

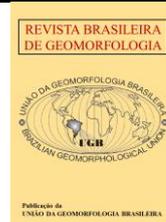


<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 23, nº 4 (2022)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2206>



Artigo de Pesquisa

Morfoestratigrafia de planície aluvial soterrada por corridas de lama e detritos recentes: estudo a partir da bacia do rio Jacareí - Paraná

Alluvial plain morphostratigraphy affected by recent mud and debris flows: a study in the Jacareí River basin (southern coast of Brazil)

Otacílio Lopes de Souza da Paz ¹, Eduardo Vedor de Paula ²

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. otacilio.paz@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1273-2562>

² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. edugeo@ufpr.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1847-0161>

Recebido: 10/03/2022; Aceito: 20/08/2022; Publicado: 01/10/2022

Resumo: Registros sedimentares são importantes para a compreensão da evolução de sistemas fluviais. Estudos morfoestratigráficos associam registros sedimentares às formas superficiais. Corridas de lama e detritos, comuns na Serra do Mar, certamente afetam a morfoestratigrafia de planícies aluviais adjacentes. Objetivou-se analisar as unidades morfoestratigráficas em planície aluvial afetada por corridas de lama e detritos recentes. A área de estudo foi a planície aluvial do rio Jacareí (litoral do Paraná), atingida em março de 2011 por eventos gravitacionais extremos. Dados geoespaciais e campanhas de campo foram analisados em ambiente SIG, resultando no mapeamento morfoestratigráfico. Foram identificadas unidades em três contextos: formadas anteriormente a 2011, formadas pelas corridas de lama e de detritos de 2011 e formadas após 2011. Os depósitos instantaneamente formados em 2011 apresentam blocos e seixos (corridas de detritos) e fácies arenosas maciças (corridas de lama), com espessura entre 0,5 e 1 metro, sendo facilmente identificados pela mudança abrupta de granulometria, cor, raízes e teor de matéria orgânica. Os resultados levaram a reflexões sobre o processo evolutivo da paisagem da planície aluvial do rio Jacareí, podendo o evento de 2011 se tratar de uma fase do ciclo sedimentar de planícies fluviais às margens da Serra do Mar.

Palavras-chave: Movimentos de massa; Depósitos instantâneos; Morfossedimentar; Serra do Mar; Evolução de paisagem.

Abstract: Sedimentary records are important to understand the evolution of river systems. Morphostratigraphic studies associate sedimentary records with landforms. Mud and debris flows, common in the Serra do Mar mountain range, have a marked impact on the morphostratigraphy of adjacent alluvial plains. The objective of this study was to analyze morphostratigraphic units in an alluvial plain affected by recent mud and debris flows. The study area was the Jacareí River alluvial plain (coast of Paraná State, Brazil) which was hit by extreme gravitational events in March 2011. Geospatial and field survey data were analyzed in a GIS environment to produce a morphostratigraphic map. Units were identified in three contexts: formed earlier than 2011, formed by the 2011 mud and debris flows, and formed after 2011. The deposits instantly formed in 2011 present rocks and pebbles (debris flows) and massive sandy facies (mud flows), with a thickness of between 0.5 and 1 meter. They are easily identified due to abrupt changes in particle size, color, presence of roots, and quantity of organic matter. The results shed light on the evolutionary processes at work in the Jacareí River coastal plain landscape, with the 2011 event representing a phase of the sedimentary cycle of alluvial plains along the Serra do Mar mountain range.

Keywords: Mass movements; Flash Deposit; Morphosedimentary; Serra do Mar mountain range; Landscape evolution.

1. Introdução

Os registros sedimentares contêm informações que possibilitam estudos acerca da evolução de sistemas fluviais (BRIDGE, 2009). Sequências de fácies sedimentares com determinadas características, como a granulometria, cor, estruturas, etc, podem indicar quais processos atuaram no passado (MIALL, 2014, 2016b). No estudo de sedimentos, o termo fácies é entendido como uma unidade homogênea no depósito sedimentar, identificada a partir de critérios como cor, granulometria, estrutura, geometria, entre outros (MIALL, 2016a; MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020c).

Fácies ou associação de fácies podem ser relacionadas a formas específicas do relevo fluvial (FRYIRS; BRIERLEY, 2013b; MIALL, 2016a). A correlação entre formas fluviais e características estratigráficas resulta no termo unidades morfoestratigráficas (BRIERLEY, 1991; BRIDGLAND; WESTAWAY, 2012). Fácies e sua provável interpretação são amplamente documentadas em sistemas deposicionais meandantes, principalmente para regiões de clima temperado (MIALL, 2016b; THAYER; ASHMORE, 2016; BURNS et al., 2017).

No ambiente tropical, os eficientes processos de remoção dos registros sedimentares dificultam a realização de estudos morfoestratigráficos (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020c). Assim, no Brasil, caracterizações morfoestratigráficas são comumente encontradas em depósitos recentes em planícies aluviais, situadas majoritariamente em áreas planálticas (SANTOS et al., 2008; BAYER; ZANCOPÉ, 2014; MORAIS et al., 2020).

Em planícies aluviais litorâneas, que margeiam a Serra do Mar, caracterizações morfoestratigráficas são escassas, sendo encontrados exemplos apenas na região serrana do Rio de Janeiro (MARÇAL et al., 2015). Eventos extremos de movimentos de massa, como corridas de lama e de detritos, são comuns nas encostas da Serra do Mar e certamente influenciam as formas e fácies sedimentares nas planícies aluviais a jusante. A identificação e caracterização de unidades morfoestratigráficas neste ambiente com esta interação de processos (gravitacionais e fluviais) ainda é tema não explorado na literatura nacional.

Um exemplo de planície aluvial com estas características é observado na bacia do rio Jacaré (BRJ), situada entre os municípios de Morretes e Paranaguá (Paraná, sul do Brasil). Em 11 de março de 2011, após um acumulado pluviométrico de 236,8 mm em 24h, diversos deslizamentos ocorreram nas vertentes da BRJ, gerando corridas de lama e de detritos que atingiram extensas áreas na planície aluvial (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2012; ZAPATA; SIMIANO; PINHEIRO, 2016).

Parte da planície aluvial do rio Jacaré foi soterrada pelo evento, bem como o canal que antes era meandrante foi alterado para anastomosado, semelhante a relatos na literatura em outros pontos no litoral sul brasileiro que passaram por eventos similares (BIGARELLA, 2003). Assim, considerando as lacunas apontadas na literatura e a planície do rio Jacaré como área de estudo, objetiva-se analisar as unidades morfoestratigráficas em uma planície aluvial afetada por corridas de lama e detritos recentes.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio do rio Jacaré está localizada no litoral central do Paraná, sul do Brasil (Figura 1). As nascentes do rio Jacaré situam-se nas vertentes oeste da Serra da Prata com foz na baía de Antonina, a qual integra o Completo Estuarino de Paranaguá. A Serra da Prata apresenta cota máxima de 1421 m e compõe a Serra do Mar paranaense, sendo originada por processos de erosão diferencial (ANGULO, 2004). Na porção de planície, está a comunidade de Floresta (ou distrito de Floresta), pertencente ao município de Morretes. O acesso à área se dá pela rodovia BR 277. A área adotada para o estudo encontra-se entre cota de 30 metros e o aterro da rodovia BR 277, em função desta ser a mais afetada pelo evento de março de 2011 (Figura 2). O recorte de estudo (planície aluvial) foi dividido em três trechos a fim de auxiliar na apresentação e discussão dos resultados obtidos (Figura 1).

A Serra da Prata compõe os divisores de sul a leste da bacia do rio Jacaré (BRJ) e é sustentada por rochas granito-gnáissica-migmatíticas, relacionadas ao Complexo Cachoeira, com altitudes que variam de 800 a 1.502 metros (MINEROPAR, 2011). Os divisores a leste situam-se em um núcleo de serras baixas compostas por rochas metamórficas indiferenciadas da Formação Rio das Cobras, com altitudes que variam entre 200 a 433 metros (MINEROPAR, 2011). Nos terços médio a inferior das vertentes encontram-se depósitos sedimentares quaternários de colúvios e leques aluviais (ANGULO, 2004; MINEROPAR, 2011). No trecho da planície até a rodovia BR 277 predominam sedimentos terrígenos, enquanto após a rodovia BR 277 encontram-se um mosaico de depósitos fluviais, marinhos, paludais e paleoestuarinos (ANGULO, 2004).

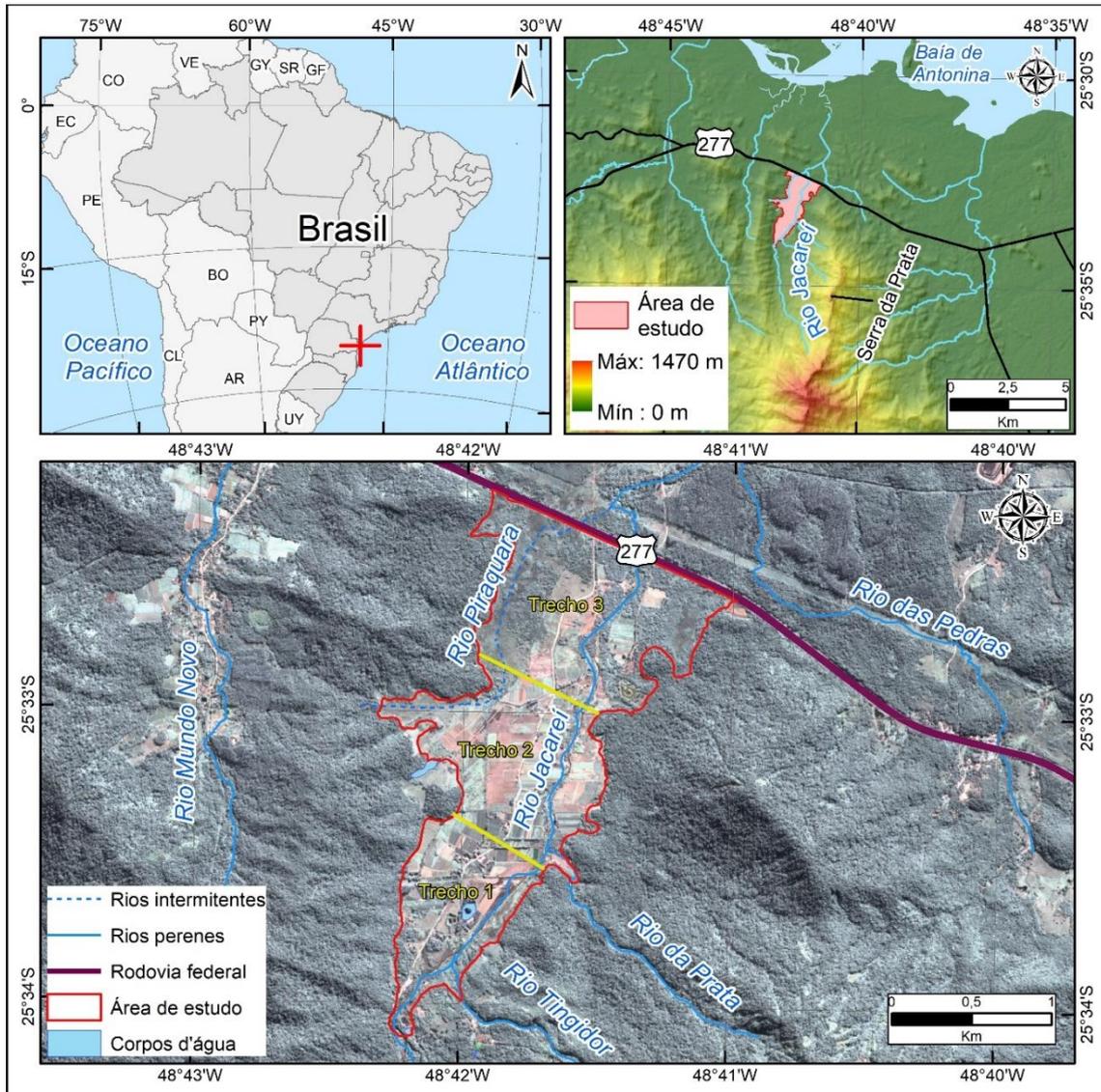


Figura 1. Localização do trecho da planície aluvial do rio Jacaré em estudo.



