

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE CANAL FLUVIAL APÓS ASSOREAMENTO POR CORRIDAS DE LAMA E DETRITOS E OBRAS DE ENGENHARIA: O CASO DO RIO JACAREÍ (LITORAL DO PARANÁ)

Otacílio Lopes de Souza da Paz
Universidade Federal do Paraná – UFPR
Curitiba, PR, Brasil
otacilio.paz@gmail.com

Eduardo Vedor de Paula
Universidade Federal do Paraná – UFPR
Curitiba, PR, Brasil
edugeo@ufpr.br

RESUMO

O papel dos processos gravitacionais na evolução geomorfológica de canais fluviais ainda é um tema com abordagem escassa na literatura nacional. Um exemplo desse processo é observado no rio Jacareí (litoral do Paraná), que em março de 2011 foi afetado por intensas corridas de lama e detritos. Objetiva-se analisar a evolução geomorfológica do rio Jacareí frente as mudanças impostas pelos processos gravitacionais de 2011 e intervenções antrópicas realizadas antes e após o evento de 2011. Foram utilizadas fotografias aéreas e imagens orbitais (1953-2019) em ambiente SIG para análise da morfologia do canal e cálculo de variáveis referentes à morfometria e à morfodinâmica. O rio Jacareí apresenta transformações geomorfológicas desde 1953, com progressiva perda de extensão e sinuosidade e oscilação entre padrão reto e sinuoso, causadas por intervenções antrópicas. O evento de 2011 impôs padrão anastomosado em parte do rio Jacareí. Com a reabertura do canal por maquinário (retorno ao padrão reto) ainda em 2011, o rio Jacareí foi progressivamente se ajustando a nova configuração de paisagem, apresentando maiores taxas de migração lateral média em comparação ao período anterior a 2011. Os resultados reforçam a ideia de resiliência fluvial da área. Nesse sentido, o trabalho apresenta recomendações para a continuidade da pesquisa.

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial. Morfodinâmica fluvial. Morfometria fluvial. Morfologia fluvial. Planície aluvial.

GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF A RIVER CHANNEL AFTER SILTATION BY MUD AND DEBRIS FLOWS AND ENGINEERING WORKS: THE CASE OF THE JACAREÍ RIVER (COAST OF THE STATE OF PARANÁ, SOUTHERN BRAZIL)

ABSTRACT

The role of gravitational processes in the geomorphological evolution of river channels is still a topic with little attention in the national literature. An example of this process is observed in the Jacareí River (coast of Paraná), which in March 2011 was affected by intense mud and debris flows. The objective is to analyze the geomorphological evolution of the Jacareí River in the face of the changes imposed by the gravitational processes of 2011 and anthropic interventions carried out before and after the 2011 event. Aerial photographs and orbital images (1953-2019) in a GIS environment were used to analyze the channel morphology and calculation of variables related to morphometry and morphodynamics. The Jacareí River has undergone geomorphological changes since 1953, with progressive loss of extension and sinuosity and oscillation between straight and sinuous patterns, caused by human interventions. The 2011 event imposed anastomosing pattern on part of the Jacareí River. With the reopening of the channel by machinery (return to the straight pattern) still in 2011, the Jacareí River was progressively adjusting to the new landscape configuration, presenting higher average lateral migration rates compared to the period prior to 2011. The results reinforce the idea of river resilience in the area. In this sense, the article presents recommendations for the research continuity.

Keywords: Fluvial geomorphology. River morphodynamics. River morphometry. River morphology. Alluvial plain.

INTRODUÇÃO

A evolução dos canais fluviais é afetada pela dinâmica natural e/ou por interferências antrópicas (CHARLTON, 2007; RUTKIEWICZ e GAWIOR, 2016; ZHAO et al., 2017; CHEREM et al., 2020). Técnicas de análises da forma em planta do canal (visão vertical) ou análise em perfil do canal (visão horizontal) são utilizadas para mensurar os impactos de tais alterações (GRABOWSKI e GURNELL, 2016; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017; CHEREM et al., 2020).

A evolução desencadeada pela dinâmica natural depende do nível de base, das condições climáticas, magnitude, velocidade e regime do fluxo, do substrato e das características e quantidades do material transportado (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017; BARROS e MAGALHÃES JÚNIOR, 2020). A escala de tempo para que ocorram ajustes na morfologia do canal é relativamente curta, estimada em 10 a 10³ anos (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Sobre as interferências antrópicas, tais alterações podem ser diretas, como obras de engenharia (desassoreamento, canalização, contenção, retificação, entre outros) ou indiretas, como atividades humanas na bacia hidrográfica (desmatamento, instalação de acessos, expansão de cidades e de áreas destinadas à agricultura, pecuária e silvicultura) (KNIGHTON, 1998; CUNHA, 2012; DUFOUR et al., 2015; BARROS e MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

Essas perturbações no sistema afetam a evolução geomorfológica dos canais fluviais, podendo ser observadas alterações no comportamento (morfoodinâmica), na forma (morfologia) e em índices métricos (morfometria) (GRABOWSKI e GURNELL, 2016; CHEREM et al., 2020). Ainda, processos naturais e de origem antrópica podem ocorrer concomitantemente, resultando em sinergia e/ou cumulatividade dos impactos nos canais fluviais.

Considerando que o processo de uso e ocupação do território brasileiro teve início na faixa litorânea, área de domínio da Mata Atlântica, observa-se na literatura um histórico de interferências diretas e indiretas nos canais fluviais na planície litorânea (FONSECA, 1985; REZENDE et al., 2018; SILVA et al., 2018). São exemplos os estudos no rio Macaé – RJ (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012; BRIERLEY et al., 2019), no rio Sagrado – PR (KLEINA; PAULA; SANTOS, 2014; KLEINA e SANTOS, 2017), no rio Cachoeira – PR (ASSIS, 2011), no rio Três Barras – SC (CUNHA; JARENTCHUK JUNIOR; OLIVEIRA, 2017; MELLO et al., 2018) e no rio Cubatão (SILVEIRA; OLIVEIRA; NEUMAN, 2020).

Os estudos citados acima exemplificam as transformações geomorfológicas em canais fluviais situados em planície, como: conversões do padrão meândrico para retilíneo (ex: obras de retificação) (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012), ganho de sinuosidade devido a mudanças no nível de base local (ex: instalação de barragens) (SILVEIRA; OLIVEIRA; NEUMAN, 2020), aumento do número de meandros abandonados por incremento da vazão (ex: implantação de canais extravasores) (ASSIS, 2011), aumento da concentração de sedimentos em suspensão (VAN MAREN et al., 2015), entre outros. Nesses estudos, tanto a dinâmica natural como a interferência antrópica são relacionadas aos ritmos de evolução do canal fluvial.

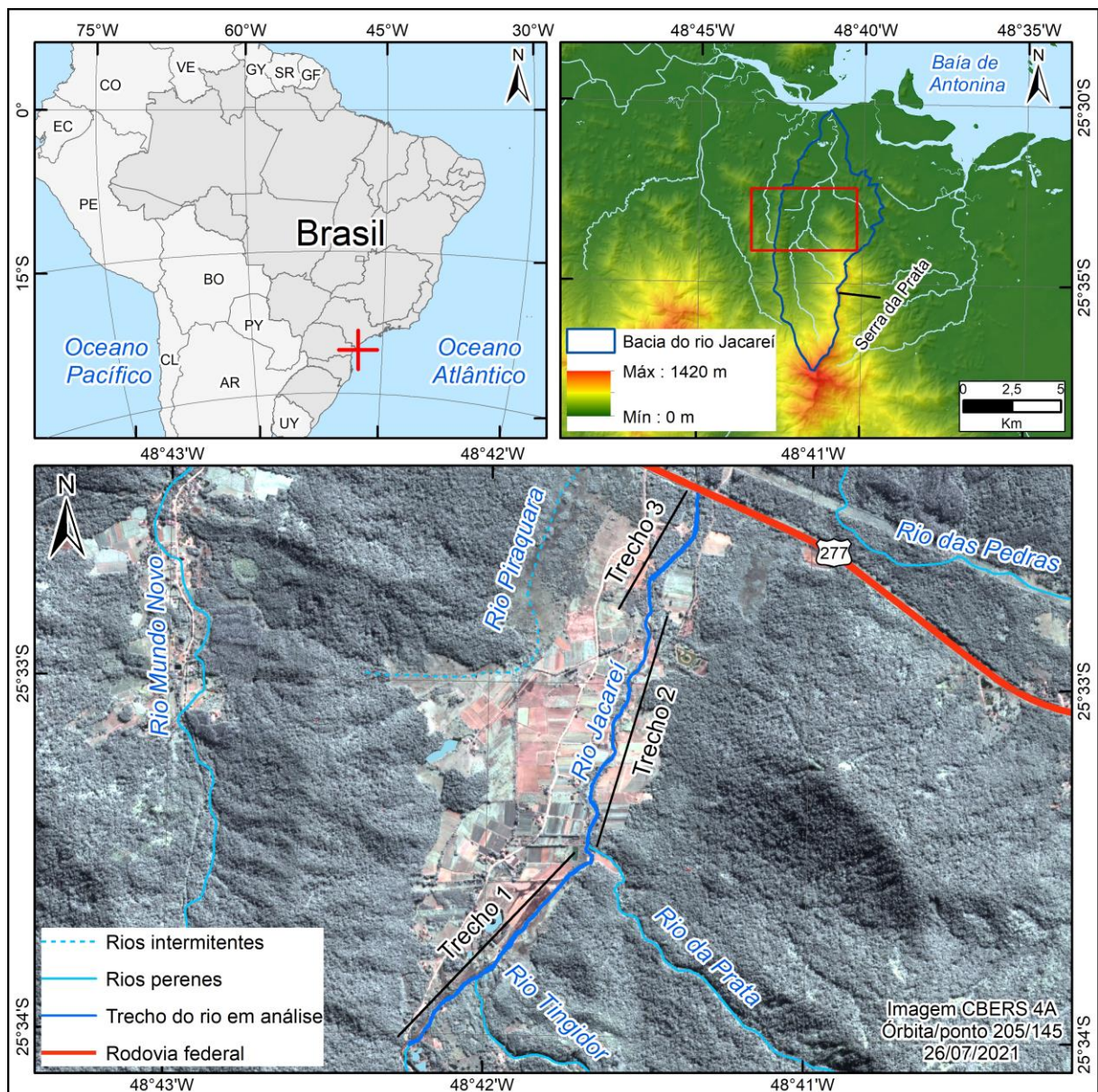
Ainda, cabe salientar o papel dos eventos extremos pluviométricos nas alterações geomorfológicas dos canais fluviais, principalmente no contexto de rios às margens da Serra do Mar. Além de acelerar a erosão de margens e causar inundações, tais eventos podem desencadear processos de corridas de lama e detritos, afetando os canais fluviais. Exemplo dessa situação é encontrado na bacia do rio Jacareí (litoral do Paraná). Em 2011, após acumulado pluviométrico 236,8 mm em 24h, diversos deslizamentos ocorreram na Serra da Prata, resultando em fluxos de lama e detritos que fluíram pelos vales e atingiram a planície aluvial do rio Jacareí (SILVEIRA et al., 2014; ZAPATA; SIMIANO; PINHEIRO, 2016). Como resultado, observou-se formação “instantânea” de depósitos de blocos e seixos nas desembocaduras de rios (leques) e depósitos arenosos na planície aluvial, bem como assoreamento do canal do rio Jacareí.

