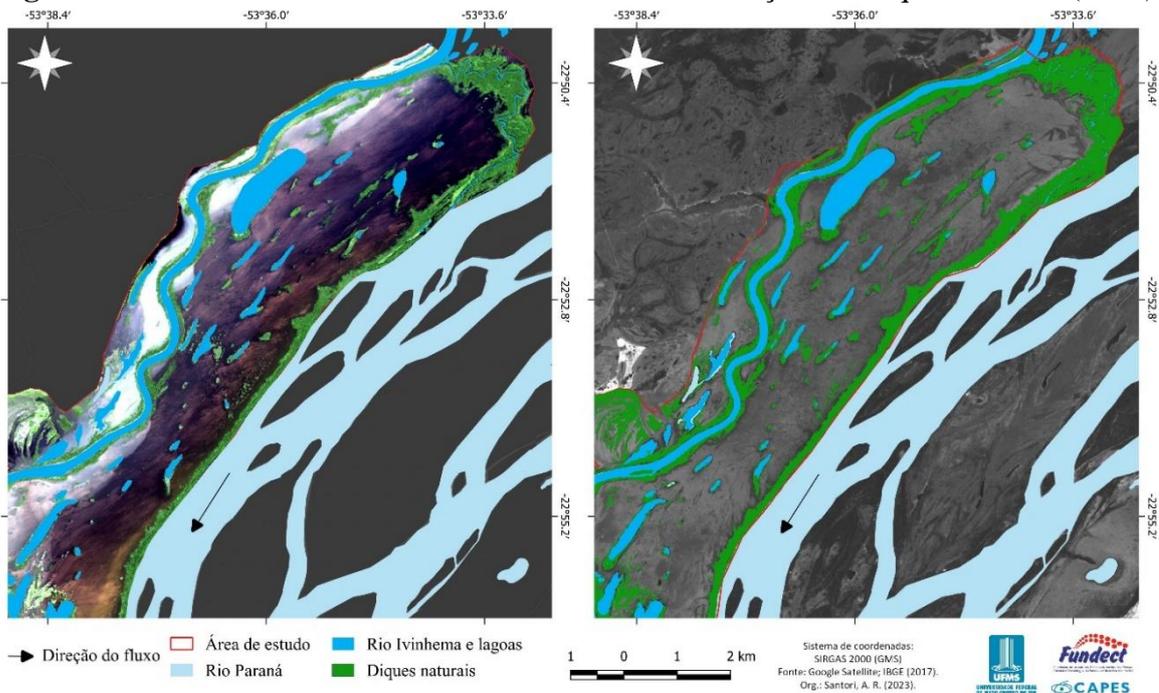
A maioria das áreas reconhecidas como diques naturais neste trecho estão dispostas ao longo da margem direita do Rio Paraná, e principalmente, na área mais ao norte que apresenta uma morfologia proeminente e abriga o canal de Ypuitã, uma pequena ligação entre



o rio Ivinhema e o rio Paraná no meio da planície de inundação. Nota-se que nesta área e neste pulso de inundação selecionados para análise, ocorrem processos combinados de cheia dos dois rios, é o caso do rio Ivinhema que apresenta áreas de fluxo sobre a superfície da várzea (manchas brancas).

A principal lagoa presente neste trecho da planície é “lagoa do Ventura”, este ambiente está intrinsecamente relacionado as diferentes fases do regime fluvial. Em fases de águas baixas ocorre o seu isolamento, mas seu formato circular e a grande proximidade com o canal do Ivinhema promovem conectividade em períodos de inundação e consequentemente a manutenção deste ambiente em diferentes fases hidrológicas (Figura 7).

Figura 7 – 1º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2016).