Figura 2. Trecho da planície aluvial do rio Jacaré soterrada em março de 2011. Fonte: Machado (2011).

3. Materiais e Métodos

Foram coletados dados geoespaciais vetoriais referentes as curvas de nível (equidistância de 5 m) e rede hidrográfica da base planialtimétrica publicados pelo Instituto de Água e Terra (IAT) referente ao recorte código 227307175 da articulação 1:10.000. Também foi adquirido do IAT um modelo digital do terreno (MDT) com 2,5 metros de resolução, gerado a partir de levantamento em 2015 por interferometria de radar de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*). A partir deste MDT foi extraída a declividade, calculada a partir das variáveis direcionais de Horn, na ferramenta *slope* do ArcGIS (HORN, 1981) e o relevo sombreado, calculado com azimute de 315° e altitude de 45°, na ferramenta *Hillshade* do ArcGIS.

Uma imagem orbital pancromática registrada pelo satélite *WorldView-1* em 02/05/2011 com resolução espacial de 0,5 metro foi disponibilizada pela Secretaria de Meio Ambiente de Paranaguá, via ofício institucional. Também foi realizado um imageamento em 06/06/2019 com uma aeronave remotamente pilotada (RPA), modelo *phantom 4 standard*, gerando um ortomosaico com 20 cm de resolução espacial. Todos os dados geoespaciais citados foram organizados em uma base de dados geoespaciais (BDG) (PAZ; DAL PAI; PAULA, 2020).

O mapeamento das unidades morfoestratigráficas consiste, resumidamente, na correlação entre feição fluvial e caracterização estratigráfica. Assim, o primeiro passo foi o mapeamento das formas fluviais, realizado a partir da fotointerpretação das imagens orbitais e suborbitais supracitadas, com auxílio da base planialtimétrica, técnicas de sensoriamento remoto e campanhas de campo entre 2019 e 2020. Adotou-se a proposta de taxonomia de formas de relevo fluvial de Wheaton et al. (2015), com adaptações.

O primeiro passo foi a definição do recorte em estudo (planície aluvial), considerando como critérios morfométricos: cota altimétrica até 30 metros e declividade média de até 5 graus. O primeiro nível taxonômico da proposta de Wheaton et al. (2015) se refere ao estágio evolutivo da feição fluvial, dividido em leito fluvial, planície de inundação, terraço e leque. O leito fluvial foi identificado a partir da vetorização do canal e de barras fluviais ativas, sobre o ortomosaico de 2019. Leques foram identificados por fotointerpretação da imagem de 2011, observando-se forma (cônica) e posição (desembocadura de canais na planície) e trabalhos de campo. Terraços foram identificados com auxílio do MDT e de perfis longitudinais distribuídos longitudinalmente (a cada 10 metros) no recorte de estudo, considerando intervalo de 10 metros, verificando visualmente desníveis agudos acima de 2 metros (valor arbitrado com base em observações de campo) em relação à cota do canal. Os pontos identificados em meio digital foram validados em campo e incorporados ao mapeamento. A área restante foi interpretada como planície de inundação.

Após o primeiro passo, foram identificadas formas fluviais específicas em todas as unidades do nível 1 por meio de fotointerpretação, com exceção dos terraços. Foram utilizados como critérios: a forma, a posição, a presença de água na superfície, o material na superfície, a extensão da inundação do evento e transformações na paisagem. O material na superfície foi utilizado como critério nos terraços a partir de análise em campo. As unidades identificadas e critérios utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classes do mapeamento das formas fluviais na planície do rio Jacareí.

Unidade geomorfológica ¹		Formas fluviais específicas ¹		Critérios empregados
COD.	Nome	COD.	Nome	
1	Leito fluvial	1.1	Canal fluvial	Forma, posição e presença de água, considerando o ortomosaico de 2019.
		1.2	Barras fluviais ativas	Posição e material na superfície, considerando o ortomosaico de 2019.
2	Planície de inundação	2.1	Área úmida (Backswamp)	Posição e aspecto úmido da vegetação, considerando o ortomosaico de 2019.
		2.2	Barra fluvial inativa	Posição e material na superfície, considerando a imagem de 2011
		2.3	Crevasse splay	Forma e posição, considerando a imagem de 2011

		2.4	Leito fluvial anastomosado inativo	Forma, considerando a imagem de 2011 Ausência de material sedimentar em superfície, sendo áreas não afetadas pelo evento de 2011
		2.5	Planície de inundação distal	Áreas com material em superfície sem forma definida, a partir da imagem de 2011
		2.6	Planície de inundação proximal soterrada	Eventos extremos pluviométricos, topografia, vegetação, sedimentação recente e conversa com moradores
		2.7	Planície de inundação proximal	
3	Leque	3.1	Leque de blocos	A partir da imagem de 2011
		3.2	Leque arenoso	A partir da imagem de 2011
4	Terraço	4.1	Terraço fluvial I – cobertura arenosa	Identificação em campo
		4.2	Terraço fluvial II – blocos e seixos	Identificação em campo

¹ Fonte: Adaptado de Wheaton et al. (2015).

A partir do mapeamento das formas fluviais foram realizados trabalhos de campo para identificação e caracterização das fácies sedimentares. Os pontos de coleta foram selecionados em função da existência de acessos, seja por estradas vicinais ou trilhas. Foram abertas trincheiras com auxílio de ferramentas de campo e maquinário e realizadas tradagens com trado holandês para material arenoso, com caçamba de 20 cm e boca de 6 cm.

A identificação de fácies foi realizada utilizando-se como critérios mudanças visíveis de cor, geometria, textura, estrutura e presença de raízes, mosqueados e fragmentos de troncos (MIALL, 2016a; MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020c). A identificação de estruturas foi possível apenas nas trincheiras, em função da limitação do método de tradagem. Nos pontos de tradagem foi realizada uma generalização, sendo as fácies encontradas sempre consideradas em estrutura maciça. Foi coletado material sedimentar em área core de cada fácies identificadas para estimativa de matéria orgânica e caracterização granulométrica.

A localização do ponto de coleta das amostras foi realizada por aparelho receptor GNSS *Garmin Etrex 10*, recebendo sinal dos sistemas GPS e GLONASS. A profundidade das coletas foi padronizada em 1,2 m (extensão do trado), com exceção para as trincheiras abertas. Os pontos de coletas foram distribuídos pela planície, visando ter ao menos uma amostra para cada forma fluvial identificadas. As fácies foram classificadas pelo sistema de codificação de Miall (MIALL, 1996; 2016b). Além das trincheiras e tradagens, foram coletadas amostras na superfície de barras fluviais ativas e da carga de fundo do rio Jacareí, com vista exclusivamente a caracterização granulométrica.

As amostras foram submetidas à secagem em estufa a 50^o por 72 horas e, posteriormente, divididas em duas partes de 50 gramas com auxílio de quarteador tipo Johnes. O teor de matéria orgânica foi quantificado pelo método da mufla (SUGUIO, 1973; GOLDIN, 1987). As amostras secas foram colocadas em cadinhos de cerâmica, pesadas e acondicionadas em forno do tipo mufla. Na sequência, foram incineradas em uma temperatura de 600 °C por 4 horas. Posteriormente, os cadinhos + resíduos foram pesados. O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado a partir da perda de massa pela incineração (SUGUIO, 1973; GOLDIN, 1987), conforme equação 1 :

$$MO (\%) = \frac{P - (T - C) \times 100}{P} \quad (1)$$

Sendo *P* o peso da amostra seca (g). *T* o peso da amostra (resíduo) após incineração (g). *C* a tara do cadinho.

A análise granulométrica foi realizada por peneiramento mecânico, visando identificar porcentagem de cascalho (> 2mm), areias (entre 2mm e 0,063 mm) e finos (< 0,063 mm - siltes e argilas), de acordo com escala Wentworth (SUGUIO, 1973). Foi utilizado agitador de peneiras por 10 minutos, seguido de pesagem em balança

analítica de precisão (0,001g). A predominância da classe granulométrica foi utilizada para definir a textura das fácies identificadas em campo, considerando o triângulo textural adaptado da *Soil Survey Manual*.

4. Resultados

A síntese das unidades morfoestratigráficas identificadas na planície aluvial do rio Jacareí em 2019, bem como lista de fácies associadas, é apresentada na Tabela 2. Foram identificadas 12 unidades morfoestratigráficas, divididas entre aquelas formadas antes, durante e após o evento extremos de corridas de lama e de detritos de 2011 (Figura 3). Campanhas de campo seguidas de análises laboratoriais permitiram identificar 10 tipologias de fácies estratigráficas em 12 pontos amostrais, sendo seis tradagens e sete trincheiras.

Tabela 2. Unidades morfoestratigráficas e fácies associadas na planície aluvial do rio Jacareí em 2019.

Unidade morfoestratigráfica	Formas fluviais específicas	Área (ha)	Área (%)	Fácies identificadas (em sequência)	Ponto (s) amostral (is)
Unidades anteriores ao evento de 2011	Terraço fluvial I	0,1	0,0	Gcm	TR1
	Terraço fluvial II	1,3	0,4	Gmm, Sm (r), Sm, St e Gm	TR2
	Planície de inundação distal	23,4	8,1	Sm (r), Sm, Fsm (p) e Fsm	TD1
	Área úmida ¹	20,1	7,0	-	-
Unidades formadas pelo evento de 2011	Leque arenoso ¹	2,8	1,0	-	-
	Leque de blocos	3,9	1,3	Gm, Sm (p), Sm e Fsm	TR3
	Barra fluvial inativa	3,6	1,2	Sm, Sm (r), Fsm (r) e Fsm	TD2
	Leito anastomosado inativo	8,1	2,8	Gm, Sm, Fr e Fsm (p)	TD3
	Crevasse splay	4,2	1,5	Sm (i), St, Sm (r), Sm e Fsm	TR4
	Planície de inundação soterrada	186,9	64,7	Sm, Sm (r), Fsm, Fsm (p), Fr	TD4, TD5 e TR5
Unidades formadas após o evento de 2011	Planície de inundação proximal	30,4	10,5	Sm, Fr e Fsm	TR6 e TD6
	Leito fluvial ativo (canal + barras fluviais ativas) ²	4,2	1,5	-	C1, C2, C3 e C4

¹ Unidades com estratigrafia não descrita em função de dificuldades de coleta de dados em campo. ² Descrição apenas do material presente na superfície das feições.