A partir de imagens orbitais, observa-se que em 2012 uma parte do canal do rio Jacareí na planície aluvial encontrava-se reaberto e com padrão retilíneo. Com o passar dos anos, o rio Jacareí foi se ajustando a nova configuração de paisagem da área. O caso do rio Jacareí levanta questionamentos quanto a evolução de canais fluviais com essa combinação específica de efeitos cumulativos e sinérgicos (eventos extremos, dinâmica de ajuste e intervenções antrópicas). Assim, objetiva-se analisar a evolução geomorfológica do rio Jacareí (anterior e posterior ao evento de 2011), considerando como critérios a forma em planta do canal em distintos anos (morfologia) e o cálculo de variáveis referentes à morfometria e à morfoodinâmica.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O rio Jacareí compõe o limite entre os municípios de Morretes e Paranaguá, ambos na porção central do litoral do Paraná. De acordo com a folha topográfica Alexandra (MI- 2858-2-NO - 1:25.000) (DSG, 1998), dos 14,81 km de extensão do rio Jacareí, 5,13 km estão situados nas vertentes da Serra da Prata, enquanto 9,68 km fluem sentido norte/nordeste pela planície litorânea paranaense, com foz na baía de Antonina. Esse estudo foca no trecho do canal afetado pelo evento de extremo de 2011, definido aqui entre a cota altimétrica de 30 metros e a ponte da BR 277 sobre o rio, totalizando 3,65 km de extensão (Figura 1), e distante 4,3 km da baía de Antonina. O recorte do canal fluvial em análise foi dividido em trechos (Figura 1) para auxiliar a discussão dos resultados, sendo eles: trecho 1 (mais a montante), trecho 2 (porção média da planície) e trecho 3 (mais a jusante).

Figura 1 - Localização do recorte do rio Jacareí em análise.



Elaboração - Os autores, 2022.

Foram adquiridas 14 imagens orbitais e suborbitais entre 1953 e 2019, totalizando 67 anos de dinâmica espacial e temporal, organizadas em uma base de dados geoespaciais – BDG (PAZ; DAL PAI; PAULA, 2020). A relação de imagens utilizadas bem como suas características principais são apresentadas na

Tabela 1. Nas edições cartográficas e análises em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foram utilizados os *softwares* QGIS 3.10.9 e ArcGIS 10.4.1, módulo ArcMap.

Tabela 1 - Imagens orbitais e suborbitais utilizadas na pesquisa.

Tipo imagem	Mês/Ano	Resolução/Escala	Pto. controle	Fonte	RMS
Fotografia aérea pancromática Cod. 31922, 31923 e 31924.	- /1953	1:25.000	23	IAT*	1,085
Fotografia aérea pancromática Cod. 51419, 51418, 51449 e 51450	Jun./1980	2m/1:25.000	25	IAT**	1,122
Ortoimagem – Cod. 2858-2 NO	- /1994	1,25m/1:25.000	22	IAT**	1,025
Fotografia aérea colorida Cod. 1917, 1918, 1956 e 1955	Abr./2003	1m/1:25.000	25	IAT**	1,156
Imagem orbital do acervo Google Earth	Mai./2006	0,5m	28	(GOOGLE EARTH, 2020a)	0,971
Imagem orbital pancromática	Mai./2011	1m	25	IAT - (World View I)	0,898
Imagem RapidEye	Jun./2011	5m	***	Geocatálogo (MMA)	***
Imagem suborbital coletada por aeronave pilotada remotamente	Out./2012	0,2m	28	(XAVIER, 2013)	0,751
Imagem orbital do acervo Google Earth	Set./2013	0,5m	28	(GOOGLE EARTH, 2020b)	0,985
Imagem orbital do acervo Google Earth	Out./2014	0,5m	27	(GOOGLE EARTH, 2020c)	0,897
Imagem orbital do acervo Google Earth	Dez./2015	0,5m	28	(GOOGLE EARTH, 2020d)	0,963
Imagem orbital do acervo Google Earth	Jul./2016	0,5m	28	(GOOGLE EARTH, 2020e)	0,977
Ortoimagens obtidas com tecnologia RADAR	Nov./2015	1m	**	IAT*	****
Imagem orbital do acervo Google Earth	Ago./2017	0,5m	28	(GOOGLE EARTH, 2020f)	0,895
Imagem orbital do acervo Google Earth	Set./2018	0,5m	27	(GOOGLE EARTH, 2020g)	0,985
Imagem suborbital coletada por aeronave remotamente pilotada	Jun./2019	0,2m	29	Levantamento realizado	0,742

* Instituto Água e Terra do Paraná, imagens adquiridas via ofício institucional. ** Instituto Água e Terra do Paraná, imagens adquiridas no endereço eletrônico da instituição. *** Imagens utilizadas unicamente na análise visual. **** Imagens utilizadas como base do georreferenciamento. Organização: Os autores, 2022.

Os três conjuntos de fotografias aéreas (1953, 1980 e 2003) passaram por correções de orientação e cor, remoção das marcas fiduciais e padronização do número de linhas e colunas (MA; BROADBENT; ZHAO, 2020). Após o tratamento citado, as fotografias foram ortoretificadas, utilizando algoritmo *structure from motion* (SFM) através do *software* aberto *MicMac* (RUPNIK; DAAKIR; PIERROT DESEILLIGNY, 2017). Os ortomosaicos gerados nessa etapa não apresentavam referencial espacial, mesma situação das imagens orbitais coletas no acervo Google Earth (2006 – 2018).

Para 2019 foi gerado ortomosaico a partir de imageamento com aeronave remotamente pilotada (RPA) modelo Mavic 2 Pro. Os planos de voo foram elaborados no aplicativo DJI *Pilot*. As imagens foram coletadas em junho de 2019 e foram processadas no *software* aberto *OpenDroneMap*, seguindo rotinas de alinhamento e geração de nuvens de ponto, obtendo ortomosaico e modelo digital de superfície (MDS) (SANTOS e KOENIGKAN, 2018; CARDOSO ARANGO e LOUHAICHI, 2019). Em outubro de 2012 foi realizado um levantamento com RPA na planície do rio Jacareí (XAVIER, 2013). Os dados foram disponibilizados pelos autores e as mesmas técnicas de processamento foram aplicadas.

Tanto os ortomosaicos das fotografias aéreas quanto aqueles gerados com dados coletados pela RPA foram georreferenciados com base em ortoimagens registradas por tecnologia RADAR, disponibilizadas pelo Instituto Água e Terra (IAT) e atribuída na escala 1:10.000 do padrão A do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Foram utilizadas as ortoimagens código 227307175 e 227307170. A imagem *WorldView I* de maio de 2011 já se encontrava georreferenciada. Foram utilizados entre 22 e 28 pontos de controle em cada imagem, apresentando erro quadrado médio (RMS) próximo a 1 (Tabela 1).

Em função das diferenças de escala e RMS entre as imagens orbitais e suborbitais, optou-se por duas abordagens no mapeamento do canal fluvial do rio Jacareí. Na primeira, aplicada para os dados de 1953, 1980 e 1994, 2003 e 2006, o canal fluvial foi vetorizado no formato linha (unifilar), com escala de tela fixada em 1:5.000. O canal do rio foi vetorizado no sentido montante para jusante, a partir da observação da presença de áreas abertas (clareiras), mata ciliar ou água. Houve dificuldade na vetorização do rio Jacareí nas fotografias aéreas de 1980 e 2003, sendo necessária fotointerpretação com auxílio de estereoscópio de mesa.

A segunda abordagem, aplicada nas imagens de 2012 a 2019, o canal fluvial foi vetorizado no formato poligonal (bifilar – escala em tela 1:2.000), devido à resolução espacial do material. O canal anastomosado de 2011 foi vetorizado em polígono, sendo empregado unicamente nas análises morfológicas, não sendo extraídas variáveis morfométricas e morfodinâmicas em função de incompatibilidades metodológicas. Análises de consistência topológica (*gaps* e *overlaps*) foram aplicadas visando assegurar a qualidade geométrica do dado gerado. Posteriormente, foram extraídas as linhas centrais dos polígonos do canal fluvial, por meio da ferramenta *centerline* do QGIS. Para auxiliar nas análises das mudanças no canal do rio Jacareí, também foram consultadas as bandas do infravermelho próximo (760-880 nm) das imagens *RapidEye* (resolução espacial de 5 m), disponibilizada pelo GeoCatalogo – Ministério do Meio Ambiente – de 08 de junho de 2011 e 01 de julho de 2012.