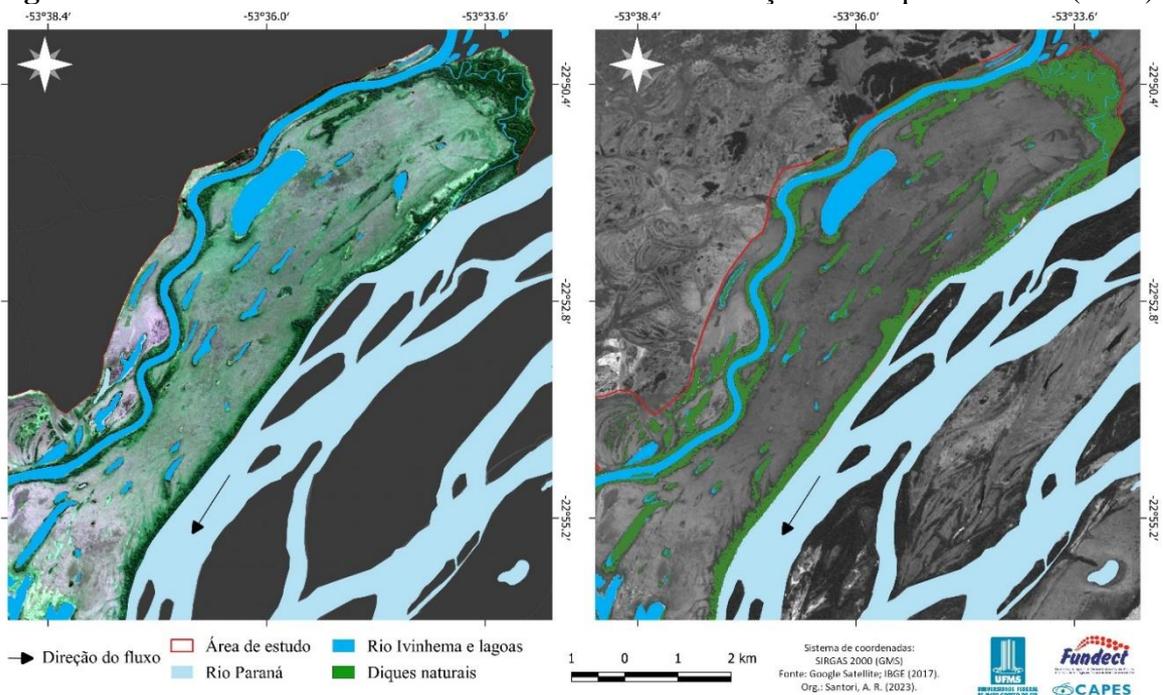
Fonte: O autor (2023).

Na avaliação e classificação das imagens associadas ao período de vazante (fase seca), é possível observar o padrão da vegetação herbácea que predomina na maioria da área de estudo. A fase de cheia faz esta vegetação ser submersa conforme o avanço lateral e transbordamento do Rio Paraná, a imagem de satélite demonstra manchas mais escuras em que a vegetação está relacionada a baixios e áreas pantanosas. A série de lagoas presentes no interior da planície demonstram o baixíssimo gradiente topográfico e a posição do lençol freático pouco abaixo da superfície destas áreas de bacias de inundação



A resposta das superfícies com vegetação maior e mais desenvolvida foi semelhante ao longo das margens do canal principal e dos secundários. Entretanto, foi observado que nesta fase mais extrema de vazante, as lagoas sofrem maior eutrofização com a consolidação da vegetação higrófila que também foi registrada no mapeamento. O nível extremamente baixo da vazão registrada neste dia provocou o isolamento completo da maioria das lagoas ao longo da área de estudo, e a própria densidade da vegetação arbórea dos diques apresentou algumas diminuições (Figura 8)

Figura 8 – 1º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2019).



Fonte: O autor (2023).

O segundo exemplo apresentado nestes resultados apresenta a área da primeira desembocadura do Rio Ivinhema no Rio Paraná em um setor onde a extensão da planície sofre um estreitamento de sua largura. No perfil transversal deste recorte é notável o maior desenvolvimento dos diques do Ivinhema em sua margem direita e menos proeminentes na margem esquerda.

Os aspectos de evolução da planície pela atividade do regime hidrológico pretérito são nítidos quando encontramos ambientes que revelam o caminho de antigos canais ao longo da várzea. A presença de canais abandonados e desativados revela que a entrada de água no interior da planície era mais comum e a ocorrência de processos de acresção lateral de