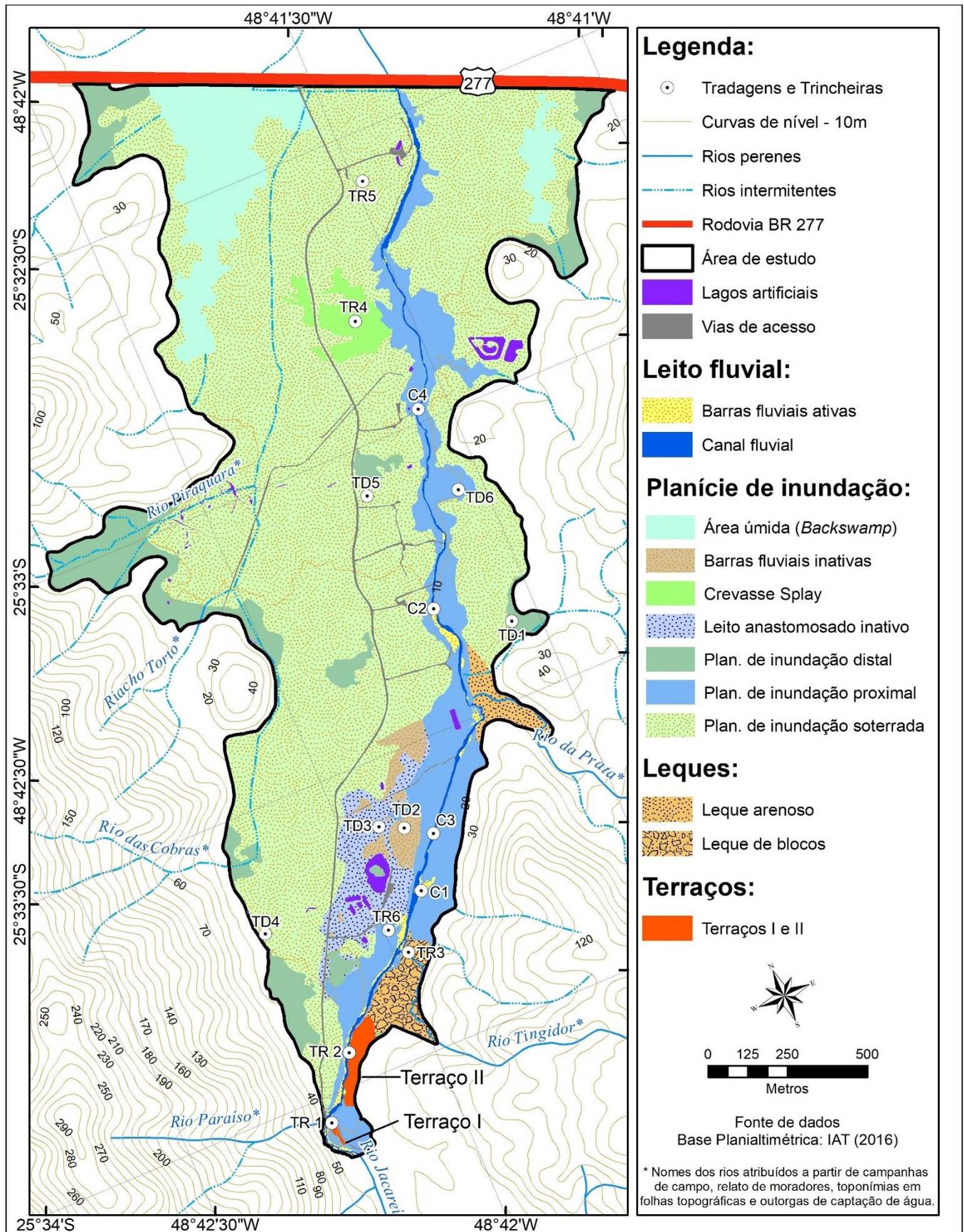


Figura 3. Unidades morfoestratigráficas identificadas na planície aluvial do rio Jacaré em 2019.

4.1. Unidades anteriores ao evento de 2011

As unidades terraços I e II e a planície de inundação distal não foram afetadas pelas corridas de lama e de detritos de 2011. Os terraços I e II apresentam desníveis em relação ao leito fluvial do rio Jacareí, marcando 2,2 e 2,7 metros, respectivamente. Já as áreas da unidade planície de inundação distal situam-se nas extremidades da planície aluvial, próximo aos sopés das vertentes.

No terraço 1 foi identificada uma fácies Gcm, com seixos entre 5 e 7 cm suportados entre si, achatados e imbricados, majoritariamente arredondados, com orientação geral nordeste (Figura 4-A). Já o terraço 2 apresentou sete fácies (Figura 4-C), sendo que cinco possuem material majoritariamente na fração areia, individualizados em função das estruturas encontradas, seja maciça (Sm) ou estratificação cruzada acanalada (St). No topo e na base do perfil foram identificadas fácies nas frações granulométricas de cascalhos em estrutura maciça (Gmm).

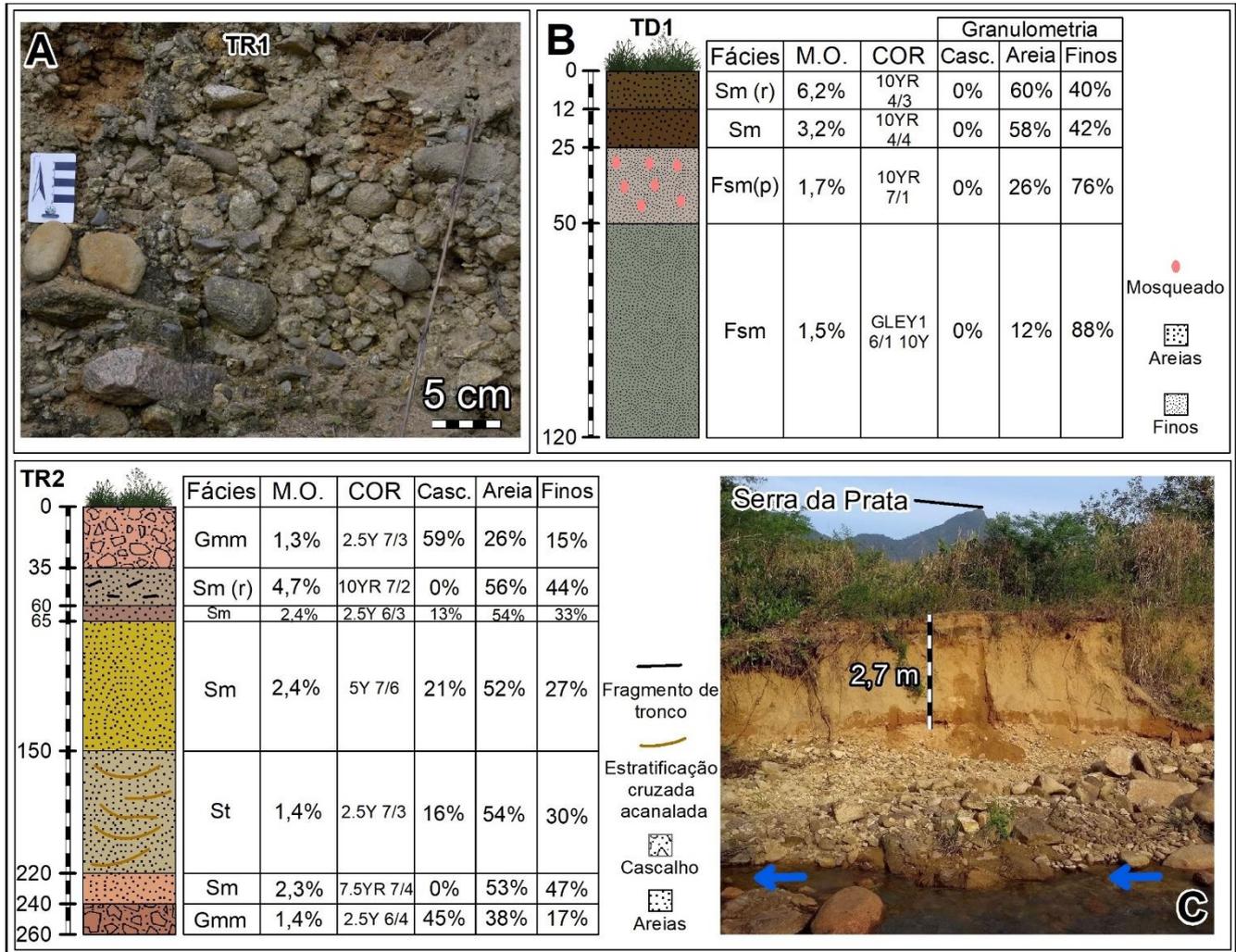


Figura 4. Fácies encontrada na unidade terraço I (A – TR1), perfil sedimentar na unidade planície de inundação distal (B – TD1) e perfil sedimentar da unidade terraço II (C – TR2).

No ponto amostral da planície de inundação distal foram identificadas quatro fácies (Figura 4-B). As duas primeiras fácies apresentam predomínio de material arenoso em estrutura maciça (Sm), sendo que na primeira são encontradas raízes – Sm (r) e o maior teor de matéria orgânica do perfil (6,2%). A terceira fácies tem cor cinzenta-clara (10YR 7/1) e apresenta granulometria fina com mosqueado – Fsm (p). A última fácies, cinzenta-esverdeada (GLE Y1 6/1 10Y), apresenta granulometria fina em estrutura maciça (Fsm).

4.2. Unidades formadas pelo evento de 2011

Foram identificadas sete unidades morfoestratigráficas formadas pelas corridas de lama e de detritos de 2011. Não foi possível coletar amostras nas unidades “áreas úmidas” e “leque arenoso”, devido a dificuldades de acesso. A unidade “áreas úmidas” (ou brejo, correlato ao termo inglês *backswamp*) é composta por duas feições as margens dos rios Piraquara e Santana-Jacareí, ambos intermitentes que drenam na planície aluvial. Por tratar de ambientes de redução, espera-se encontrar nesta unidade sedimentos típicos de locais com presença constante de água, apresentando coloração acinzentada. Ainda, pode ser encontrada uma camada arenosa na superfície oriunda do evento de março de 2011.

A unidade “leque arenoso” é composta por feição única situada na desembocadura do rio da Prata, afluente perene de margem direita do rio Jacareí (nascentes na Serra da Prata). A partir da imagem pancromática de 2011 e imagens oblíquas captadas por RPA em 2020 é possível inferir que a presença de material nas frações de areia a finos (silte e argila), podendo apresentar cascalhos (Figura 4-C). Foi constatado em campo, com auxílio da RPA, pontos de erosão fluvial nesta feição causados pelo rio Jacareí, com remoção mecânica de material e eventuais tombamento de massas arenosas (Figura 4-D).

A unidade “leque de blocos e matacões” também é composta por feição única, situada na desembocadura do rio Tingidor, afluente perene de margem direita do rio Jacareí. O canal do rio Tingidor foi soterrado com a formação desta unidade em 2011. Na imagem pancromática de 2011 é possível constatar que o rio Tingidor escavou um novo canal, contornando o leque. Não foi possível amostrar no centro da feição, visto dificuldade de acesso e sua composição predominantemente de blocos e matacões. Foi possível encontrar uma trincheira nas bordas da feição, provavelmente escavada do processo de reestabelecimento do canal do rio Tingidor. De acordo com as fácies identificadas e o desnível do perfil em relação ao rio Jacareí (2,4 metros), é possível inferir que o leque de blocos e matacões se formou sobre um terraço fluvial pré-existente.

Foram identificadas cinco fácies na trincheira situada na borda da unidade “leque de blocos e matacões” (Figura 5-A e B). No topo do perfil foi identificada uma fácies Sm (arenosa em estrutura maciça) de coloração vermelho-claro (2.5 YR 7/8). Na sequência, uma fácies cascalhenta maciça suportada pela matriz (Gmm) em estrutura maciça de cor bruno muito claro-acinzentado (10 YR 7/4). As três últimas fácies do perfil apresentam mudança abrupta de cor (acinzentadas) e textura. Destas, duas são fácies arenosas em estrutura maciça (Sm), sendo que a terceira apresenta mosqueamento – fácies Sm (p). A última fácies apresenta granulometria fina em estrutura maciça de cor cinzento-azulado-claro (GLEY 2 7/5 BP).