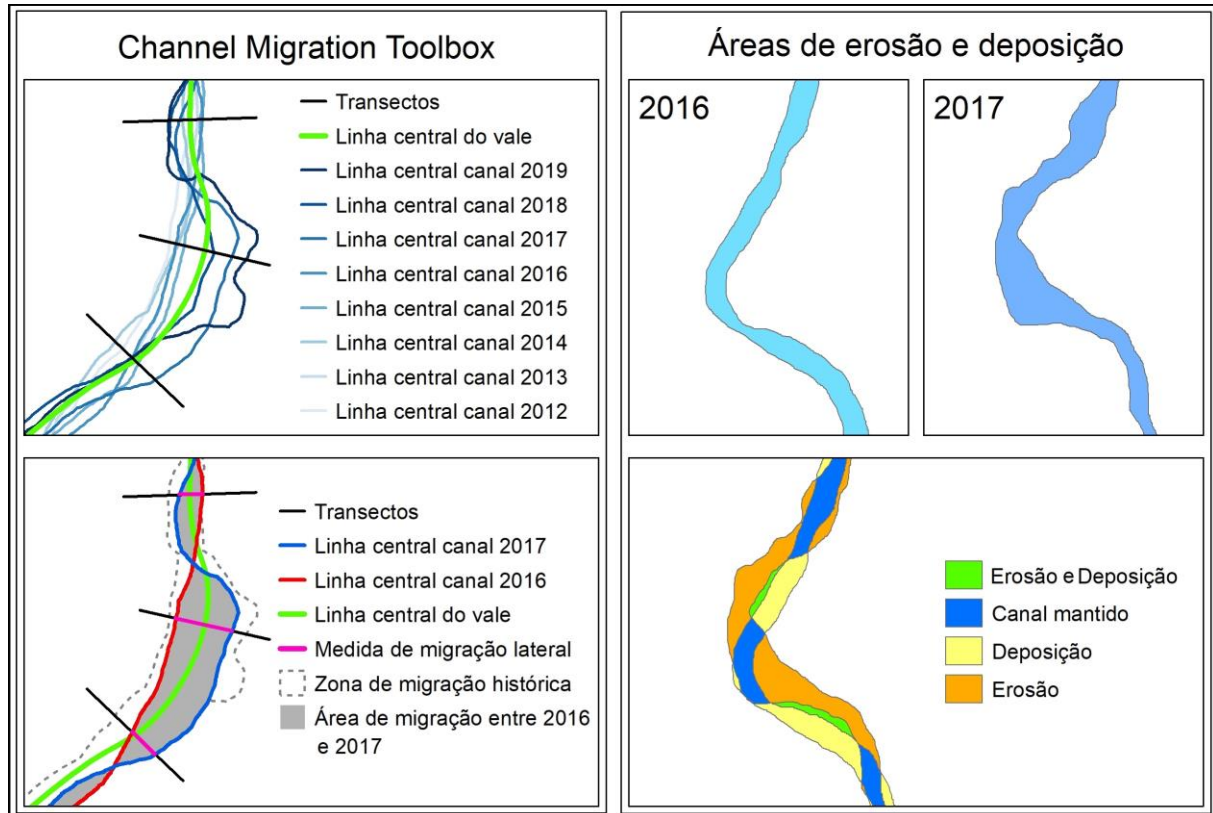
Quanto à morfometria, foram calculados os parâmetros de extensão total e índice de sinuosidade (IS). O cálculo da extensão do canal em km foi efetuado no ArcMap. O IS foi calculado considerando o comprimento do canal em cada ano, dividido pelo comprimento em linha reta do início ao final do trecho do canal em análise (HORTON, 1945). Os valores de IS foram classificados em: abaixo de 1,1 = canal retilíneo; entre 1,1 e 1,5 = canal sinuoso; acima de 1,5 = canal meandrante (CHARLTON, 2007).

Quanto à morfodinâmica, essa foi analisada em dois conjuntos de análises espaciais vetoriais distintos (Figura 2). O primeiro consistiu na obtenção da migração lateral média por período (MLMP) e da taxa de migração lateral por ano (TMLA), parâmetros obtidos a partir do conjunto de ferramentas do *Channel Migration Toolbox* (CMT), pacote de *scripts* executados no ArcMap e elaborado pelo departamento de ecologia do estado de Washington (EUA) (LEGG et al., 2014).

Nessa análise, os vetores dos canais unifilares foram divididos em dois grupos: pré-evento 2011 (1953-2006) e pós-evento (2012-2019). Com o *script* 1-Reach-Average do CMT, foi gerado a zona de migração lateral do canal entre períodos (ZMP). Em seguida, foram definidos transectos ao longo da linha central do vale (estabelecida manualmente observada a disposição espacial dos canais), visando mensurar a migração lateral em vários pontos. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *2-Transect Generation Tool*, definindo-se transectos a cada 50 metros (70 ao todo) de 200 metros de extensão (valor suficiente para abranger toda a variação temporal dos canais). Por fim, na ferramenta *3-Transect CMT*, foram mensurados os valores de migração lateral por transecto e, na sequência, calculados a MLMP (valor médio de migração lateral no conjunto de transectos) e da TMLA (MLMP dividido pelos anos do período

de análise). Os polígonos de ZMP foram unidos e dissolvidos no ArcMap, gerando a zona de migração histórica (ZMH) pré-evento e pós-evento.

Figura 2 - Conjuntos de análises espaciais vetoriais no estudo da morfodinâmica.



Fonte - Legg et al., (2014) e Hooke e Yorke (2010). Organização: Os autores, 2022.

O segundo conjunto de análises pautou-se na identificação de áreas de deposição e erosão (ou ambos os processos) através do cruzamento dos canais bifilares, de acordo com a proposta metodológica de Hooke e Yorke (2010). Essa abordagem foi aplicada apenas nos canais bifilares vetorizados entre 2012 e 2019, enfatizando o período de ajuste do canal após o evento extremo de 2011. Ao final, mensurou-se as áreas de erosão (E), deposição (D), ambos os processos (AP), relação entre área de erosão e deposição (E/D), área total de morfodinâmica (E+D+AP) e o índice de estabilidade lateral do canal (área do canal inalterada dividido pela área do canal ativa anteriormente).

Para auxiliar a discussão dos resultados foram obtidos dados de precipitação diária da estação meteorológica Paranaguá (Cod. 25534852) entre 01/01/2012 e 31/12/2020, via ofício institucional ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR). A estação encontra-se no interior da planície aluvial do rio Jacareí (16 m - 25°33'24.31"S/ 48°41'49.85"O). Campanhas de campo foram realizadas entre 2019 e 2020 para validação dos resultados e registros fotográficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise espacial realizada indicou que o rio Jacareí na porção da planície passou por diversas transformações nos 67 anos de análise - entre 1953 e 2019. O canal apresentou variações significativas em todas as métricas analisadas, resumidas na Tabela 2. Em 1953 observa-se os maiores valores de extensão e sinuosidade do rio Jacareí, com 5,42 km e 1,66, respectivamente.

Em 1953 a BR 277 não estava implantada. O rio Jacareí apresentava elevada concentração de meandros, exibindo padrão típico de rios nesse contexto de paisagem. Apesar de identificadas clareiras na vegetação na planície fluvial (indicando atividades antrópicas), existia mata ciliar ao longo de todo o canal fluvial. Em 1980, dois processos dão início aos impactos antrópicos na evolução do canal. O primeiro é a implantação da rodovia BR 277 (inaugurada em meados de 1969), cortando a planície aluvial e instalando uma ponte sobre o rio. O segundo é a supressão de vegetação ciliar nas margens do rio Jacareí. Apesar destas

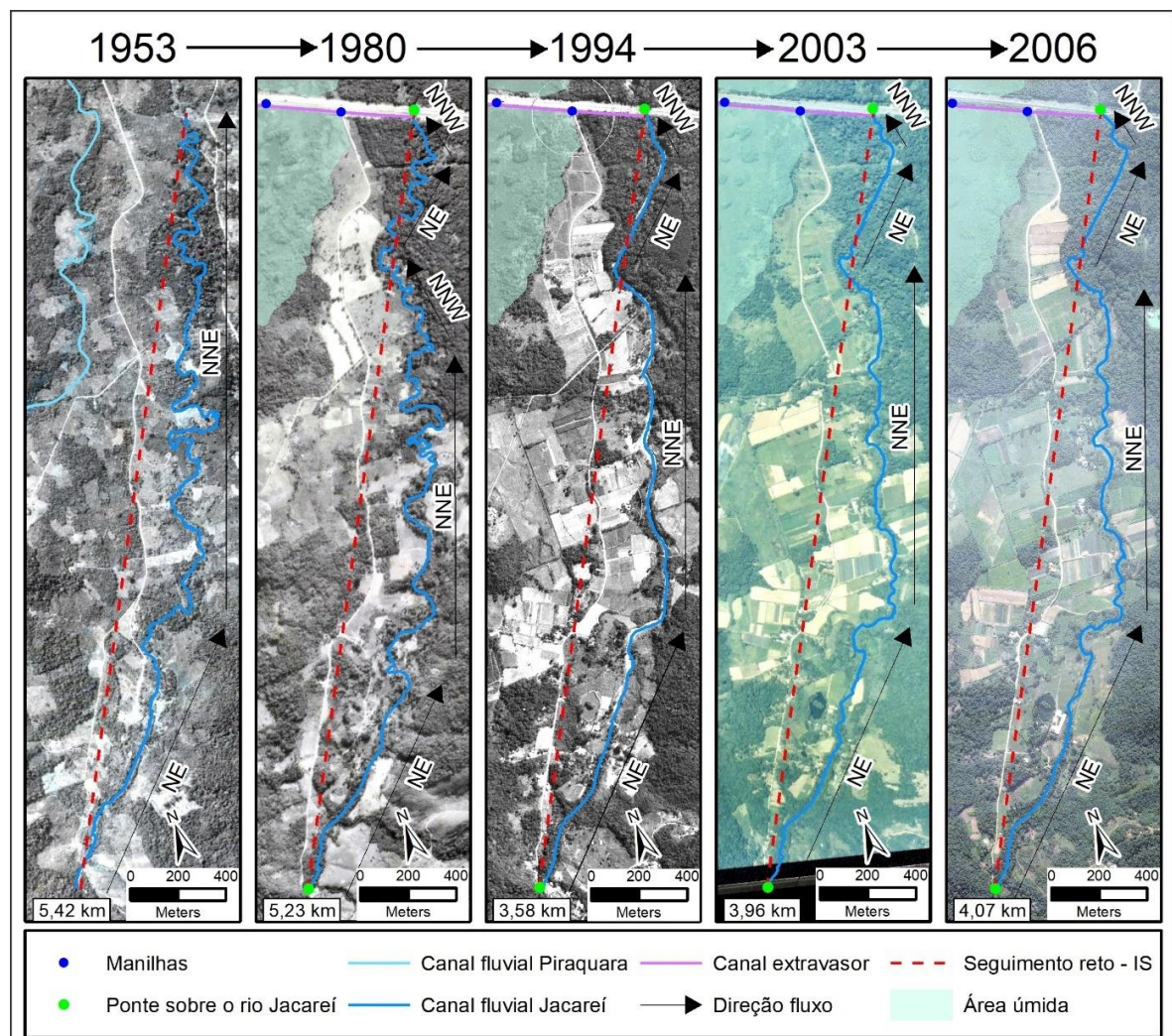
alterações, as medidas de comprimento e sinuosidade se mantêm próximas aos valores de 1953. A evolução da forma em planta do canal é apresentada nas Figuras 3 e 4.