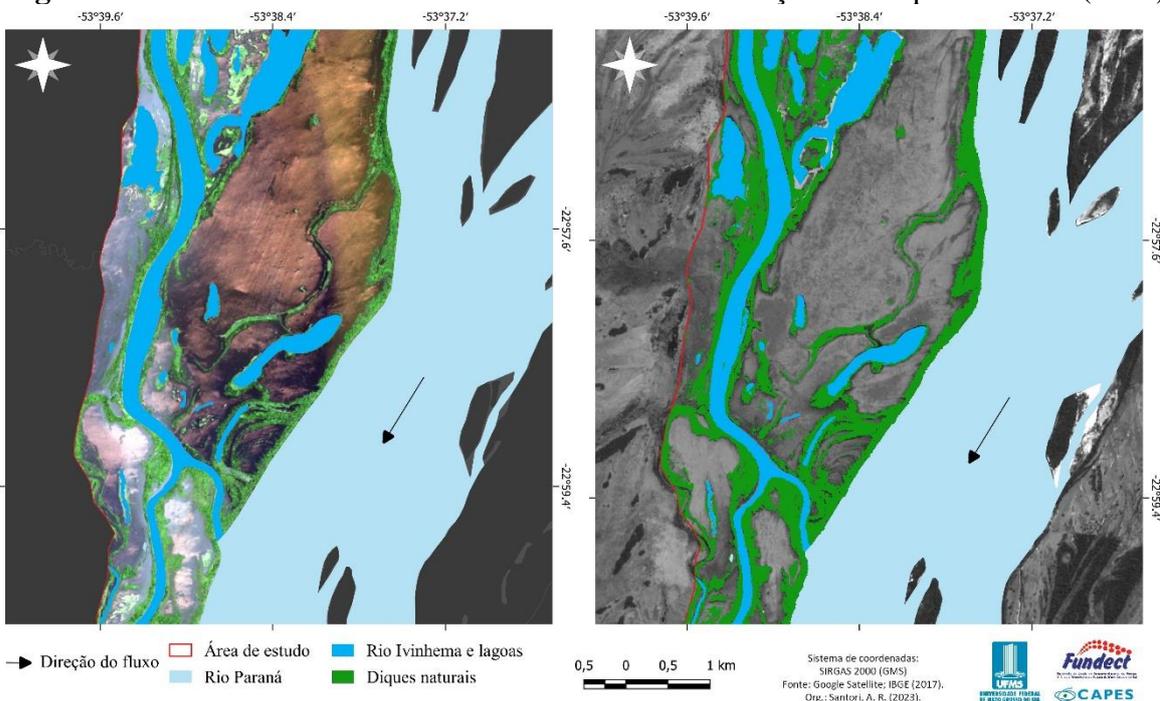


sedimentos por estes canais abandonados em suas adjacências colaborou muito para o preenchimento das unidades topograficamente inferiores na várzea.

A cheia neste local é amplamente favorecida pela conexão de uma das principais lagoas e o seu intrincamento com outras que acompanham a margem esquerda do Rio Ivinhema. Nesta altura da várzea os diques marginais do Ivinhema apresentam a tendência de maior desenvolvimento nas proximidades das lagoas já mencionadas, conforme sua trajetória de descida, os diques ficam bem mais estreitos separando o canal das áreas mais baixas no interior da planície.

O aporte final de sedimentos oriundos dos terrenos a montante, que chega pelo Ivinhema nesta primeira ligação com o Paraná foi capaz de construir diques muito bem desenvolvidos (setor sul do recorte), este processo também é encontrado na sua margem direita no momento que outro braço do canal continua descendo pelo interior da planície (Figura 9).

Figura 9 – 2º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2016).



Fonte: O autor (2023).