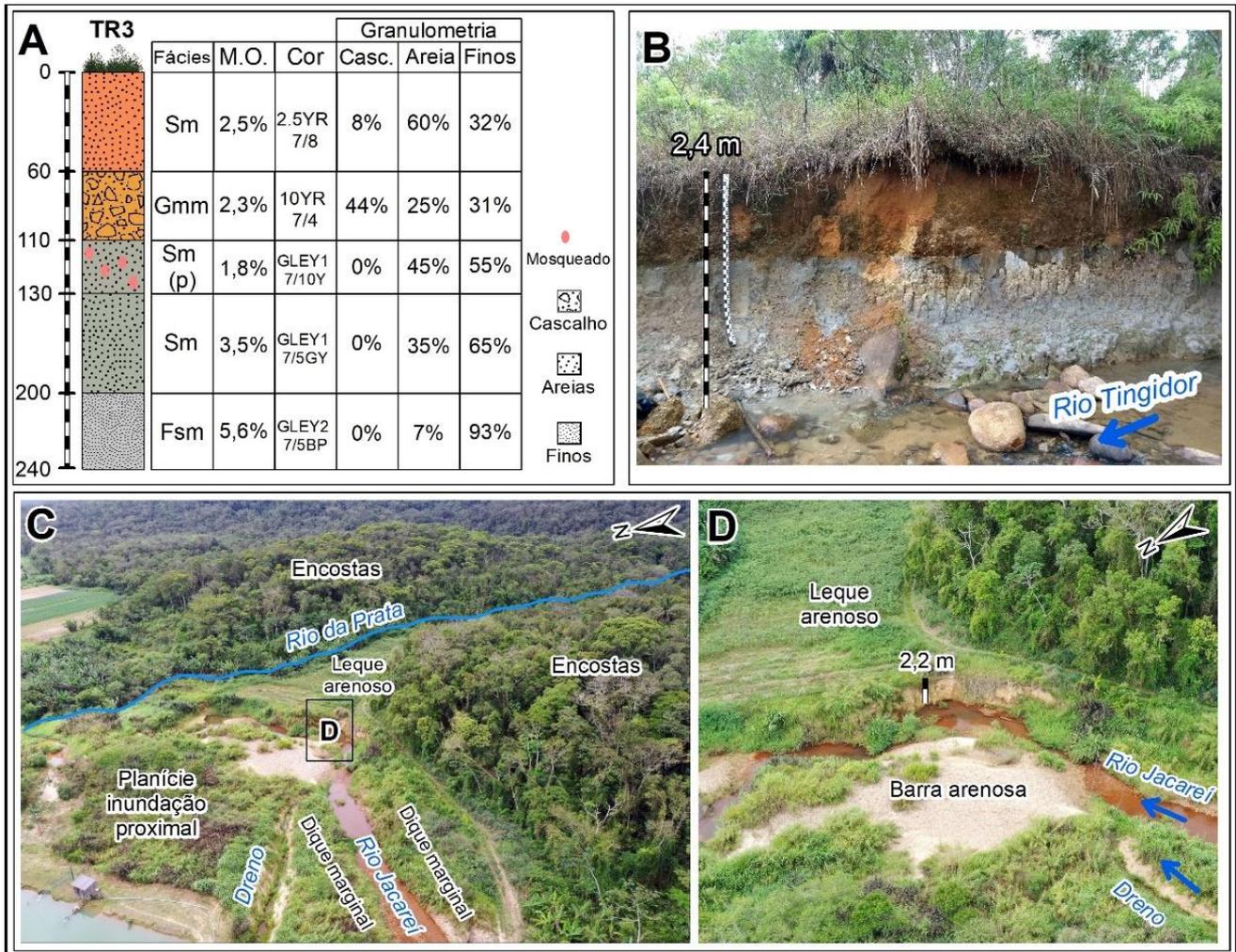


Figura 5. (A) Perfil sedimentar na unidade “Leque de blocos” – TR3. (B) Visão da TR3. (C): Visão aérea da unidade “Leque arenoso”, na foz do rio da Prata. (D) Foco no ponto de erosão no leque arenoso.

Com o rompimento da ponte da BR 277 sobre o rio Jacareí, água, sedimentos e matéria orgânica escoaram para a baía de Antonina. Esta dinâmica de fluxos modelou as unidades “barra fluvial inativa” e “leito anastomosado inativo” (Figura 6-C). Estas unidades estão inativas, sendo que parte foi consumida na reabertura do canal fluvial do rio Jacareí em 2011 e parte foi incorporada à planície de inundação. A tradagem realizada em uma feição da unidade “barra fluvial inativa” apresentou cerca de 1 metro de material arenoso depositado pelas corridas de lama de 2011 (Figura 6-A e D).

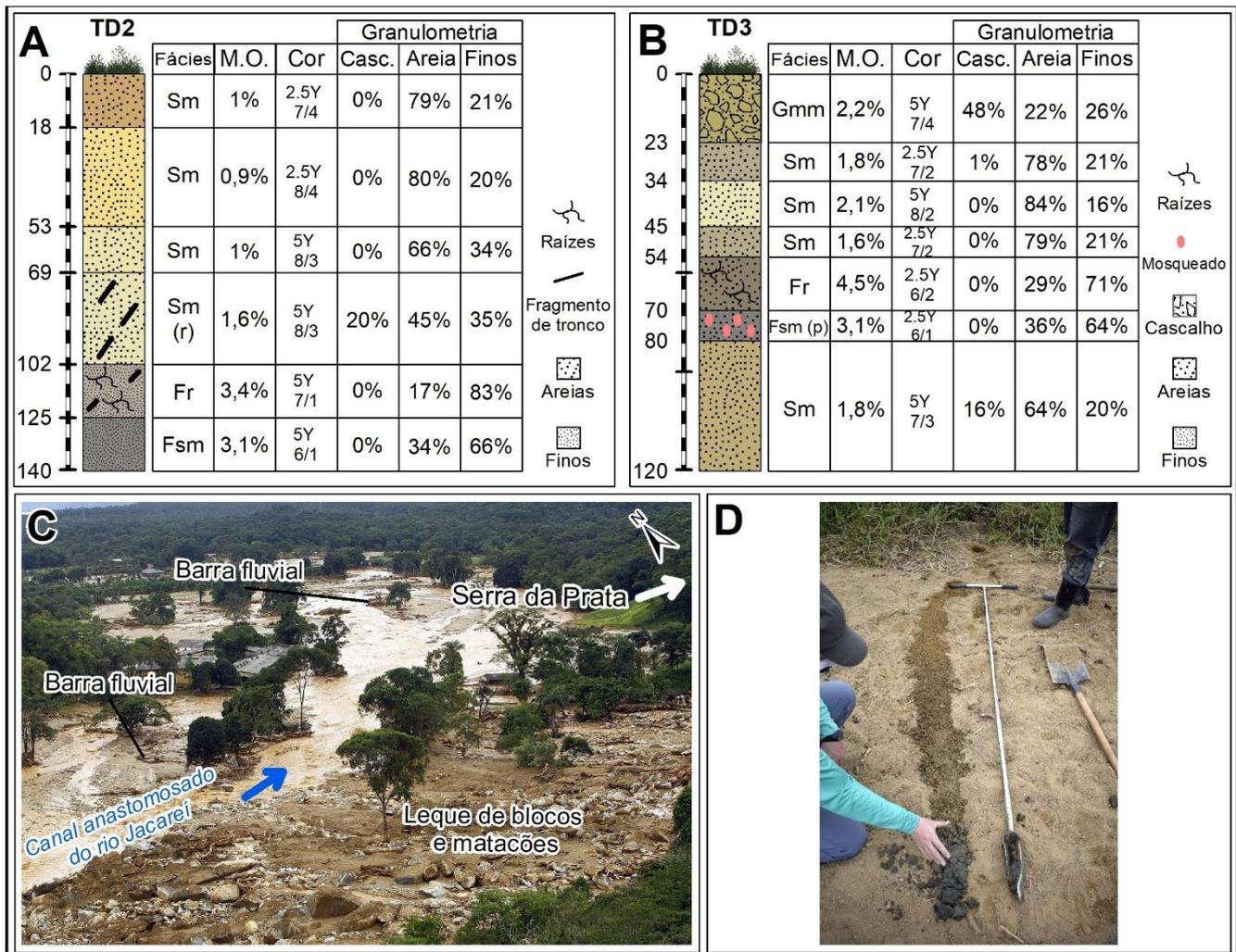


Figura 6. (A) Perfil sedimentar na unidade barra fluvial inativa – TD2. (B) Perfil sedimentar na unidade leito anastomosado inativo – TD3. (C) Fotografia registrada no trecho 1 da planície aluvial logo após o evento de 2011. (D) Material tradado na unidade barra fluvial inativa – TD2.

Durante a tradagem realizada na unidade “barra fluvial inativa” foram identificadas seis fácies. As quatro primeiras apresentam material arenoso, possivelmente em estrutura maciça (Sm) de cores amareladas. A última fácies arenosa apresenta fragmentos de troncos. As últimas duas fácies apresentam material fino, altos valores de matéria orgânica (3,4 e 3,1%, respectivamente) e possivelmente estão em estrutura maciça (Fsm), sendo que na penúltima foi identificado raízes e fragmentos de troncos.

Na unidade “leito anastomosado inativo” foi aberto uma trincheira, onde foi possível identificar sete fácies (Figura 6-D). A primeira fácies (fundo do canal anastomosado de 2011) apresenta material cascalhento em estrutura maciça suportado pela matriz (Gmm), seguida por três fácies arenosas em estrutura maciça distinguidas pela cor (Sm). Após, em mudança abrupta, observa-se uma fácies de granulometria fina e com alto teor de matéria orgânica (4,5%) e presença de raízes. Na sequência tem-se uma fácies de granulometria fina cinzenta (2.5Y 6/1) com mosqueamento – Fsm (p). A última fácies do perfil é arenosa em estrutura maciça (Sm).

Com o entulhamento do canal do rio Jacareí por trocos (proximidades da ponte da BR 277), houve rompimento de margens, formando a unidade “crevasse splay”. A literatura aponta que esta feição se trata de um depósito de rompimento, uma espécie de leque situado nas margens fluviais. Sua origem, além de relacionada com o entulhamento do canal, pode estar associada a um nível de base temporário formado na área durante o evento. Com feição única, foi aberta uma trincheira com auxílio de maquinário, sendo identificadas seis fácies (Figura 7).