Tabela 2 - Variação do comprimento e índice de sinuosidade (IS) do recorte do rio Jacareí analisado.

Pré-evento				Pós-evento			
Ano	Comprimento	IS*	Classificação	Ano	Comprimento	IS*	Classificação
1953	5,42	1,66	Meandrante	2012	3,41	1,04	Retilíneo
1980	5,23	1,60	Meandrante	2013	3,55	1,09	Retilíneo
1994	3,63	1,11	Sinuoso	2014	3,57	1,09	Retilíneo
2003	4,13	1,26	Sinuoso	2015	3,6	1,10	Sinuoso
2006	4,17	1,28	Sinuoso	2016	3,62	1,11	Sinuoso
				2017	3,65	1,12	Sinuoso
				2018	3,65	1,12	Sinuoso
				2019	3,69	1,13	Sinuoso

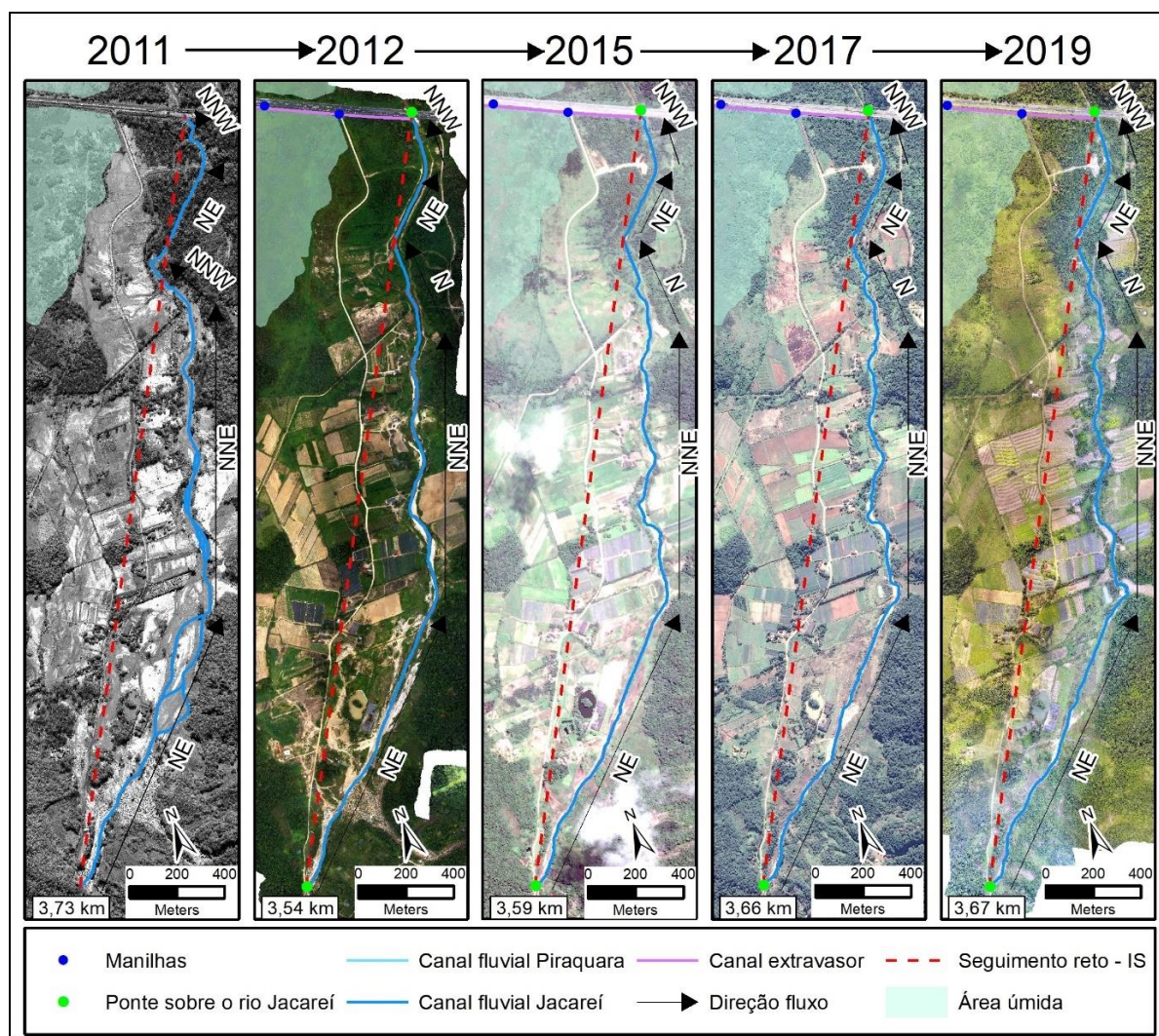
* Seguimento reto estimado em 3,27 km. Organização: Os autores, 2022.

Figura 3 - Evolução da forma em planta do trecho do rio Jacareí em análise entre 1953 e 2006.



Organização: Os autores, 2022.

Figura 4 - Evolução da forma em planta do trecho do rio Jacareí em análise entre 2011 e 2019.



Organização: Os autores, 2022.

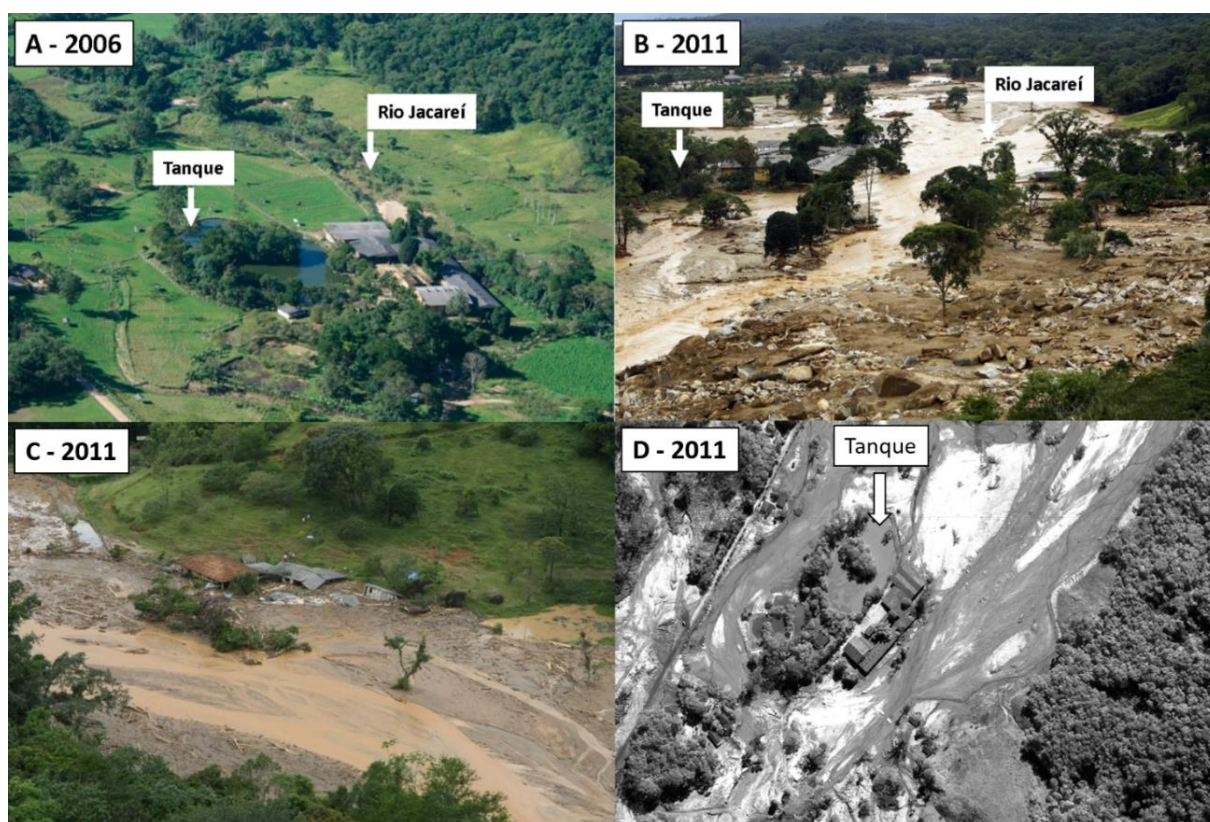
Os cenários de 1953 e 1980 são os únicos onde a sinuosidade do rio Jacareí foi classificada como meandros. Do ponto de vista morfológico, o rio apresentava padrão de meandros tortuosos, de acordo com a classificação de Stevaux e Latrubesse (2017). Em 1980, nota-se o surgimento de trechos com direção de fluxo distinta, possivelmente devido ao controle estabelecido pela ponte da BR 277 sobre o rio.

Além disso, pode-se observar nas fotografias aéreas a formação de áreas úmidas nas proximidades do rio Piraquara, certamente relacionadas ao aterro da rodovia BR 277, visto que o barramento forçado pela estrutura represa dos fluxos do rio Piraquara. Não foi possível identificar o canal do rio Piraquara nas fotografias de 1980, apenas manilhas e um canal paralelo à rodovia BR 277 que desagua no rio Jacareí, possivelmente instalado visando mitigar/escoar eventos de inundação nessa área.

Em 1994, muito provavelmente, o rio Jacareí passou por obras de engenharia, devido à significativa redução nos valores de extensão (3,63) e sinuosidade (1,11). O canal foi encurtado em torno de 1,5 km (28,7 %) em relação a 1980. A partir dos dados consultados (documentos públicos e dados geoespaciais), não é possível estimar o ano, mas em algum momento entre 1980 e 1994 o canal passou por uma retificação, implicando na diminuição do IS para 1,11, enquadrado como canal retilíneo.