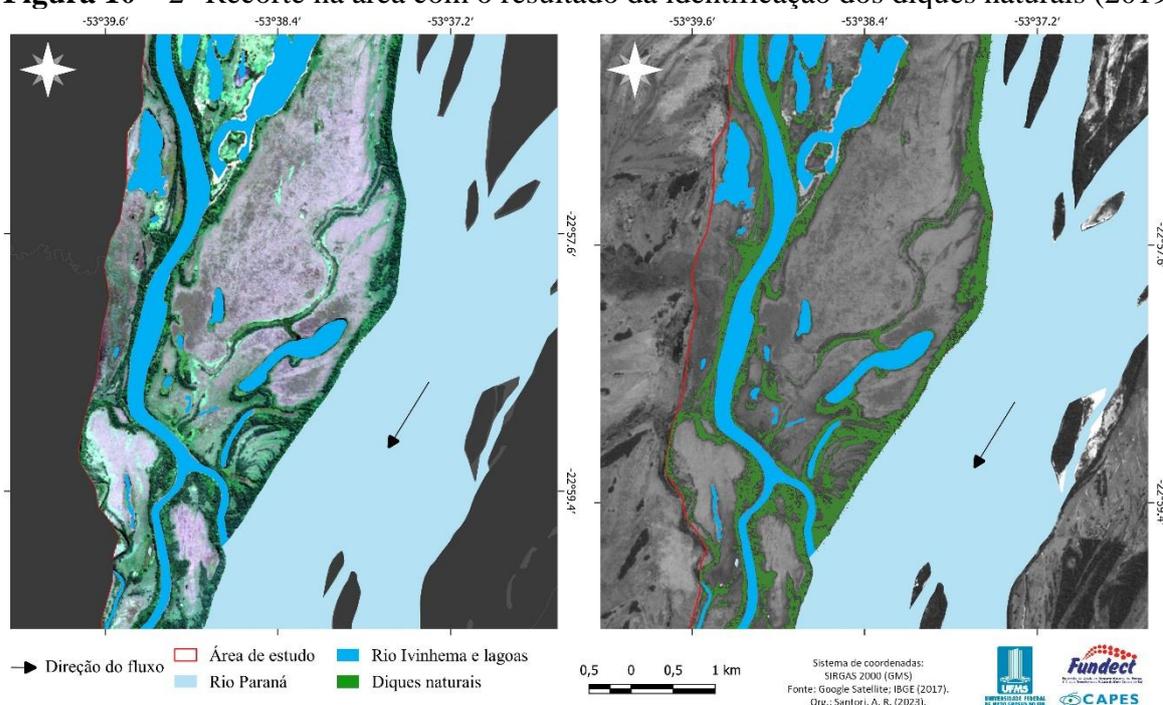
A distinção dos diques naturais na imagem da fase vazante é mais prejudicada, pois as condições de estiagem também afetam o vigor da vegetação e conseqüentemente o tamanho de sua resposta na imagem de satélite. Entretanto, sua utilidade é válida como ferramenta de



comparação que demonstra essa mudança intensa do aspecto da superfície em dois momentos opostos da dinâmica ambiental e hidrológica dos rios locais e a sua planície.

A avaliação dos resultados neste trecho revela outro processo interessante encontrado no mapeamento das áreas elevadas de diques, se trata de resquícios de migração de um canal desativado que agregou a planície uma nova superfície ondulada que intercala zonas baixas e altas (crista e calha). O resultado obtido nesta classificação reforça o fator de limitação que a vegetação sofre para se anexar e consolidar uma ocupação em áreas da planície superior que apresenta altitudes um pouco mais significativas (Figura 10).

Figura 10 – 2º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2019).



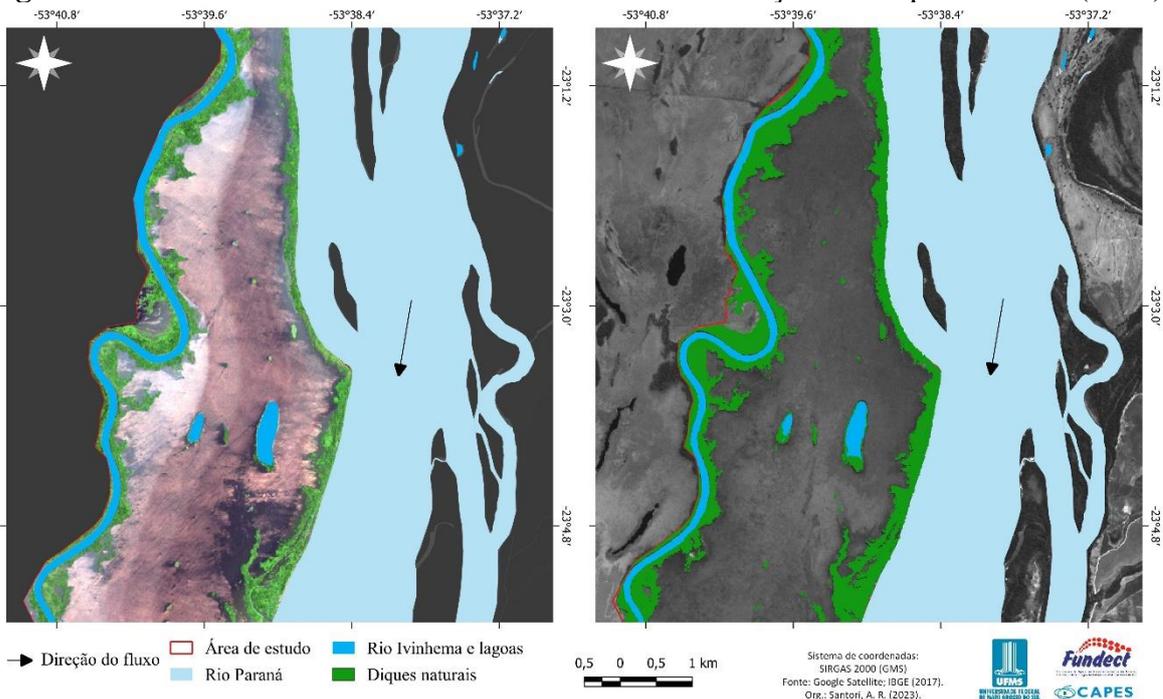
Fonte: O autor (2023).