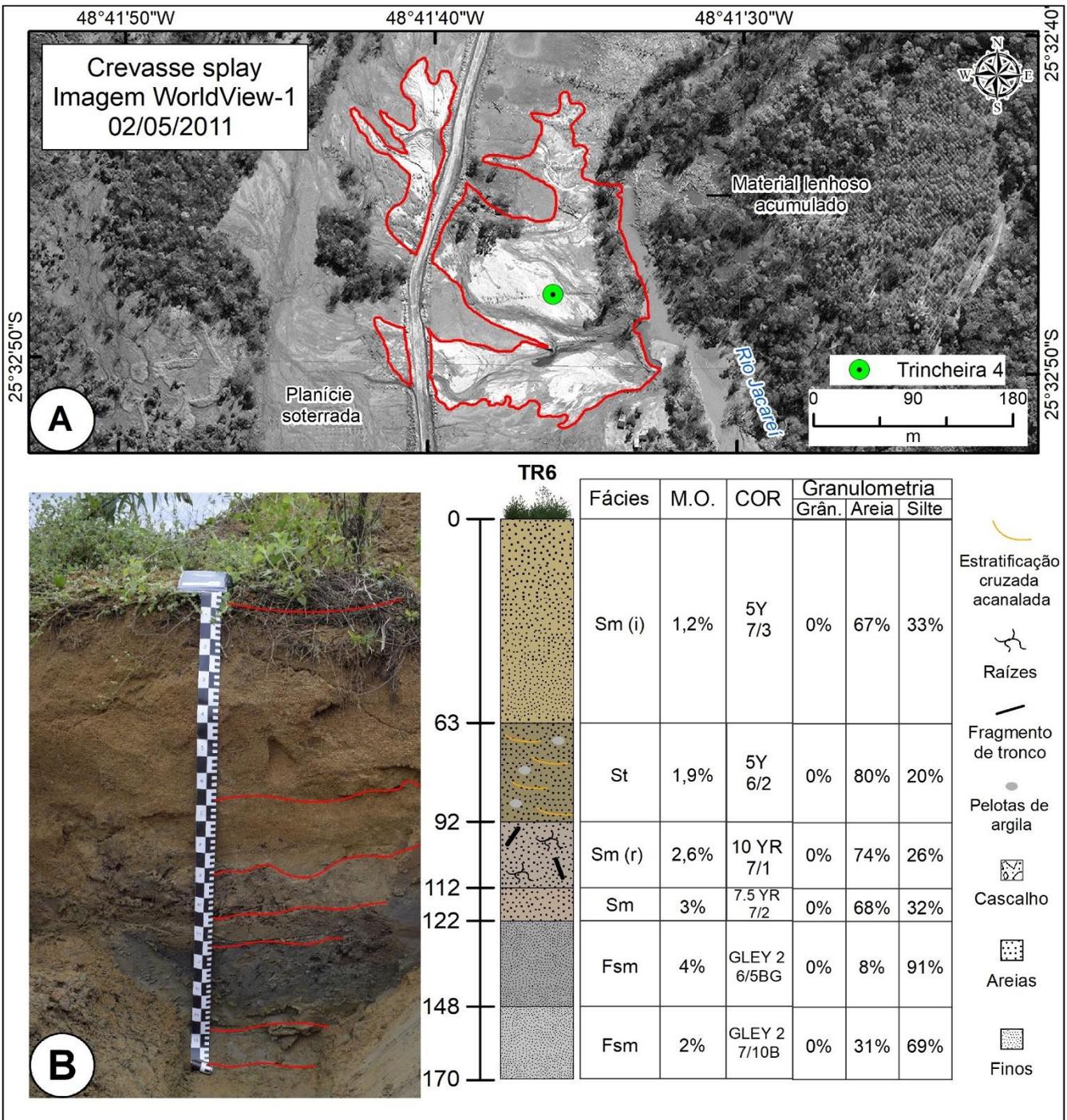


Figura 7. (A) Visão vertical da unidade “Crevasse splay”. (B) Perfil sedimentar e visão da trincheira 6.

A primeira fácies, de granulometria arenosa, apresentou gradação inversa, com grossa no topo e areia média a fina na base. A fácies seguinte, de textura arenosa, apresentou estrutura cruzada acanalada (St) e pelotas de argila (Figura 8). Na sequência duas fácies arenosas em estrutura maciça (Sm), sendo terceira identificado raízes e fragmentos de troncos – Sm (r). As duas últimas fácies apresentam transição abrupta, cores acinzentadas e estrutura maciça (Fsm), sendo que na penúltima foi registrado o maior teor de matéria orgânica do perfil (4%).



Figura 8. Estrutura cruzada acanalada (St) e pelota de argila identificada na unidade “Crevasse splay”.

Por fim, a unidade “planície de inundação soterrada”, a maior identificada neste estudo, com 186,9 hectares, cerca de 65% da área de estudo. Esta unidade se estende por toda área de estudo, sendo realizado três pontos amostrais nos trechos 1, 2 e 3 da planície aluvial. Cabe salientar a presença nesta unidade de canais de drenagem artificiais e diques marginais ao longo da única via de acesso a área, gerado pela reabertura da estrada por maquinário após o soterramento de 2011. Nos três pontos amostrais, o padrão identificado foi a presença de fácies arenosas em estrutura maciça (Sm) de cores amareladas e brunadas sobre fácies de material fino (Fr e Fsm) de cores escuras com presença de raízes e elevados valores de teores de matéria orgânica (Figura 9).

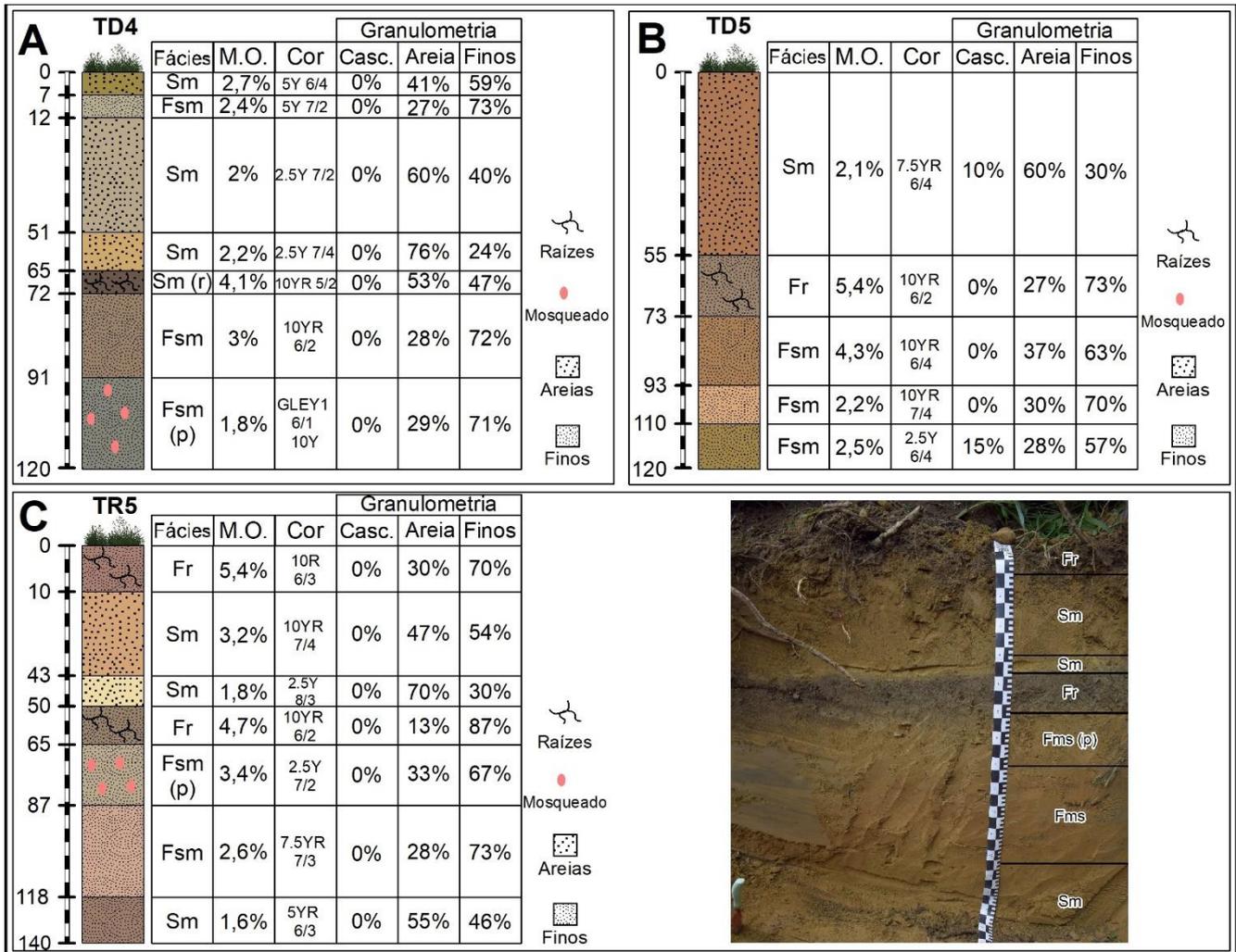


Figura 9. Perfis sedimentares na unidade “Planície de inundação soterrada”. (A) Perfil sedimentar da tradagem 4. (B) Perfil sedimentar da trincheira 5. (C) Perfil sedimentar e visão da trincheira 5.

Os pontos amostrais na unidade “Planície de inundação soterrada” demonstram o processo de crescimento vertical da planície aluvial do rio Jacareí induzido pelas corridas de lama e detritos de 2011. De acordo com os pontos amostrais, a planície aluvial cresceu em média 0,5 metro. A paisagem do entorno do ponto de tradagem 5 permite a visualização deste processo (Figura 10).

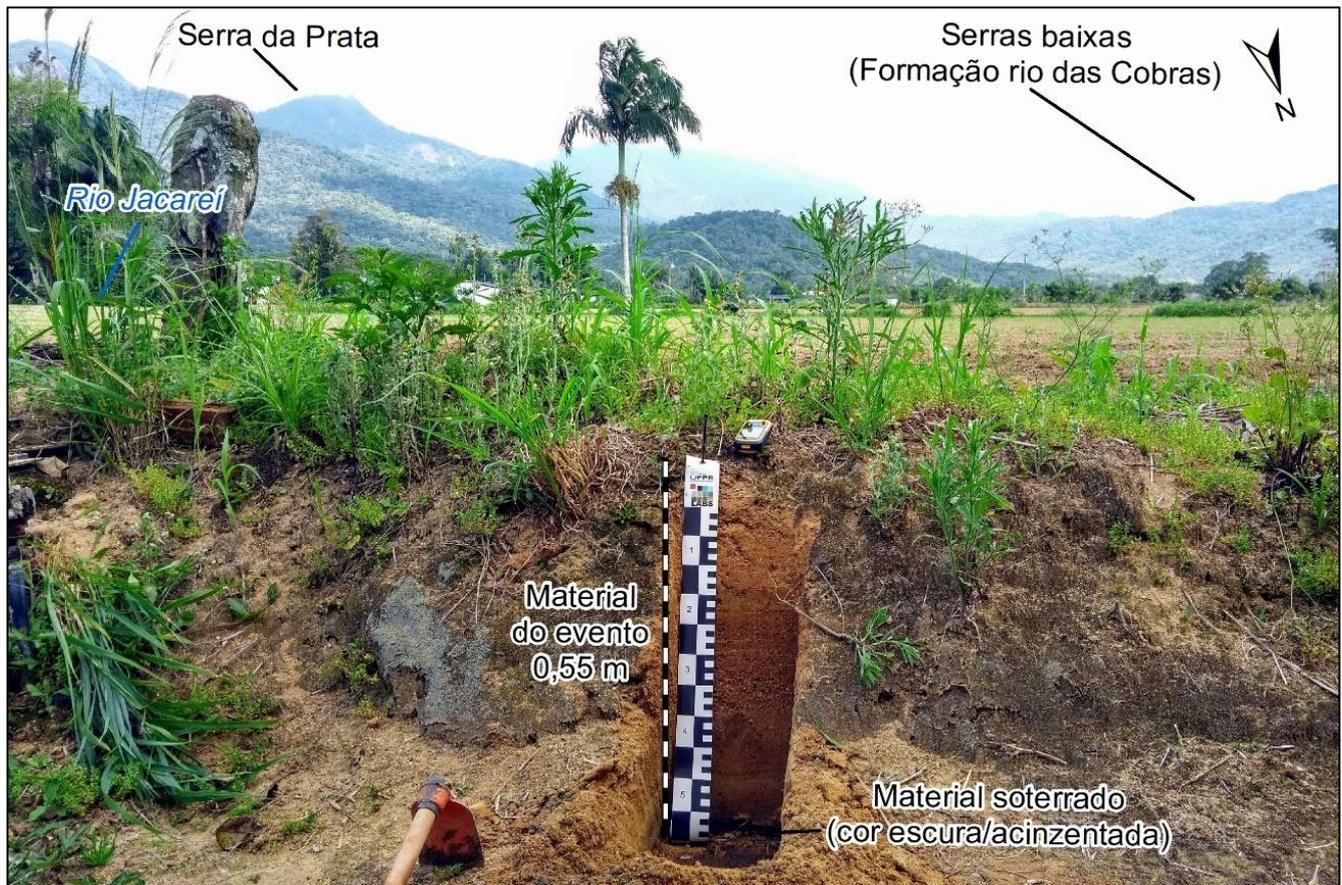


Figura 10. Visão do local da tradagem 5 na unidade “Planície de inundação soterrada”.