Em 2003 a extensão do canal fluvial do rio Jacareí aumentou em 300 metros. Como consequência, o IS passou para 1,26, sendo classificado como canal sinuoso. Os meandros formados após 1994 são classificados como irregulares. Provavelmente não foram realizadas manutenções nas intervenções antrópicas no canal fluvial, o que permitiu a retomada dos processos naturais de meandramento do canal, ainda que discretos. Situação semelhante foi observada em 2006, com IS estimado em 1,28, ligeiramente maior que em 2003, corroborando a ideia de que o rio Jacareí estava em processo de retomada do seu padrão meândrico. A Figura 5-A mostra como o canal do rio Jacareí estava em 2006, por meio de uma fotografia oblíqua.

Figura 5 - Vista do trecho 1 do canal na planície. A: Rio Jacareí e entorno antes do evento. B: Rio Jacareí e entorno após o evento. C: Visão aproximada do assoreamento do canal fluvial do rio Jacareí. D: Visão vertical do assoreamento do canal fluvial do rio Jacareí (escala aproximada 1:2.500).



Fonte - A: Cabanha NSA (2021). B: KISSNER (2011). C: NASCIMENTO (2011). D: IAT (2011) - Coordenadas aproximadas: 25°33'47.87"S - 48°41'59.46"O. Organização: Os autores, 2022.

Por outro lado, em 2011, observa-se a maior e mais intensa transformação no canal já registrada. No dia 11 de março de 2011 ocorreram uma série de deslizamentos na Serra da Prata, nas vertentes sul, sudeste e leste da bacia do rio Jacareí. Os deslizamentos foram predominantemente translacionais e desencadearam corridas de lama e detritos que inundaram a planície do rio Jacareí (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2014; SILVEIRA et al., 2014).

O aterro da rodovia BR 277 represou a inundação de lama que atingiu grande parte da planície (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2014). O material lenhoso mobilizado pelo evento acumulou na ponte da rodovia BR 277, causando sua destruição em questão de horas. A inundação, até então contida na planície, foi escoada para a baía de Antonina, escavando canais na porção mais a montante do trecho analisado,

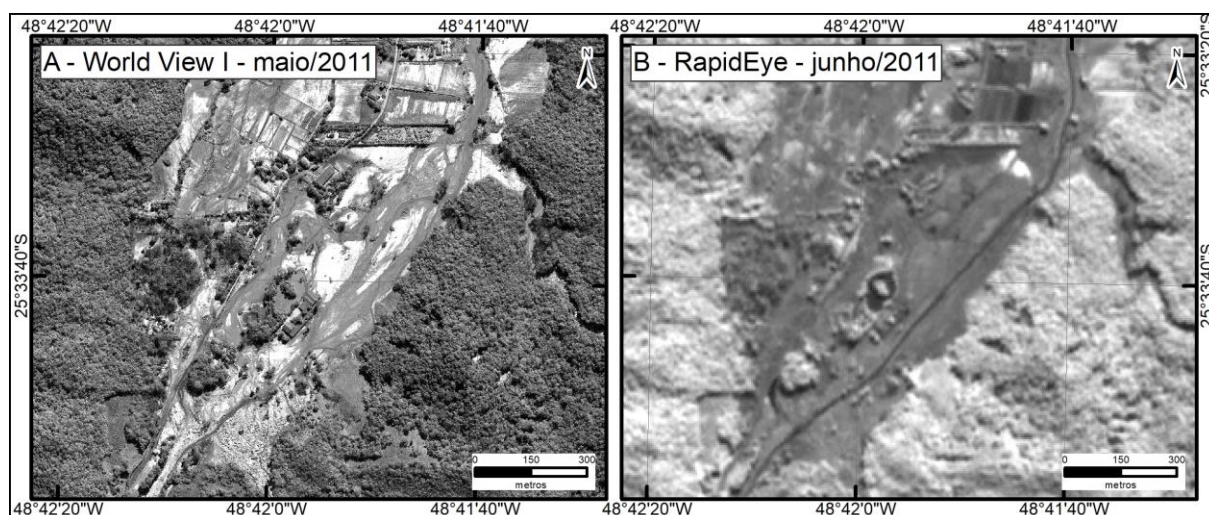
formando multicanais (Figura 5-B, C e D). Fotografias registradas na semana do evento mostram este processo (Figura 5-B e C).

Com base em uma imagem orbital registrada dois meses após o evento, nota-se que os trechos 1 e 2 do rio em análise foram totalmente assoreados (Figura 5-D). Ao analisar o canal, observa-se três padrões no canal do rio Jacareí após o evento: 1) multicanais com barras centrais (trecho 1), 2) canal único e sinuoso com sedimentos entulhados nas margens (trecho 2) e 3) canal único e reto com acúmulo de material lenhoso (trecho 3).

O evento de grande magnitude ganhou destaque rapidamente nos principais meios de comunicação do Paraná (CARRIEL, 2011; LEITÓLES; GERON; ALMEIDA, 2011; RUPP; CARRIEL; MILAN, 2011). Outorga para intervenção na ponte do rio Jacareí foi emitida em junho de 2011 para a Concessionária Ecovia, responsável pelo trecho de rodovia entre Curitiba e Paranaguá (PARANÁ, 2011a). Em julho de 2011 foi emitida a outorga para desassoreamento de material na área próxima à ponte da rodovia BR 277 sobre o rio Jacareí (PARANÁ, 2011b). Em dezembro de 2011 foi aberta licitação para retirada de material lenhoso das margens e imediações do rio Jacareí (PARANÁ, 2011c). Essas intervenções em escala estadual e outras em escala municipal e até pelos próprios moradores (não encontradas documentadas) contribuíram para mudanças no canal fluvial identificadas no ano seguinte.

Em setembro de 2012 o canal fluvial encontrava-se reaberto, apresentando a menor extensão observada nesse estudo, com 3,45 km. Como consequência, o IS decresceu para 1,04, se enquadrando como canal retilíneo. Analisando a banda do infravermelho próximo das imagens *RapidEye*, pode-se estimar que a reabertura e retificação do canal fluvial do rio Jacareí ocorreu entre 02 de maio e 08 de junho de 2011 (Figura 6). Entre 2012 e 2019 observou-se contínuo trabalho do rio Jacareí frente ao estoque de sedimentos deixado pelo evento. Progressivamente as métricas de extensão e IS foram ampliando, devido à retomada de curvas no canal principalmente no trecho 2, pela erosão e deposição de margens, com o rio voltando à classificação “sinuoso” em 2015.

Figura 6 - Reabertura do canal fluvial do rio Jacareí após assoreamento estimado entre a imagem A (maio) e B (junho). A – Imagem *World View I* registrada em maio de 2011. B – Imagem *RapidEye* registrada em 08 de junho de 2011. Coordenadas aproximadas do centroide das imagens: 25°33'39.15"S - 48°41'57.68"O. Escala aproximada 1:7.500.



Fonte - A: IAT (2011). B: MMA (2014). Organização: Os autores, 2022.

Quanto a morfodinâmica, constatou-se que no período pré-evento de 2011 (1953-2006) a migração lateral média do canal foi de 80,91 metros, equivalente a uma taxa média de 1,53 metro por ano (Tabela 3). A

maior taxa média de migração lateral foi observada entre 1980 e 1994, sendo esse resultado comprometido em função da provável intervenção antrópica no canal fluvial, não refletindo a dinâmica do rio.

Tabela 3 - Valores de migração lateral média estimada para o período anterior ao evento de 2011.

Período	Migração lateral média do período		Taxa de migração lateral por ano	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Entre 1953 e 1980 (27 anos)	43,86	35,48	1,62	1,31
Entre 1980 e 1994 (14 anos)	24,05	20,27	1,72	1,45
Entre 1994 e 2003 (9 anos)	12,92	6,72	1,43	0,75
Entre 2003 e 2006 (3 anos)	4,08	3,28	1,36	1,09
Entre 1953 e 2006 (53 anos)	80,91	40,24	1,53	0,76

\bar{x} - média. σ - desvio padrão. Organização: os autores, 2022.

No período pós-evento (2012-2019) foi observada a migração lateral média do canal em 24,5 metros, equivalente a 3,9 metros por ano. Tal estimativa é aproximadamente 2,5x maior que a taxa média estimada para o período pré-evento. A maior taxa observada foi entre os anos de 2017 e 2018, registrando migração lateral média de 6,46 metros (Tabela 4). Esse resultado provavelmente está relacionado à presença de sedimentos com baixo grau de consolidação nas margens, depositados pelo evento extremo de 2011.