O terceiro recorte analisado na área de estudo é muito didático para a identificação de duas morfologias a qual são as de mais fácil reconhecimento na superfície da várzea do Rio Paraná, os baixios das bacias de inundação (áreas de acumulação) e os diques marginais elevados que funcionam com “bordas” para as bacias no interior da planície. O perfil transversal 3 que representa este trecho, reforça claramente este padrão topográfico. Nas áreas de diques as altitudes registram mais de 240m, em contrapartida, o restante das formas de relevo internas do perfil, oscilam entre 232m e 234m.



A resposta obtida no mapeamento deste trecho a partir da imagem de cheia foi a mais eficaz e confiável para representação da vegetação arbórea dos diques, as quais não são submersas neste evento com o nível d'água do canal em 4,8 metros. Portanto, as copas das árvores formam fragmentos que normalmente estão ocupando estas superfícies com baixa frequência de perturbações das cheias do rio (Figura 11).

Figura 11 – 3º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2016).

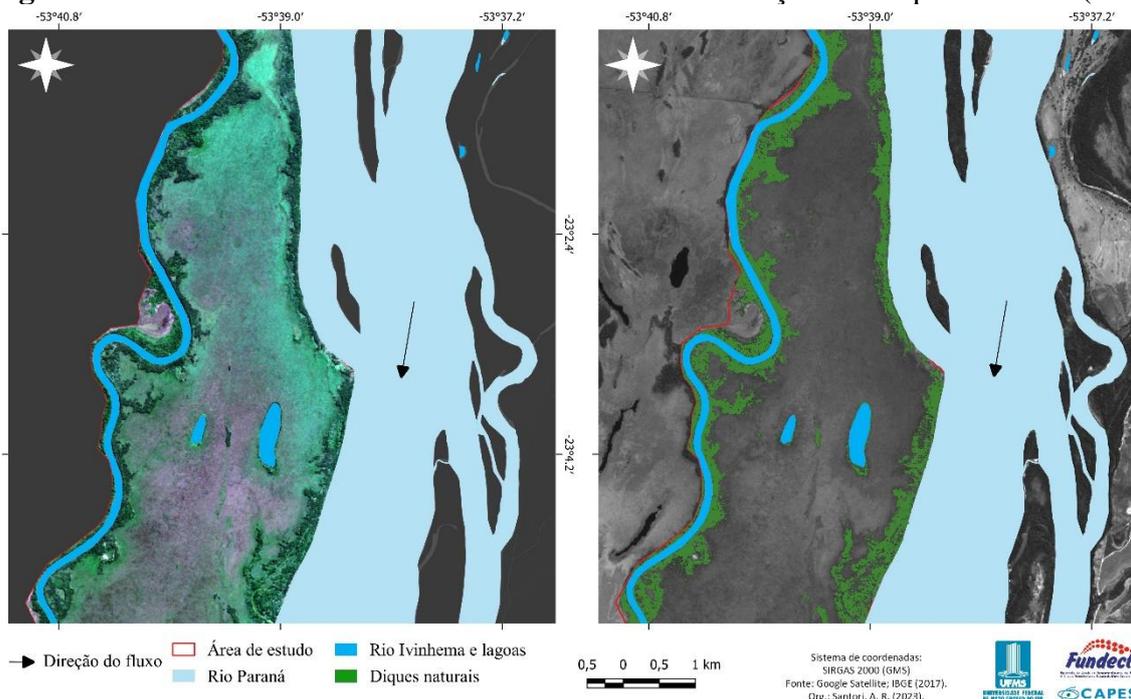


Fonte: O autor (2023).