4.3. Unidades posteriores ao evento de 2011

A planície de inundação proximal, as barras fluviais e o canal fluvial são feições desenvolvidas após o evento de 2011, estando estritamente relacionadas. A planície de inundação proximal situa-se no entorno do canal do rio Jacareí, sendo área suscetíveis a eventos periódicos de inundação fluvial. Esta unidade formou-se por processos de acreção lateral e vertical sobre depósitos de corridas lama e de detritos, do canal anastomosado e das barras de detritos. Dentro desta unidade também são encontrados canais de inundação e bacias de inundação.

A planície de inundação proximal apresenta vegetação no estrato arbustivo como, por exemplo, a espécie popularmente conhecida como taboa (*Typha domingensis*). Sua ocorrência espacial é identificada analisando imagens aéreas no entorno do rio Jacareí, utilizando-se como critérios o estrato da vegetação e seu aspecto úmido (Figura 11-D). Quanto aos sedimentos, é possível identificar em campo lâminas (até 1 cm) e estratos (acima de 1cm) de material recém depositado, principalmente após eventos extremos de precipitação (Figura 11-C).

Nos trechos 2 e 3 não foram encontrados material nesta granulometria. Na trincheira 6 foram identificadas duas fácies sedimentares, ambas arenosas em estrutura maciça, sobreposta a acumulado de seixos (Figura 11-A). Na tradagem 6, foi identificado quatro fácies, sendo as duas primeiras arenosas em estrutura maciça sobrepostas a fácies de material fino (Figura 11-B).

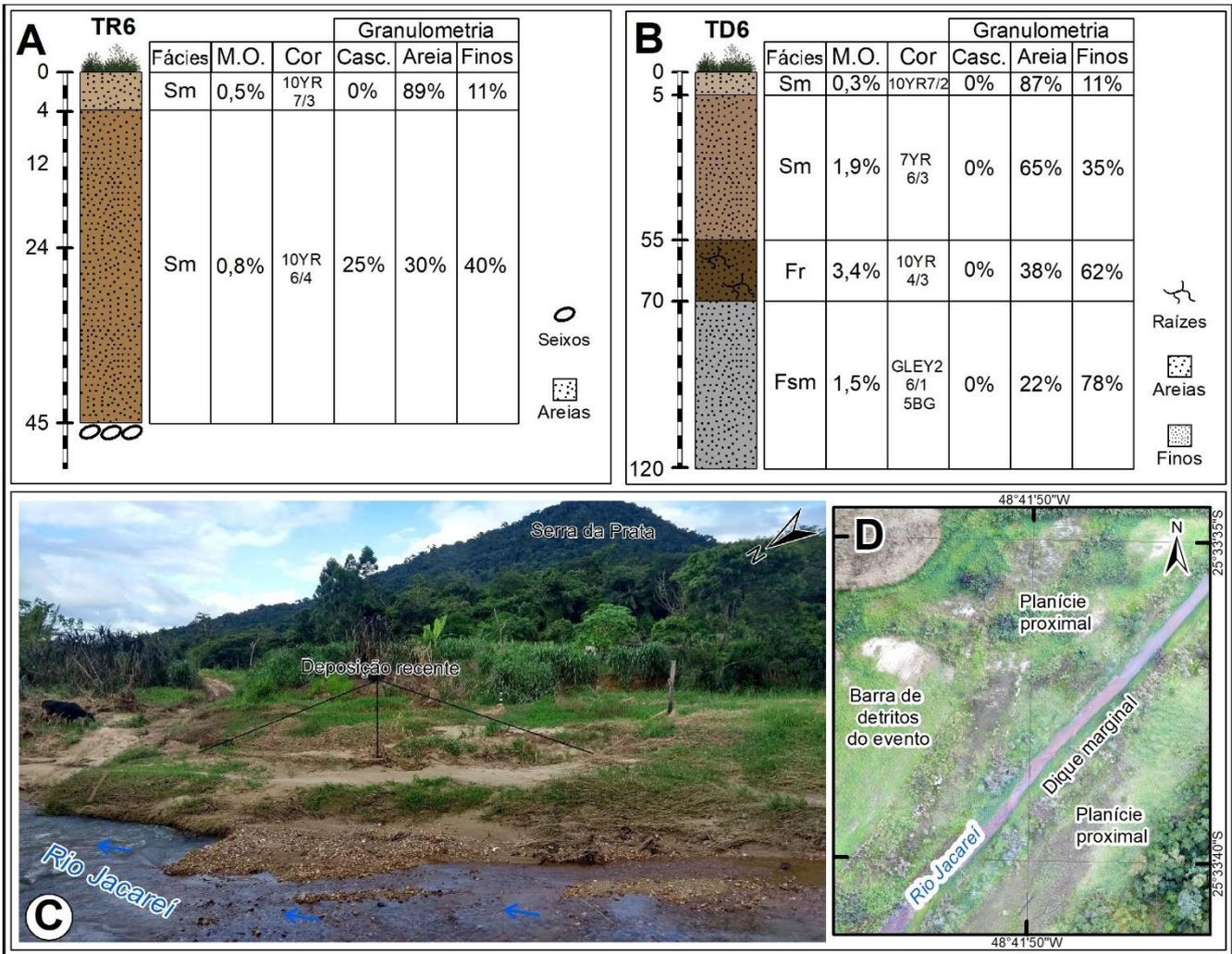


Figura 11. (A) Perfil sedimentar da trincheira 6. (B) Perfil sedimentar da tradagem 6. (C) Planície de inundação proximal após evento de inundação fluvial com presença de material recém depositado. (D) Visão vertical da unidade “Planície de inundação proximal”.

Nota-se distinto comportamento estratigráfico no trecho 1 da unidade “Planície de inundação proximal”, visto a expressiva presença de material grosseiro (blocos e matações que impediram a realização de tradagens ou abertura de trincheiras. O trabalho de Paz e Paula (2021) apresenta uma trincheira aberta nesta unidade (Figura 12), composta por lamina arenosas sobre material cascalhento (seixos – fácies originada pelo evento de 2011) que, por sua vez, situa-se acima de material fino/arenoso, possivelmente fácies Fsm e Sm (anteriores ao evento).

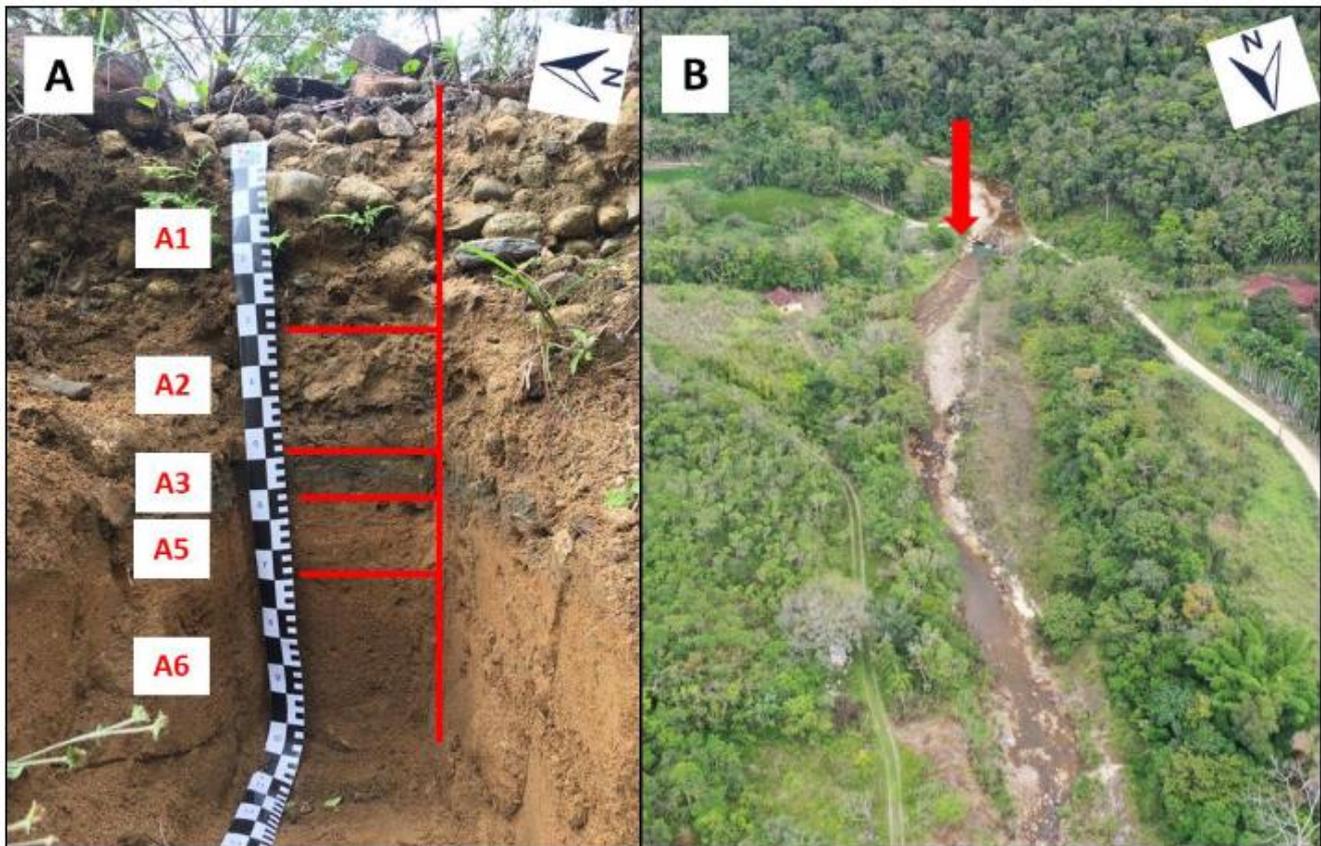


Figura 12. (A) trincheira aberta na unidade “Planície de inundação proximal” por Paz e Paula (2021). (B) Local da trincheira em relação ao leito fluvial. Fonte: Paz e Paula (2021).

O material das feições do leito fluvial apresentou granulometria muito grossa e grossa em todas as amostras, com amplo predomínio de cascalhos e areias (Tabela 3). No ponto C1, em barra fluvial ativa situada no trecho 1 da planície aluvial, logo após o rio Jacaré entrar a planície aluvial, a amostra coletada apresentou 53% de cascalhos.

Tabela 3. Unidades morfoestratigráficas mapeadas e fácies associadas na planície aluvial do rio Jacaré.

COD. Coleta	Leito fluvial	Cascalho	Areia	Finos
C1	Barra fluvial ativa – trecho 1	53%	42%	5%
C2	Barra fluvial ativa – trecho 2	10%	74%	16%
C3	Canal fluvial – trecho 1	7%	88%	5%
C4	Canal fluvial – trecho 2	0%	87%	13%

Fonte: Paz e Paula (2021).