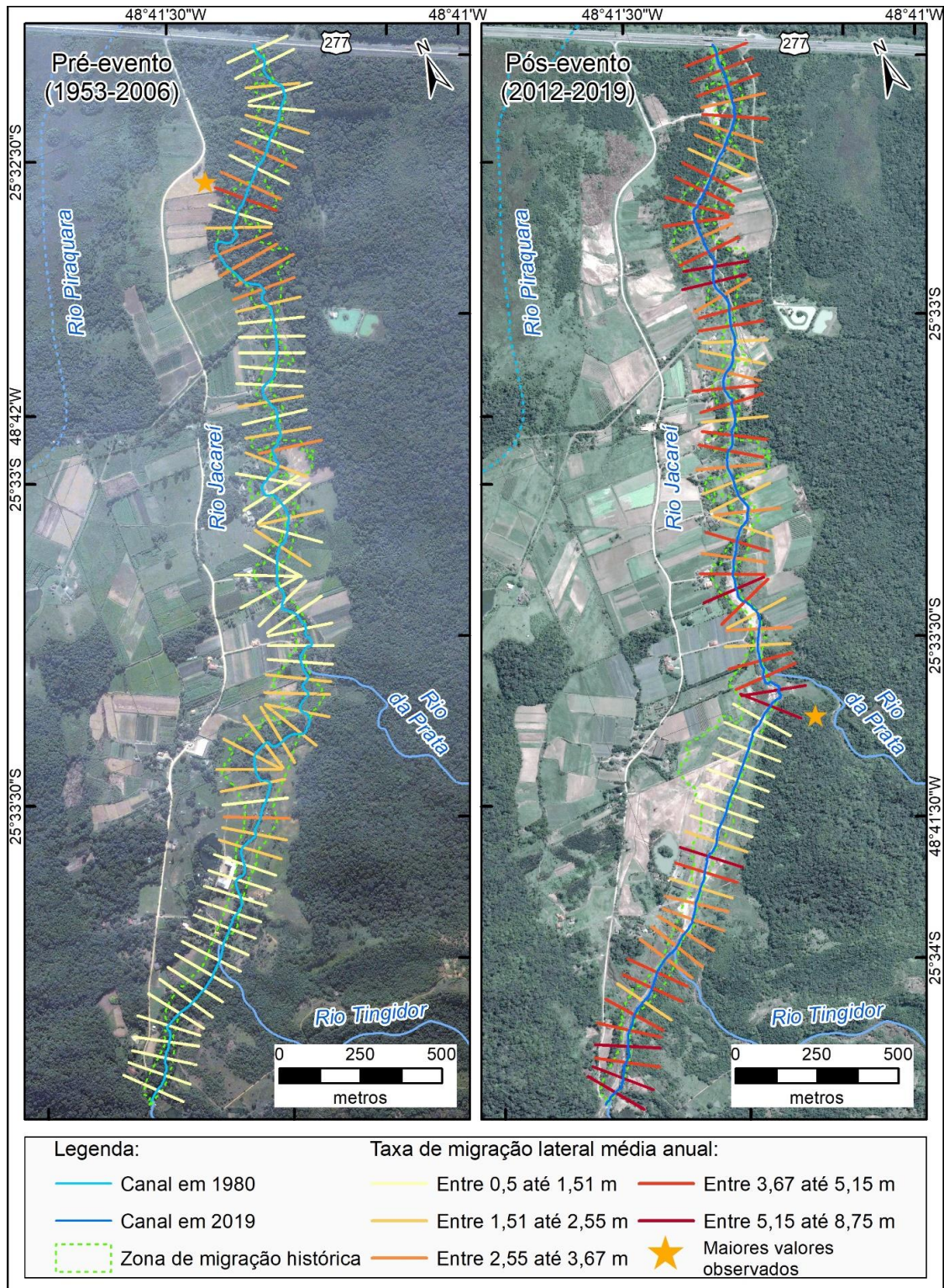
Tabela 4 - Valores de migração lateral média estimada para o período após o evento de 2011.

Período	\bar{x}	σ
Entre 2012 e 2013	4,80	2,20
Entre 2013 e 2014	3,44	2,18
Entre 2014 e 2015	3,48	2,21
Entre 2015 e 2016	4,08	2,99
Entre 2016 e 2017	4,23	3,76
Entre 2017 e 2018	6,46	3,27
Entre 2018 e 2019	2,91	2,27

\bar{x} – média. σ – desvio padrão. Organização: Os autores, 2022.

A Figura 7 apresenta uma síntese da distribuição espacial das medidas de migração lateral nos períodos pré e pós-evento de 2011. No período 1953-2006, o ponto com maior dinâmica foi observado no trecho 3, com migração lateral total de 209 metros (taxa de 3,94 metros ao ano). Já no período 2012-2019, o maior valor observado foi no início do trecho 2, com 52,51 metros de migração lateral total (taxa de 8,75 metros ao ano).

Figura 7 - Taxa de migração média anual no período anterior e após o evento de 2011 por transecto.



Organização: Os autores, 2022.

Com ênfase na morfodinâmica pós-evento, observou-se predomínio de processos deposicionais (Tabela 5). Apenas nos períodos 2014-2015 e 2018-2019 foi constatado predomínio de processos erosivos na dinâmica fluvial. O período entre 2017 e 2018 apresentou a maior área total de morfodinâmica (4,72 hectares), com elevados valores de áreas de erosão (1,95 hectares) e deposição (2,07 hectares) (Tabela 5). Os maiores valores do índice de estabilidade lateral do canal foram observados nos períodos 2012-

2013 e 2014-2015 (Tabela 5). No sentido oposto, no período 2017-2018 foi constatado o menor valor no índice de estabilidade lateral do canal.

Tabela 5 - Parâmetros morfodinâmicos entre 2012 e 2019. Áreas de erosão (E), deposição (D), erosão e deposição (E/D), área de canal anterior (CA), área de canal mantido (CM) e índice de estabilidade lateral do canal (IELC).

Ano	E ¹	D ¹	AP ¹	E/D*	Área total de morfodinâmica**	CA**	CM**	IELC
Entre 2012 e 2013	1,39	1,80	0,00	0,77	3,19	4,31	2,92	0,62
Entre 2013 e 2014	0,45	2,30	0,02	0,20	2,78	2,46	2,00	0,46
Entre 2014 e 2015	1,74	0,93	0,07	1,87	2,74	3,26	1,53	0,62
Entre 2015 e 2016	1,34	1,58	0,07	0,85	2,99	3,02	1,68	0,52
Entre 2016 e 2017	1,15	1,52	0,12	0,76	2,79	2,66	1,50	0,50
Entre 2017 e 2018	1,95	2,07	0,70	0,94	4,72	2,53	0,59	0,22
Entre 2018 e 2019	1,25	1,10	0,06	1,14	2,42	2,69	1,43	0,57

* Amarelo: predomínio de processos deposicionais. Verde: predomínio de processos erosivos. ** Valores em hectares. Organização: Os autores, 2022.

Discussão

Condições morfológicas e morfométricas similares ao identificado no rio Jacareí nessa análise também foram observadas em outros rios na planície litorânea às margens da Serra do Mar. Os rios Cachoeira (Antonina/PR – IS de 1,89 em 1980) e Três Barras (Garuva/SC – IS de 3,28 em 1978) também se enquadraram como meandrante, corroborando a ideia deste ser padrão natural de rios nesta paisagem (ASSIS, 2011; MELLO et al., 2018).

As súbitas mudanças no rio Jacareí em 1994 também foram observadas no rio Sagrado (Morretes/PR, bacia vizinha ao rio Jacareí), onde o terço inferior do canal, situado na planície litorânea, passou de meandrante para retilíneo entre 1954 e 1980, devido a intervenções antrópicas (KLEINA, 2015). Processos similares foram observados na bacia do rio Macaé (Rio de Janeiro), que entre 1940 e 1980, 60 km do canal principal (rio Macaé) e afluentes foram retificados (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012). O IS do canal do rio Macaé que em 1968 era de 1,58 (meandrante) estava em 1,01 nos anos 2000 (retilíneo) (ASSUMPÇÃO e MARÇAL, 2012).

O aumento da sinuosidade em 2003 no rio Jacareí, após intervenções antrópicas também foi observado em um trecho de planície do rio Pequeno (Antonina/PR). O rio teve seu curso natural alterado para atividades de bubalinocultura. Após mudanças de uso da terra, com adoção de práticas agroflorestais, em pouco mais de uma década a paisagem natural de entorno do rio foi recuperada, com ganho de vegetação, aumento de biodiversidade e recuperação da sinuosidade do rio (VANESKI FILHO e TORRES, 2019).

Em 2011, o intenso processo de sedimentação advindo das corridas de lama, alterou drasticamente o canal fluvial do rio Jacareí. O evento impôs padrão anastomosado no trecho 1. Tal padrão teve sua gênese em decorrência do escoamento da planície aluvial inundada após o rompimento da ponte da BR 277 sobre o rio Jacareí. Bigarella (2003) relata que essa feição anastomosada formada após corridas de lama tem um reduzido tempo de permanência na paisagem, onde o rio logo encontraria zonas preferenciais de escoamento no material sedimentar e escavaria um novo canal, porém tal processo foi interrompido por obras de engenharia ainda em 2011. Essas intervenções antrópicas diretas afetam não apenas o canal fluvial, como também dinâmicas ambientais na porção a montante, na planície e no estuário a jusante (CUNHA, 2012; BARROS e MAGALHÃES JÚNIOR, 2020; CHEREM et al., 2020; HERITAGE e ENTWISTLE, 2020).

A literatura aponta que a retificação implica diretamente no aumento da velocidade de escoamento e da energia potencial da água no canal (CUNHA, 2012; GUGLIOTTA e SAITO, 2019; HERITAGE e

ENTWISTLE, 2020). Tal dinâmica poderia ampliar o processo de erosão remontante na Serra do Mar, resultar em corte de meandros, diminuir o tempo de permanência da água na bacia, impedir a ciclagem de nutrientes com a planície de inundação, ampliar taxas de produção de sedimentos, entre outros impactos (CUNHA, 2012; PAULA, 2016; ONDRUCH et al., 2018; SWINNEN et al., 2020).

Tal como observado entre 1994-2003, o rio Jacareí após 2012 apresentou tendência a retomar sua sinuosidade. Foi no período após 2011 que se observaram as maiores taxas de migração lateral anual no rio, processo muito provavelmente acelerado em função do aumento de energia do canal devido a obras de engenharia. Também cabe salientar que, além do ritmo natural e contínuo da morfodinâmica do rio, os eventos extremos pluviométricos podem potencializar momentaneamente estes processos. Entre 2017 e 2018 foi constatado a maior área de morfodinâmica e a maior taxa de migração lateral do canal, no mesmo período em que foram registrados 15 eventos extremos pluviométricos (Acima de 50 mm em 24h – Tabela 6).