Os resultados deste local demonstram que existe uma presença bem definida de diques naturais nas margens dos rios Ivinhema e Paraná, no entanto, a faixa de largura destas morfologias e a sua consolidação pela distribuição da vegetação florestal é variada em diferentes pontos das margens em ambos os canais. Esta diferença no estágio de formação destas unidades geomorfológicas pode estar associada a eventos extremos de transbordamento que o canal extravasa por cima dos diques ou por rompimento dos mesmos.

Nitidamente, as áreas de planície baixa nos arredores das lagoas estão com vegetação mais rala e praticamente solo exposto (Figura 12). Em contrapartida, os trechos de algumas superfícies de planície alta que estão próximos aos diques marginais demonstram maior presença de vegetação herbácea. O fato em questão significa o retorno mais rápido destas áreas para condições de ressecamento, pois a regressão da água vai ocorrer gradualmente, mantendo por mais tempo encharcados as morfologias mais baixas do ambiente.

Figura 12 – 3° Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2019).



Fonte: O autor (2023).

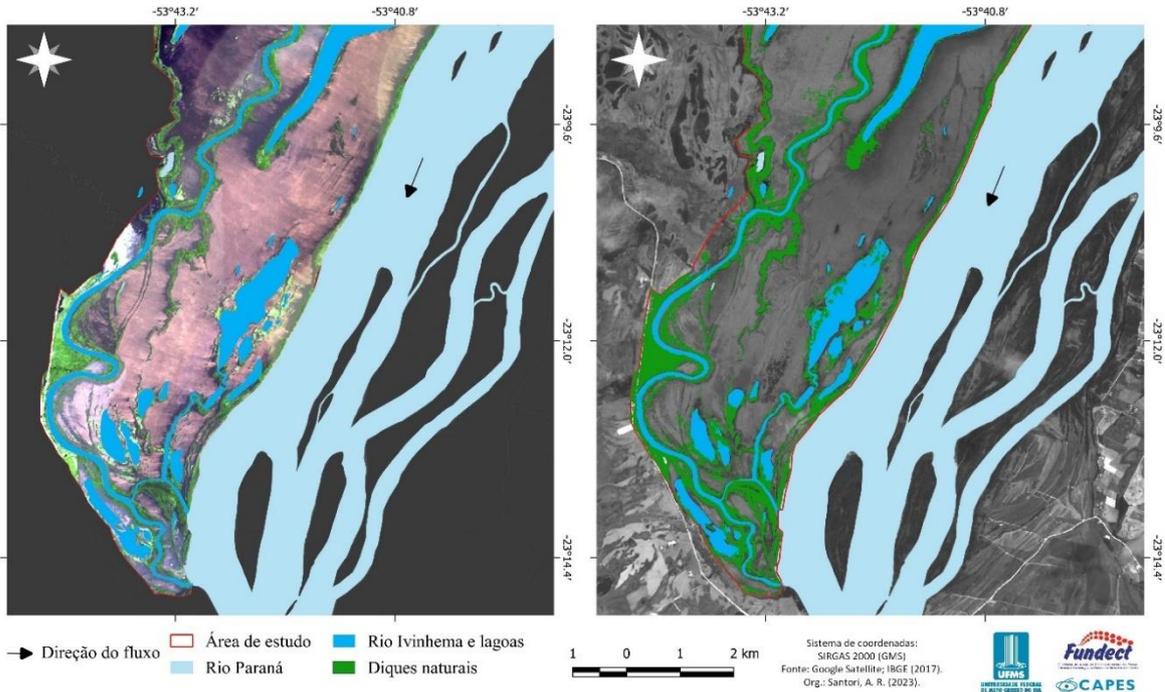
O ponto mais ao sul da área de estudo é o local de exutório do Rio Ivinhema encerrando seu caminho pelos relevos da borda oeste da bacia do Rio Paraná. Na área analisada também ocorre um interrompimento na continuidade da planície adjacente, que volta a se apresentar alguns quilômetros mais a jusante. A homogeneidade das áreas de baixios e pântanos neste trecho da planície são predominantes, exceto por alguns antigos diques em canais inativos.

A identificação das áreas mais elevadas demonstrou que está ocorrendo o desenvolvimento de morfologias mais proeminentes nas áreas mais a jusante do canal do Ivinhema, possivelmente pelo processo de deposição dos sedimentos transportados ao longo de todo seu trajeto adentrando a várzea. O desenvolvimento de colmatção é observado em pequenos diques nas extremidades de lagoas alongadas na várzea.