4.4. Discussão

Os terraços situados no trecho 1 da planície ajudam a compreender o cenário passado desta paisagem, em situações diferentes quanto ao nível do mar. A fácies Gcm, encontrada no terraço 1, é apontada na literatura como típica de fluxos turbulentos (MIALL, 1996; 2016a). O imbricamento e arredondamento dos seixos e a posição próxima ao sopé da Serra da Prata sustenta a ideia de que o terraço 1 se trata de depósito de um canal, possivelmente um paleocanal do rio Jacaré.

No terraço 2 foi encontrado uma fácies Gmm, interpretada na literatura como de origem a partir de fluxo viscoso de detritos (MIALL, 1996; 2016a). Pela posição superficial do perfil, interpreta-se este material como advindo do evento de março de 2011. Na sequência é observada uma série de fácies arenosas, interpretadas aqui como diferentes momentos da dinâmica fluvial do rio Jacaré. As fácies arenosas de estrutura maciça podem ser relacionadas a depósitos de leito fluvial, como canais e barras arenosas. Já a fácies St, que apresenta estrutura

cruzada acanalada, é associada na literatura a depósitos de acreção lateral e frontal ou depósitos de rompimento (MIALL, 1996; 2016a)

Já no leque de blocos do rio Tingidor, o terraço soterrado caracterizado a partir da trincheira 2, as duas primeiras fácies (Gmm) foram depositadas pelo evento de 2011, sendo comumente associadas a fluxo viscosos de detritos (MIALL, 1996, 2016b). Enquanto as fácies acinzentadas subseqüentes são associadas a ambientes marginais com saturação de água, como planícies de inundação proximais, lagoas marginais, brejos ou canais abandonados (MIALL, 1996; 2016a).

Os três terraços parecem representar diferentes pontos da paisagem de paleoplanícies do rio Jacaré durante o quaternário. O desnível em relação a cota atual do rio Jacaré pode indicar o processo de oscilação do nível do mar e conseqüente abandono do depósito. Trata-se de materiais não afetados pelos processos de remoção, podendo ajudar no entendimento da evolução da paisagem de planícies aluviais situadas nos sopés da Serra do Mar. Assim, recomendam-se estudos adicionais, principalmente de datação, que relacionem os três terraços entre si e com a evolução fluvial da planície do rio Jacaré.

Quanto aos depósitos atuais, fica evidente que mudanças abruptas de granulometria, cor e presença de raízes são os marcadores que distinguem depósitos formados pelo evento de março de 2011. Ao longo da planície foram identificadas feições fluviais com depósitos arenosos em estrutura maciça (Sm), sobrepostos a materiais de granulometria fina (silte e argila) de cores brunadas ou acinzentadas (Figura 13). Tais marcadores estão bem preservados e podem ser identificados ainda em campo.

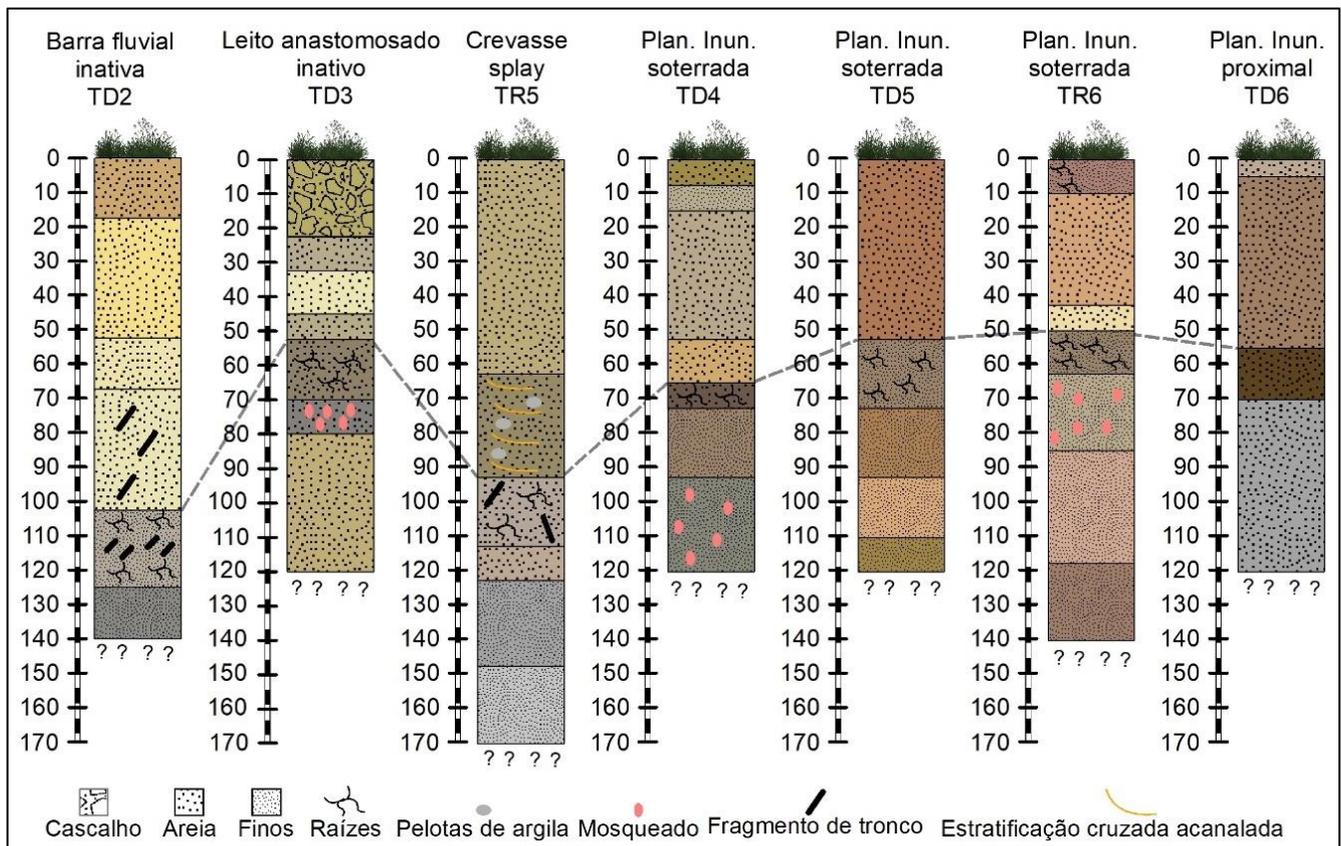


Figura 13. Perfis sedimentares das unidades estratigráficas formadas pelo evento de 2011.

O teor de matéria orgânica elevado na fácies subseqüente aos depósitos arenosos formados pelo evento de 2011 sugere que esta fácies se trata do horizonte A dos solos existentes na planície antes de 2011. Mapeamentos pedológicos apontam a existência de Cambissolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos na planície do rio Jacaré (PAULA, 2010; 2016). Em análise de maior detalhe, já foi identificado Cambissolo Flúvico Tb Distrófico típico soterrado pelo evento de 2011 na planície (PAZ; PAULA, 2021).

Na trincheira 5, unidade “Planície de inundação soterrada”, em área circundada por vegetação arbórea, pode-se interpretar a primeira fácies (Fr) como um horizonte A em processo de formação sobre o material arenoso do

evento de 2011. Este apresenta 10 cm de espessura, podendo indicar o início de um processo pedogenético na área. Pelas características observadas em campo, constata-se que, ponto de vista pedológico, esta trincheira retrata um Cambissolo Flúvico (pré-evento) sobreposto por um Neossolo Quartzarênico em processo de formação (pós-evento).

A literatura aponta que na planície aluvial do rio Jacaré ocorreram corridas de detritos nos canais intramontanos e nas desembocaduras e corridas de lama na planície de inundação (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2012; SILVEIRA et al., 2014). Assim, considerando as definições na literatura quanto à granulometria dos processos (COSTA, 1984b; HUNGR, 2005), fácies cascalhentas do evento são associadas as corridas de detritos, enquanto fácies arenosas foram depositadas pelas corridas de lama. No entanto, no perfil sedimentar da trincheira 6 (unidade planície de inundação proximal) observa-se fácies arenosas maciças sobre cascalhos (majoritariamente seixos), podendo este ponto indicar a interação entre ambas as tipologias de fluxos.

Fácies arenosas e de material fino anteriores ao evento de 2011 têm sua gênese ligada aos processos de erosão e deposição fluvial do rio Jacaré. Fácies Fsm acinzentadas são comumente associadas a ambientes marginais ao canal com certa presença de água, como planícies de inundação proximais, bacias de inundação, meandros abandonados e áreas úmidas (*backswamps*) (SUGUIO; BIGARELLA, 1990; MIALL, 2016b). Já fácies arenosas podem ser associados a feições de barras fluviais, diques marginais, depósitos de acreção frontal ou lateral, depósitos de rompimento (*crevasse splay*) e até depósitos de leito, principalmente quando presentes laminações cruzadas (SUGUIO; BIGARELLA, 1990; CHARLTON, 2007; MIALL, 2016b).

Ainda, no quesito de interação, evidências de campo sugerem que o trecho 1 da unidade “Planície de inundação proximal” foi estabelecido, após 2011, sobre depósitos de corridas de detritos formados em 2011. Esta seria uma unidade morfoestratigráfica distinta originada pelo evento de 2011, não apresentada no mapeamento em função de sua total cobertura pela unidade “Planície de inundação proximal”.

Quanto ao depósito formado, a planície aluvial teve expressivo crescimento vertical com o soterramento pelas corridas de lama e detritos de 2011, aumentando assim a cota média da planície e certamente afetando processos fluviais na área. A espessura média dos depósitos nas feições mapeadas é de 0,5 metro, com exceção da unidade “Barra fluvial inativa” e “*Crevasse splay*”, onde variou de 0,9 a 1 metro. Considerando-se os critérios de distinção entre os sedimentos pré e pós o evento de 2011 apontados aqui, podem ser realizados estudos que estimem o volume deste depósito, bem como explorem suas características sedimentológicas.

Unidades morfoestratigráficas típicas da paisagem fluvial, como terraços, planície de inundação proximal e distal, áreas úmidas e leques, foram identificadas na planície aluvial do rio Jacaré. Já as unidades leito anastomosado inativo e planície de inundação soterrada surgem das especificidades da interação dos processos gravitacionais e fluviais. O processo de intenso aporte sedimentar na planície, relacionado a fluxos de massas, a ponto de destruir/soterrar o canal meandrante existente e impor um canal anastomosado já foi relatado em outros pontos do litoral sul brasileiro, como na enchente na região de Tubarão (SC) em 1974 (BIGARELLA, 2003). Não foi encontrado na literatura consultada descrições morfoestratigráficas da unidade “planície de inundação soterrada” (ou unidade similar) na literatura nacional, muito provavelmente pela raridade e magnitude do processo construtor.

Também merece destaque a unidade mapeada “*Crevasse splay*”, a qual apresentou morfogênese distinta do modelo clássico deposicional de sistemas meandrantos (CAHOON; WHITE; LYNCH, 2011; LI; BRISTOW, 2015; BURNS et al., 2017). O *crevasse splay* é entendido como um depósito de rompimento de margens em função da cheia do canal, precedendo ou não um evento de inundação fluvial (FRYIRS; BRIERLEY, 2013b). A literatura aponta ser rara a observação da feição *crevasse splay* no contexto brasileiro (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020c).