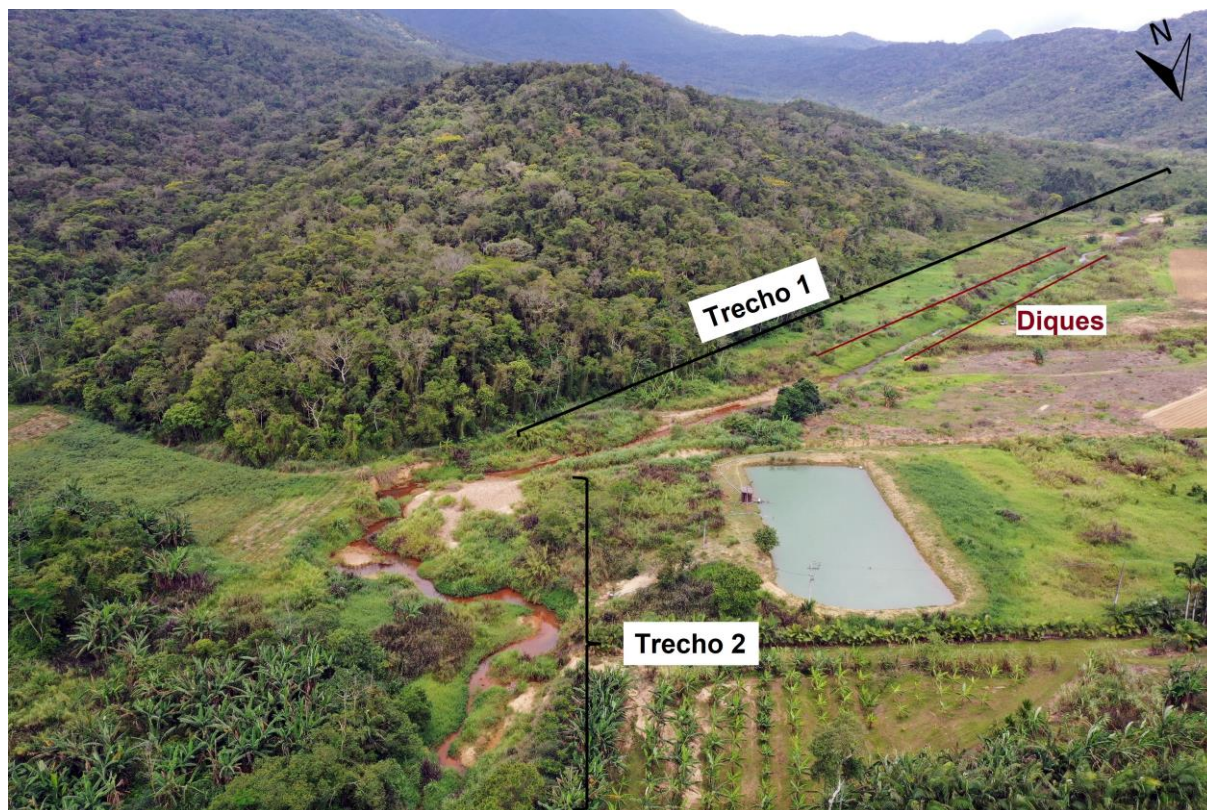
Tabela 6 - Dados de precipitação anual na estação meteorológica consultada. Critério para classificar eventos extremos pluviométricos (50mm/24h) baseado em Vanhoni e Mendonça (2008).

Ano	Precipitação acumulada anual (mm) ¹	Dias chuva ¹	Eventos extremos entre 50 e 100 mm em 24h ¹	Eventos extremos acima de 100 mm em 24 h ¹	Maior evento pluviométrico registrado(mm/24h) ¹	ENOS ²
2013	1778,6	214	5	0	83,4	-
2014	1448	186	8	0	97,6	-
2015	2494,4	244	5	1	113	El niño – Forte intensidade
2016	1936,8	186	7	1	101	El niño – Forte intensidade
2017	2158,4	217	7	2	257,6	La niña – Moderada intensidade
2018	2003	196	5	1	123,8	La niña – Moderada intensidade
2019	1688,6	193	5	0	71,6	La niña – Forte intensidade
2020	1568,6	177	7	0	65	La niña – Forte intensidade

Fonte - SIMEPAR (2020) e CPTEC (2020). Organização: Os autores, 2022.

As menores taxas de migração lateral anual do canal no pós-2011 foram observadas em trechos do rio margeados por diques originados nas obras no canal (Figura 7). Relacionado a essa condição, a localidade do rio com maior taxa de migração lateral no pós-2011 situa-se logo após trecho do rio com contínua presença de diques marginais (após o trecho 1). Esse cenário ilustra os processos narrados anteriormente, onde a retificação do canal aumenta a energia do fluxo, podendo resultar em processos erosivos como no exemplo.

Figura 7 - Visualização do trecho 1, com seus diques marginais, e início do trecho 2, com o ponto de maior migração lateral do canal. Registro em 21/10/2020.



Organização: Os autores, 2022.

Por fim, atribui-se a intensa dinâmica de feições fluviais no pós-evento às condições particulares desta paisagem alterada. As feições imediatamente nos pós-2011 se tratam do trabalho do rio Jacareí frente ao estoque de sedimentos deixado pelas corridas de lama e detritos e as intervenções antrópicas. Considerando que o rio não tem competência e capacidade de manter tais feições, as mesmas foram progressivamente agregadas à planície de inundação. Tal comportamento explica a diminuição da quantidade de feições entre 2012 e 2019.

CONCLUSÕES

O trecho do rio Jacareí analisado passou por diversas transformações geomorfológicas entre 1953 e 2019. Após os deslizamentos e corridas de lama e detritos de março de 2011, o rio Jacareí apresentou mudanças profundas, com soterramento do canal, imposição do padrão anastomosado, assoreamento de margens e entulhamento por material sedimentar e lenhoso.

A perda de sinuosidade foi observada em dois momentos (1994 e 2011) em função de obras de engenharia no canal fluvial. A retificação do canal fluvial pode estar relacionada com as maiores taxas de migração lateral do rio, observadas no pós-2011. Outras ações antrópicas diretas também foram identificadas, como a supressão de vegetação ciliar, construção de aterro e ponte sobre o rio e instalação de área de extração de areia. Todas essas ações geraram impactos na dinâmica fluvial, podendo ocorrer de forma cumulativa e sinérgica em alguns casos. No período entre 2017 e 2018 foi registrado os maiores valores nas variáveis referentes a morfodinâmica do canal, devido aos eventos extremos pluviométricos registrados neste período.

Com os resultados obtidos para o canal do rio Jacareí e consultando estudos para outros canais no contexto de planície litorânea, pode-se concluir que após obras de desassoreamento e retificação, o canal fluvial tende a retomar sua sinuosidade, evidenciando sua resiliência. Essa questão fica evidenciada ao se observar as transições no padrão do rio Jacareí entre 1994 e 2003 e 2012 e 2019, um relativo curto espaço de tempo.

Assim, recomenda-se estudos que discutam os impactos dessas obras e abordem a sua eficiência, visto a velocidade de ajuste do rio. Essas condições de paisagem observadas no rio Jacareí, em especial os depósitos sedimentares formados no evento de 2011, devem ser considerados em ações de planejamento e ordenamento territorial na área.

Cabe salientar também que o primeiro período de análise (pré-evento de 2011) apresenta um recorte temporal maior em relação ao segundo período (pós-evento de 2011). Assim, as mudanças abruptas no ritmo de migração que ocorreram no pré-evento de 2011 podem ter sido diluídas no recorte temporal. Nesse sentido, é necessário a continuidade nos estudos da forma em planta do rio Jacareí, visando aprofundar a investigação das interpretações aqui feitas.

Recomenda-se também estudos verticalizados acerca da influência dos eventos extremos de precipitação na migração lateral dos rios em margem serrana, temática com abordagem insipiente na literatura nacional. Além de uma abordagem dos eventos extremos pluviométricos, é interessante analisar o papel das secas e estiagens na dinâmica de canais fluvial neste contexto de paisagem. Por fim, é notável nas fotografias aéreas e imagens orbitais consultadas a dinâmica e diversidade das barras fluviais após o evento de 2011, sendo recomendados estudos de caracterização e análise desse comportamento.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor. À Universidade Federal do Paraná. À equipe do Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS) e do Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB), ambos da UFPR. Ao Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação (CEPAG) da UFPR. Os autores também agradecem aos revisores desse artigo e a editora da revista Caminhos de Geografia, pelas críticas e sugestões ao longo dos processos de submissão, revisão e publicação.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. Q. S. Análise da dinâmica fluvial do rio Cachoeira (Antonina/PR), entre os anos de 1954 e 2005. **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 2, p. 85–111, 2011. <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2012v21n2p85>
- ASSUMPCÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 29, n. 3, p. 19–36, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228972>>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- 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. (Eds.). **HIDROGEOMORFOLOGIA: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 23–49.
- BIGARELLA, J. J. Movimentos de massa. In: **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Volume 3 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. p. 1024–1098.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; SANTOS MARÇAL, M.; LIMA, R. THE USE OF THE RIVER STYLES FRAMEWORK AS A TOOL TO 'WORK WITH NATURE' IN MANAGING RIVERS IN BRAZIL: EXAMPLES FROM THE MACAÉ CATCHMENT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 4, p. 751–771, 2019. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i4.1559>
- CABANHA NSA. Visão aérea da propriedade Cabanha NSA. Disponível em: <http://www.cabanhansa.com.br/>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- CARDOSO ARANGO, J. A.; LOUHAICHI, M. **Protocol for data collection and processing from UAVs imagery using OpenDroneMap**. International Center for Tropical Agriculture, 2019. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/106851/Report_F&F_OpenDroneMap.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- CARRIEL, P. Área destruída abrange faixa de 20 quilômetros. **Gazeta do Povo**, 13 mar. 2011. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/area-destruida-abrange-faixa-de-20-quilometros-e51ksq85wuf4o7zfufcleqmm/>>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- CPTEC - Centro De Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **ENOS**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 12 ago. 2020.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London and New York: Taylor & Francis, 2007. <https://doi.org/10.4324/9780203371084>

CHEREM, L. F. S.; FARIA, S. D.; ZANCOPE, M. H. C.; SORDI, M. V. DE; NUNES, E. D.; ROSA, L. E. Análise morfométrica em bacias hidrográficas. In: MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Eds.). **Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 175–215.

CUNHA, R. F.; JARENTCHUK JUNIOR, O.; OLIVEIRA, F. A. Análise sedimentar e geomorfológica para compreensão da dinâmica fluvial local em ambiente de planície costeira na região norte de Santa Catarina. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 20–36, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41i0.48065>

CUNHA, S. B. Rios desnaturalizados. In: BARBOSA, J. L.; LIMONAD, E. (Eds.). **Ordenamento territorial e ambiental**. 1. ed. Niterói: Editora da UFF, 2012. p. 171–191.

DSG - DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. Carta Topográfica. Folha: Alexandra, MI 2858-2NO. Escala:1:25.000, coloridas, 1998.

DUFOUR, S.; RINALDI, M.; PIÉGAY, H.; MICHALON, A. How do river dynamics and human influences affect the landscape pattern of fluvial corridors? Lessons from the Magra River, Central–Northern Italy. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 107–118, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.007>

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**: Release 10.4.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2013.