O comportamento do rio Ivinhema ao se ligar definitivamente ao canal principal do rio Paraná demonstra a tendência comum de um canal fluvial em áreas muito planas. Nota-se uma bifurcação do canal secundário um pouco antes de fazer a confluência, a superfície construída entre os canais bifurcados apresenta evidências morfológicas da inundação em diferentes momentos de erosão e deposição no regime do rio. Os diques naturais não são muito largos e proeminentes nas margens do Rio Paraná, inclusive com alguns pontos onde não ocorre muito desenvolvimento de vegetação arbórea (Figura 13).



Figura 13 – 3º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2016).



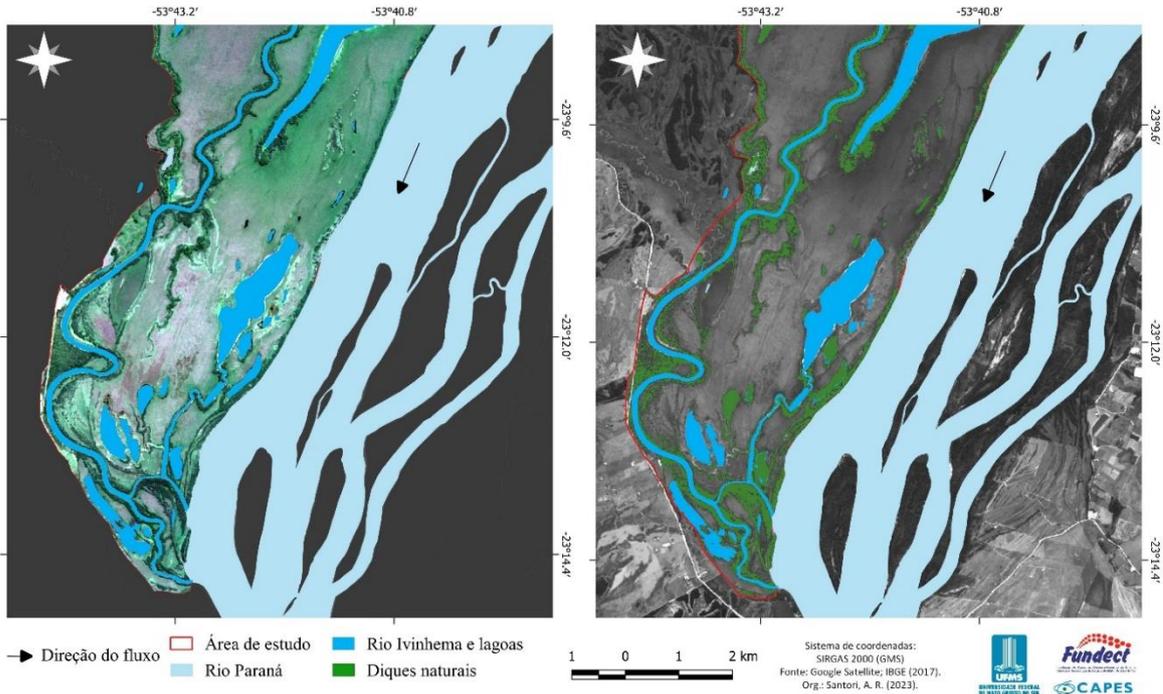
Fonte: O autor (2023).

O segundo trecho analisado apresenta o mesmo padrão com poucas mudanças em relação ao espaço ocupado pela vegetação arbórea nos diques naturais que acompanham a margem direita do Rio Paraná. O mapeamento realizado sobre a classificação da vegetação florestal associada as unidades de relevo mais altas no período seco e de águas baixas, demonstrou que esse padrão de imagem com estas características ambientais pode ser menos eficaz para realização da classificação das possíveis áreas com alturas mais consideráveis na topografia da várzea.

Morfologicamente, este é um dos trecho da planície de inundação fortemente associado a níveis topográficos com alta frequência de inundações. A vegetação higrófila de algumas das lagoas se anexou e desenvolveu uma cobertura que também se confunde com a resposta da vegetação florestal dos diques. No caso das áreas mais baixas da planície, o processo de terrestrealização provocado pela vazante afeta completamente a disponibilidade de água nas áreas predominantemente úmidas de brejos, provocando o ressecamento e compactação do solo (Figura 14).



Figura 14 – 4º Recorte na área com o resultado da identificação dos diques naturais (2016).