No caso do Jacaré, o *crevasse splay* formou-se pela associação do incremento da vazão e carga sedimentar e obstrução do canal, resultando no seu rompimento. Os fluxos de água e sedimento geram a forma cônica, por vezes denominado leque de rompimento (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017a). Em casos extremo, tal feição precede processo de avulsão fluvial (KLEINHANS et al., 2013; YUILL et al., 2016). Em função dos fluxos de massas serem comuns da Serra do Mar, *crevasses splays* formados nestes eventos podem estar por trás de processos de rearranjo fluvial na planície litorânea.

Por fim, visto a relativa frequência de fluxos de massa na Serra do Mar (considerando o tempo geológico) e o impacto do evento de 2011 na planície aluvial, levanta-se apontamentos sobre as particularidades do ciclo deposicional de planícies fluviais de margem serrana. Estudos anteriores já relataram que após eventos de

soterramento em planícies aluviais na região litorânea por fluxos de massa, os rios tendem a retomar seu padrão meândrico, retrabalhando o material no leito anastomosado (BIGARELLA, 2003).

Muito provavelmente este seria o cenário do rio Jacaré se não houvesse intervenções antrópicas (desassoreamento e retificação) no canal em 2011. O rio continuaria a escavar o depósito recém-formados até formar um novo canal. Outro fato que sustenta esta hipótese é a formação de uma planície proximal após o evento de 2011, indicando que processos de acreção lateral e vertical estão atuando.

Fácies arenosas recentes foram identificadas na planície de inundação proximal, bem como lentes arenosas sobre vegetação herbácea/arbustiva após eventos extremos pluviométricos. A literatura aponta que o rio Jacaré, após o evento extremo de 2011 e com intervenções antrópicas, está retomando sua sinuosidade (PAZ; PAULA, 2021). Tais informações indicam que o rio Jacaré está retomando processos de acreção lateral e vertical, típicos de rios meandantes da planície litorânea.

5. Conclusões

Foram identificadas unidades morfoestratigráficas em três contextos distintos: as formadas anteriormente a 2011, as formadas pelas corridas de lama e de detritos de 2011 e unidades formadas após 2011. Observou-se predomínio de material grosseiro (blocos e seixos) no trecho 1 de planície e material arenoso nos trechos 2 e 3. Foram identificadas unidades morfoestratigráficas especificamente geradas pela ação das corridas de lama e de detritos em planícies aluviais.

Os depósitos formados pelo evento de 2011 apresentam fácies arenosas com espessura entre 0,5 e 1 metro, sendo os principais marcadores para sua identificação a granulometria, a cor, a presença de raízes e o teor de matéria orgânica. Em estudo futuros, recomendações a análise em maior detalhe das estruturas sedimentares ao longo da unidade “planície de inundação soterrada”, com método não destrutivo como sondagens ou trado tipo Uhlend. A pesquisa de estruturas sedimentares específicas dessa unidade pode revelar mais sobre a dinâmica de escoamento interna de água e sedimento durante o processo de soterramento da planície aluvial do rio Jacaré.

A caracterização morfoestratigráfica levou a reflexões sobre o processo evolutivo da paisagem da planície aluvial do rio Jacaré, podendo o evento de 2011 se tratar de uma fase do ciclo sedimentar de planícies fluviais às margens da Serra do Mar. Recomendam-se estudos adicionais que abordem esta hipótese e seu enquadramento frente aos modelos de deposição em sistemas fluviais. Também foi observado o possível papel destes eventos em transformações pedológicas locais.

Por fim, enfatiza-se que a paisagem da planície do rio Jacaré foi totalmente transformada pelo evento de 2011. Assim, dinâmicas ambientais que ocorreram antes de 2011 podem ter sido alteradas, bem como novos processos podem ocorrer. O mapeamento de unidades morfoestratigráficas apresentado aqui releva uma nova configuração de substrato, podendo auxiliar em estudos de capacidade de uso da terra e no ordenamento territorial da área.

Contribuições dos Autores: Paz, O.L.S – Concepção, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Visualização, Escrita – rascunho original e Escrita – análise e edição. Paula, E.V. – Concepção, Análise Formal, Aquisição de Financiamento, Investigação, Metodologia, Recursos, Supervisão, Validação e Visualização. Essa pesquisa é parte da tese de doutorado do primeiro autor, orientado pelo segundo autor.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – pela concessão da bolsa de doutorado dentro do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX).

Agradecimentos: Os autores agradecem aos avaliadores pelas correções, sugestões e críticas ao trabalho. Agradecimento à equipe da Revista Brasileira de Geomorfologia pela condução processo editorial. Pela estrutura e oportunidades, agradecimento a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e seu Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR. Pelos equipamentos e suporte analítico laboratório, agradecimento ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR/UFPR), ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LABESD/UFPR) e ao Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação (CEPAG/UFPR). Pelos recursos, equipamentos e apoios nas campanhas de campo, agradecimento ao Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB/UFPR) e ao Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS/UFPR). Pelo apoio em campanhas de campo e discussões, agradecimentos ao Prof. Dr. Rodolfo José Angulo, Prof. Dr. Everton Passos, Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira, Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos, Profa. Dra. Monica dos Santos Marçal, Prof. Dr. Ricardo Michael Pinheiro Silveira e Profa. Dra. Maria Carolina Villaça Gomes.

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

Referências

1. ANGULO, R. J. Mapa do Cenozoico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de geociências**, v. 55, n. 1, p. 25–42, 2004. DOI: 10.5380/geo.v55i0.4281
2. BAYER, M.; ZANCOPE, M. H. C. AMBIENTES SEDIMENTARES DA PLANÍCIE ALUVIAL DO RIO ARAGUAIA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 203–220, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i2.414
3. BIGARELLA, J. J. Movimentos de massa. In: **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais - Volume 3**. 1ª Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. p. 1024–1098.
4. BRIDGE, J. S. **Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record**. 1ª Ed. Londres: John Wiley & Sons, 2009. 512p.
5. BRIDGLAND, D. R.; WESTAWAY, R. The use of fluvial archives in reconstructing landscape evolution: the value of sedimentary and morphostratigraphical evidence. **Netherlands Journal of Geosciences**, v. 91, n. 1–2, p. 5–24, 2012. DOI: 10.1017/S0016774600000536
6. BRIERLEY, G. J. Bar sedimentology of the Squamish River, British Columbia: definition and application of morphostratigraphic units. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, n. 2, p. 211–225, 1991. DOI: 10.1306/D42676D6-2B26-11D7-8648000102C1865D
7. BURNS, C. E.; MOUNTNEY, N. P.; HODGSON, D. M.; COLOMBERA, L. Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, U.S.A. **Sedimentary Geology**, v. 351, p. 21–35, 2017. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2017.02.003
8. CAHOON, D. R.; WHITE, D. A.; LYNCH, J. C. Sediment infilling and wetland formation dynamics in an active crevasse splay of the Mississippi River delta. **Geomorphology**, v. 131, n. 3, p. 57–68, 2011. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.12.002
9. CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. 1ª Ed. London and New York: Taylor & Francis, 2007. 256p.
10. COSTA, J. E. Physical Geomorphology of Debris Flows. In: COSTA, J. E.; FLEISHER, P. J. (Eds.). **Developments and Applications of Geomorphology**. 1ª Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1984. p. 268–317.
11. FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. Floodplain forms and processes. In: **Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**. 1ª Ed. Backwell Publishing, 2013. p. 155–173.
12. GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111–1116, 1987. DOI: 10.1080/00103628709367886
13. HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, v. 69, n. 1, p. 14–47, 1981. DOI: 10.1109/PROC.1981.11918
14. HUNGR, O. Classification and terminology. In: JAKOB, M.; HUNGR, O. (Eds.). **Debris-flow Hazards and Related Phenomena**. 1ª Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 9–23.
15. KLEINHANS, M. G.; FERGUSON, R. I.; LANE, S. N.; HARDY, R. J. Splitting rivers at their seams: bifurcations and avulsion. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 47–61, 2013. DOI: 10.1002/esp.3268
16. LI, J.; BRISTOW, C. S. Crevasse splay morphodynamics in a dryland river terminus: Río Colorado in Salar de Uyuni Bolivia. **Quaternary International**, v. 377, p. 71–82, 2015. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.11.066
17. MACHADO, R. **Vista em sobrevoo da comunidade de florestas após os movimentos de massa**. SECJ. 2011. 1 fotografia, color.
18. MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. Estratigrafia, interpretação de fácies e reconstituição de paleoambientes deposicionais. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Eds.). **HIDROGEOMORFOLOGIA: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 297–323.
19. MARÇAL, M. S.; RAMOS, R. R. C.; SESSA, J. C.; FEVRIER, P. V. R. SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL QUATERNÁRIA NO VALE DO ALTO CURSO DO RIO MACAÉ, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 449–467, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i3.614
20. MIAL, A. The Facies and Architecture of Fluvial Systems. In: **Fluvial Depositional Systems**. 1ª Ed. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 9–68.
21. MIAL, A. D. The Geology of Fluvial Deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. 1ª Ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.
22. MIAL, A. D. Facies Models. In: **Stratigraphy: A Modern Synthesis**. 1ª Ed. Cham: Springer International Publishing, 2016a. p. 161–214.
23. MIAL, A. D. Facies Analysis. In: **Stratigraphy: A Modern Synthesis**. 1ª Ed. Cham: Springer International Publishing, 2016b. p. 77–159.
24. MINEROPAR. **MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA PORÇÃO LESTE DA SERRA DO MAR DO ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: MINEROPAR, 2011. 102p.

25. MORAIS, E. S.; CREMON, É. H.; SANTOS, M. L.; ROCHA, P. C. Late Pleistocene-Holocene landscape evolution in the lower Peixe river, Brazil: A meandering river valley. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 102, p. 102664, 2020. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102664
26. PAULA, E. V. **Análise da produção de sedimentos na área de drenagem da Baía de Antonina/PR: uma abordagem geopedológica**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010. 220p.
27. 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**. 1ª. ed. Curitiba: Brazil Publishing, 2016. p. 11–35.
28. 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. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p613-629
29. PAZ, O. L. S.; PAULA, E. V. PLANÍCIE DO RIO JACAREÍ APÓS OS MOVIMENTOS DE MASSA DE 2011: CONSIDERAÇÕES A PARTIR DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE TRINCHEIRA E MUDANÇAS DO CANAL. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 1, p. 83–99, 2021. DOI: 10.46551/rc24482692202106%20
30. PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 4, n. 1, p. 3–27, 2012. DOI: 10.4025/geoiंगा.v4i1.49152
31. SANTOS, M. L.; STEVAUX, J. C.; GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA FILHO, E. E. Geologia e Geomorfologia da Planície Aluvial do Rio Ivaí em seu Curso Inferior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 23–34, 2008. DOI: 10.20502/rbg.v9i1.98
32. 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. DOI: 10.20502/rbg.v15i1.366
33. STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Planície de Inundação. In: **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p. 197–225.
34. SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. 1ª Ed. São Paulo: Blücher, 1973. 317p.
35. SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambiente fluvial**. 2ª Ed. Florianópolis: Editora da UFSC: Editora UFPR, 1990. 183p.
36. THAYER, J. B.; ASHMORE, P. Floodplain morphology, sedimentology, and development processes of a partially alluvial channel. **Geomorphology**, v. 269, p. 160–174, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.06.040
37. YUILL, B. T.; KHADKA, A. K.; PEREIRA, J.; ALLISON, M. A.; MESELHE, E. A. Morphodynamics of the erosional phase of crevasse-splay evolution and implications for river sediment diversion function. **Geomorphology**, v. 259, p. 12–29, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.02.005
38. 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**. 1ª Ed. Curitiba: CEPED/FUNESPAR, 2016. p. 34–51.

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