FONSECA, G. A. B. The vanishing Brazilian Atlantic forest. **Biological Conservation**, v. 34, n. 1, p. 17–34, 1985. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(85\)90055-2](https://doi.org/10.1016/0006-3207(85)90055-2)

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (08 de Dezembro de 2015)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020d. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (09 de Março de 2013)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020b. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (09 de Julho de 2016)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020e. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (09 de Setembro de 2018)**.25°33'16.40"S, 48°41'45.02"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020g. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (13 de Agosto de 2017)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020f. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (18 de Maio de 2006)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020a. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOOGLE EARTH. **Localidade de Floresta (Morretes - Paraná) - (27 de Outubro de 2014)**.25°33'6.14"S - 48°41'36.21"O - Altitude do Ponto de Visão 2 km. Maxar Technologies, 2020c. Disponível em: <<http://maps.google.com/?ll=-25.55455,-48.69584&z=15&t=h>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GRABOWSKI, R. C.; GURNELL, A. M. Using historical data in fluvial geomorphology. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. (Eds.). **Tools in Fluvial Geomorphology**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2016. p. 56–75. <https://doi.org/10.1002/9781118648551.ch4>

GUGLIOTTA, M.; SAITO, Y. Matching trends in channel width, sinuosity, and depth along the fluvial to marine transition zone of tide-dominated river deltas: The need for a revision of depositional and hydraulic models. **Earth-Science Reviews**, v. 191, p. 93–113, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.002>

HERITAGE, G.; ENTWISTLE, N. Impacts of river engineering on river channel behaviour: implications for managing downstream flood risk. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1355, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12051355>

HOOKE, J. M.; YORKE, L. Rates, distributions and mechanisms of change in meander morphology over decadal timescales, River Dane, UK. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, n. 13, p. 1601–1614, 2010. <https://doi.org/10.1002/esp.2079>

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275–370, 1945. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

IAT - Instituto Água e Terra. Mapeamento Geológico-Geotécnico da Porção Leste da Serra do Mar do Estado do Paraná. **Serra da Prata**. Curitiba, 2011. 1 imagem de satélite. World View I, 05 mai. 2011.

KISSNER, O. Dilma garante apoio ao governador Beto Richa para ações no Litoral. **Agência Estadual de Notícias**, Curitiba, 12 mar. 2011. Disponível em: <http://www.historico2.aen.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=146346&evento=28861>. Acesso em: 12 ago. 2020.

KLEINA, M. Ajustes Fluviais no rio Sagrado (Morretes/PR) dentre os anos de 1954 a 2012. **Revista Equador**, v. SPE, p. 694–700, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/download/3640/2122>. Acesso em: 12 ago. 2020.

KLEINA, M.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. Análise comparativa dos Estilos Fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR) para os anos de 2006 e 2011. **Revista Geografar**, v. 9, n. 1, p. 27–44, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v9i1.35229>

KLEINA, M.; SANTOS, L. J. C. SENSITIVIDADE FLUVIAL DA DRENAGEM PRINCIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAGRADO-SERRA DO MAR PARANAENSE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 174–188, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41i0.51903>

KNIGHTON, A. D. **Fluvial Forms and Processes: a New Perspective**. 2. ed. New York: Hodder Education, 1998.

LEGG, N. T.; HEIMBURG, C.; COLLINS, B. D.; OLSON, P. L. **The Channel Migration Toolbox: ArcGIS® Tools for Measuring Stream Channel Migration**. Olympia: Department of Ecology - State of Washington, 2014. Disponível em: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/SummaryPages/1406032.html>. Acesso em: 12 ago. 2020.

LEITÓLES, F.; GERON, V.; ALMEIDA, A. 6 meses para recuperar a BR-277. **Gazeta do Povo**, 13 mar. 2011. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/6-meses-para-recuperar-a-br-277-awvtqhc49wf5wv0xc69o8lqvi/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

MA, R.; BROADBENT, M.; ZHAO, X. Historical Photograph Orthorectification Using SfM for Land Cover Change Analysis. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n. 3, p. 341–351, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01082-7>

MELLO, Y. R.; SOUSA, M. S.; GOMES, I. A.; OLIVEIRA, F. A. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO TRECHO DE PLANÍCIE DO RIO TRÊS BARRAS (SC) A PARTIR DO MAPEAMENTO DE FEIÇÕES FLUVIAIS. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 66, p. 19–34, 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196602>

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Geo Catálogo. **Paranaguá e Morretes**. Brasília, 2014. 1 imagem de satélite. RapidEye, 2227224 e 2227324, 08 jun. 2011.

NASCIMENTO, A. Litoral luta pela sobrevivência. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 13 mar. 2011. Disponível em: www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/litoral-luta-pela-sobrevivencia-e51hi6mjdzd3b5ucz3zkw4bim. Acesso em: 12 ago. 2020.

ONDRUCH, J.; MÁČKA, Z.; ŠULC MICHALCOVÁ, M.; PUTIŠKA, R.; KNOT, M.; HOLÍK, P.; MIŘIJOVSKÝ, J.; JENČO, M. Response of channel dynamics to recent meander neck cut-off in a lowland meandering river with artificial training history: the Morava River, Czech Republic. **Hydrological Sciences Journal**, v. 63, n. 8, p. 1236–1254, 2018. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1474218>

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos **Despacho 11.291.935-0/11** -. Diário Oficial Executivo do Estado do Paraná. Curitiba, 2011c. <www.documentos.dioe.pr.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2020.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. **Portaria 423/2011** - Diário Oficial Executivo do Estado do Paraná. Curitiba, 2011a. <www.documentos.dioe.pr.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2020.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. **Portaria 471/2011** Diário Oficial Executivo do Estado do Paraná. Curitiba, 2011b. <www.documentos.dioe.pr.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2020.

PAULA, E. V. Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina, Paraná: Contribuições ao planejamento do território. In: REIS, R. A. et al. (Eds.). **Litoral do Paraná: Território e Perspectivas**. 1. ed. Curitiba: Brazil Publishing, 2016. p. 11–35.

PAZ, O. L. S.; DAL PAI, M. O.; PAULA, E. V. Proposta metodológica para elaboração de base de dados geoespaciais como subsídio a estudos ambientais: aplicação em unidades de conservação do litoral norte do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 613–629, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p613-629>

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Movimentos de Massa como Processos Naturais de Evolução das Encostas, Estudo de Caso: Bacia do Rio Jacareí, Municípios de Morretes e Paranaguá–PR. **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 6, n. 1, p. 23–45, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoiंगा/article/download/49239/751375140389>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

QGIS - **Quantum GIS**. Versão 3.10.9 “A Curuña”. 2020. Disponível em: <https://qgis.org/downloads/>. Acesso em: 22 jan. 2020.

REZENDE, C. L.; SCARANO, F. R.; ASSAD, E. D.; JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; STRASSBURG, B. B. N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G. A.; MITTERMEIER, R. A. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>

RUPNIK, E.; DAAKIR, M.; PIERROT DESEILLIGNY, M. MicMac – a free, open-source solution for photogrammetry. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 2, n. 1, p. 14, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40965-017-0027-2>

RUPP, I.; CARRIEL, P.; MILAN, P. Ferrovia que liga Curitiba ao Litoral do PR está interditada. **Gazeta do Povo**, 12 mar. 2011. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/ferrovia-que-liga-curitiba-ao-litoral-do-pr-esta-interditada-e1n8rg2xmij8wpj0pin4k4em/>>.

RUTKIEWICZ, P.; GAWIOR, D. Natural and anthropogenic indicators of fluvial system changes, the Bobrza Valley (Holy Cross Mts) as an example. **Contemporary Trends in Geoscience**, v. 5, p. 46–60, 2016. <http://dx.doi.org/10.1515/ctg-2016-0004>

SANTOS, T. T.; KOENIGKAN, L. V. Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap. **Embrapa Informática Agropecuária-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Luciano_Koenigkan/publication/329782007_Producao_de_ortomapa_s_com_VANTs_e_OpenDroneMap/links/5c1a4b8e458515a4c7e9c4bf/Producao-de-ortomapas-com-VANTs-e-OpenDroneMap.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

SILVA, J. L. C.; VIDAL, C. A. S.; BARROS, L. M.; FREITA, F. R. V. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180–191, 2018. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i1.366>

SILVEIRA, R. M. P.; OLIVEIRA, F. A.; NEUMAN, G. Análise morfológica do baixo curso do rio Cubatão, em Joinville (SC), no período entre 1938 e 2015: impacto de barragem na morfodinâmica fluvial. **Caminhos da Geografia (UFU. Online)**, v. 21, p. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217642607>

SIMEPAR - Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná . **Estação Paranaguá 25534852**. Coordenadas 25°33'24.31"S 48°41'49.85"O, altitude 16 m. 2020

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SWINNEN, W.; DANIËLS, T.; MAURER, E.; BROOHAERTS, N.; VERSTRAETEN, G. Geomorphic controls on floodplain sediment and soil organic carbon storage in a Scottish mountain river. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 1, p. 207–223, 2020. <https://doi.org/10.1002/esp.4729>

VAN MAREN, D. S.; VAN KESSEL, T.; CRONIN, K.; SITTONI, L. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. **Continental Shelf Research**, v. 95, p. 1–14, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>

VANESKI FILHO, E.; TORRES, K. I. Estado de injustiça e conflito socioambiental: o caso do acampamento José Lutzenberger. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 2, p. 88–100, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i2.58105>

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. A. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 49–63, 2008. Disponível em:

<<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25423/17042>>. Acesso em: 12/8/2020.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25423>

XAVIER, R. **A utilização do vant em levantamentos ambientais**. 36 f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em:

<<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52180>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

ZAPATA, R.; SIMIANO, L. F.; PINHEIRO, E. G. O evento águas de março e sua avaliação de danos e perdas. In: PINHEIRO, E. G.; PEDROSO, F. F. F. (Eds.). **Construindo um estado resiliente: o modelo paranaense para a gestão do risco de desastres**. 1. ed. Curitiba: CEPED/FUNESPAR, 2016. p. 34–51.

ZHAO, Y.; ZOU, X.; LIU, Q.; YAO, Y.; LI, Y.; WU, X.; WANG, C.; YU, W.; WANG, T. Assessing natural and anthropogenic influences on water discharge and sediment load in the Yangtze River, China. **Science of the Total Environment**, v. 607, p. 920–932, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.002>

Recebido em: 30/12/2021

Aceito para publicação em: 06/06/2022