Fonte: O autor (2023)

Os resultados obtidos na etapa de classificação não podem ser considerados individualmente, pois se refere unicamente ao tipo de alvo da superfície que foi mapeado, no caso, a vegetação florestal arbórea bem desenvolvida. Sendo assim, a afirmação de que os diques naturais sempre estão associados a vegetação de grande porte que precisa de um relevo mais desenvolvido para se estabelecer é verdadeira. Notavelmente, as respostas da vegetação arbórea associada a estas áreas é mais alta quando a imagem está demonstrando processos de inundação altos e com grande amplitude na superfície.

Sendo assim, as áreas com grande densidade de ocupação de vegetação florestal arbórea apresentam estruturas geomorfológicas mais consolidadas (altas). As características do relevo em que tal tipo de superfície está situado, resultou na definição dos diques naturais/marginais distribuídos principalmente às margens de canais ativos e abandonados no interior da planície de inundação. O mapeamento dos diques marginais no trecho analisado demonstrou que estas unidades estão dispostas em faixas com variadas larguras e tamanhos, principalmente, nas zonas adjacentes dos rios Paraná e Ivinhema e em canais abandonados/lagoas no interior da várzea.

Os processos geomórficos estão ocorrendo em ambos os momentos do regime hidrológico, e de forma diferente conforme as características das unidades do relevo. As fases



de cheias e inundações da área, tal como a apresentada neste estudo, promovem enormes modificações na estrutura morfológica e biótica através da conectividade de ambientes e a homogeneização dos ambientes. Nas fases de estiagem e vazante do Rio Paraná também ocorrem processos de estruturação das morfologias através do isolamento de lagoas, ressecamento de canais abandonados, colmatação dos diques.

As informações apresentadas demonstram a configuração espacial das morfologias mais elevadas na planície de inundação e seu padrão de desenvolvimento associado a atividade fluvial do Rio Paraná. Assim, através da análise dos produtos obtidos pelo processo de classificação das imagens, foram obtidos resultados satisfatórios que apontam a relação entre a morfologia, a vegetação e o regime fluvial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destaca a contribuição dos recursos digitais relacionados ao sensoriamento remoto e o geoprocessamento de imagens orbitais na análise e melhor compreensão da atividade e da geomorfologia fluvial na planície de inundação de um grande rio tropical. O monitoramento da dinâmica do sistema rio-planície proporciona contribuições importantes para a análise espacial do regime de inundações. A relação entre as características topográficas e o regime hidrológico demonstra a grande variabilidade espacial das unidades morfológicas na topografia da planície.

As diferentes unidades e ambientes que existem na planície de inundação estão condicionadas em diferentes níveis com o regime hidrológico e a capacidade de atuação do Rio Paraná em processos de erosão e deposição ao longo dos anos. Os diques naturais ou marginais dominados por árvores apresentam características que os destacam no relevo da várzea, a condição de desenvolvimento destas morfologias está muito associada a vegetação arbórea que protege e consolida estes terrenos, afetados pelas inundações somente em vazões muito extremas.

Deste modo, a associação da matriz hidrogeomorfológica, o pulso de inundação e as características da vegetação colaboram para a identificação das unidades conhecidas como diques naturais. Os estudos sobre a dinâmica das inundações e as respostas destes eventos nas morfologias da planície devem ser reforçados por técnicas de mapeamento geomorfológico mais elaboradas.



AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001, apoio da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) e colaboração do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Três Lagoas-MS (PPGEO - CPTL/UFMS).

Bibliografia

BATES, P. D. Flood inundation prediction. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 54, p. 287-315, 2022.

LELI, I. T. et al. Island and anabranching generation processes—a comparative review in the Upper Paraná River. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 1, 2021.

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, v. 4, n. 6, p. 459–486, 1992.

ROCHA, P. C. Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial no alto Rio Paraná, centro sul do Brasil. **Revista Geosul**, v. 24, n. 48, p. 153-176, 2009.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, 1997. p. 3-46.

STEVAUX, J. C. O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR). 1993. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STEVAUX, J. C. Climatic events during the late Pleistocene and Holocene in the upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. *Quaternary International*, v. 72, n. 1, p. 73-85, 2000.

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.

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, 2013.

ZHANG, C. et al. Evaluation of hydrological connectivity in a river floodplain system and its influence on the vegetation coverage. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109445, 2022.