



A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NO PANTANAL DE MATO GROSSO SOB A PERSPECTIVA GEOMORFOMÉTRICA E PLUVIOMÉTRICA: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO

SEDIMENT PRODUCTION IN THE PANTANAL OF MATO GROSSO FROM A GEOMORPHOMETRIC AND RAINFALL PERSPECTIVE: A CASE STUDY IN THE SÃO LOURENÇO RIVER BASIN

PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN EL PANTANAL DE MATO GROSSO DESDE UNA PERSPECTIVA GEOMORFOMÉTRICA Y PLUVIOMÉTRICA: UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA DEL RÍO SÃO LOURENÇO

Ricardo Michael Pinheiro Silveira¹

¹Professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Pós-Doutor em Geografia (UFPR). E-mail: ricardomichael@ufpr.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5664-7079>

Horiana Rodrigues Passamani²

²Geógrafa pela Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). E-mail: horizontes43@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-0412-347X>

Renata Moreira Amorim Branco³

³Mestra em Geografia pela Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). E-mail: renatamamorin@gmail.com

 <http://orcid.org/0009-0002-0420-859X>

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio São Lourenço (BHRSL), localizada no sudeste do estado de Mato Grosso, abrange a transição entre os biomas do Cerrado e Pantanal. Com o objetivo de modelar cenários geomorfométricos e pluviométricos da produção de sedimentos, os procedimentos metodológicos contemplaram três etapas: i) análise hidrogeomorfológica, com quantificações derivadas da modelagem digital do relevo; ii) análise têmporo-espacial dos dados pluviométricos de chuvas intensas; iii) estimativas e correlações da descarga sólida em suspensão com base em dados fluviométricos. Na BHRSL, a declividade média dos canais foi de 10,1%. A Pr anual de chuvas de 100 mm/24h foi de 28,1%, enquanto os acumulados de 75 mm/24h tiveram Pr anual estimado em 68,3%. Em Barão do Melgaço, onde se inicia a planície aluvionar espaiada com alta sinuosidade dos meandros, a estimativa foi de 5674 toneladas por dia de descarga sólida em suspensão.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia. Erosividade. Modelo Digital de Elevação. Hidrometeorologia.

ABSTRACT

The São Lourenço river basin (BHRSL), located in the southeast of the state of Mato Grosso, encompasses the transition between the Cerrado and Pantanal biomes. Aiming to model geomorphometric and pluviometric scenarios of sediment production, the methodological procedures included three stages: i) hydrogeomorphological analysis, with quantifications derived from digital terrain modeling; ii) spatiotemporal analysis of intense rainfall data; iii) estimates and correlations of suspended sediment discharge based on fluviometric data. In the BHRSL, the average channel slope was 10.1%. The annual Pr for 100 mm/24h rainfall was 28.1%, while accumulated rainfall of 75 mm/24h had an estimated annual Pr of 68.3%. In Barão do Melgaço, where the expansive alluvial plain with highly sinuous meanders begins, the estimated suspended sediment discharge was 5,674 tons per day (t/day).

Keywords: Hydrogeomorphology. Erosivity. Digital Elevation Model. Hydrometeorology.



RESUMEN

La Cuenca del Río São Lourenço (BHRSL), ubicada al sureste del estado de Mato Grosso, abarca la transición entre los biomas Cerrado y Pantanal. Con el objetivo de modelar factores geomorfológicos y pluviométricos de producción de sedimentos, los procedimientos metodológicos incluyeron tres etapas: i) análisis hidrogeomorfológico, con cuantificaciones derivadas del modelado digital de elevación; ii) análisis espaciotemporal de datos de lluvia intensa; iii) estimaciones y correlaciones de la descarga de sólidos en suspensión basadas en datos de caudal. En la BHRSL, la pendiente media del canal fue del 10,1 %. La distribución anual de la precipitación (Pr) de 100 mm/24 h fue del 28,1 %, mientras que la precipitación acumulada de 75 mm/24 h tuvo una Pr anual estimada del 68,3 %. En Barão do Melgaço, donde comienza la extensa llanura aluvial con meandros muy sinuosos, la estimación fue de 5674 toneladas diarias de descarga de sólidos en suspensión.

Palabras clave: Hidrogeomorfología. Erosividad. Modelo digital de elevación. Hidrometeorología.

RÉSUMÉ

Le bassin versant du fleuve São Lourenço (BHRSL), situé au sud-est de l'État du Mato Grosso, englobe la transition entre les biomes du Cerrado et du Pantanal. Afin de modéliser les scénarios géomorphométriques et pluviométriques de production de sédiments, la méthodologie employée comprend trois étapes : i) une analyse hydrogéomorphologique, avec des quantifications issues de la modélisation numérique du relief ; ii) une analyse spatio-temporelle des données de fortes précipitations ; iii) des estimations et des corrélations des rejets de matières en suspension à partir des données de débit. Dans le BHRSL, la pente moyenne du chenal est de 10,1 %. La distribution annuelle des précipitations (Pr) pour une valeur de 100 mm/24 h est de 28,1 %, tandis que pour une valeur de 75 mm/24 h, la Pr annuelle estimée est de 68,3 %. À Barão do Melgaço, où débute la plaine alluviale caractérisée par des méandres très sinueux, le rejet estimé de matières en suspension est de 5674 tonnes par jour.

Mots-clés: Hydrogéomorphologie. Érosivité. Modèle numérique d'élévation. Hydrométéorologie.

INTRODUÇÃO

A caracterização geomorfológica fluvial e as análises têmporo-espaciais sobre a intensidade e recorrência pluviométrica subsidiam a modelagem da suscetibilidade a processos erosivos e à produção de sedimentos. As variáveis de relevo provêm dados sobre a degradação, transporte e aggradação do material sedimentar, enquanto as variáveis climáticas auxiliam nas avaliações sazonais do regime fluviométrico e da erosividade.

No Pantanal, os aportes aluviais provenientes dos planaltos sedimentares transpõem as percées abertas nos fronts das cuevas das bordas ocidentais e se espriam a jusante. O uso inadequado das terras nos planaltos pode gerar um aumento de carga de sedimentos transportados pelos rios que drenam essas áreas e que será depositada nas calhas dos rios e nas planícies, alterando todo o sistema hidrológico existente (Botelho e Silveira, 2024).

A dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos, na paisagem, é evidenciada pela morfologia de barras fluviais, pelos depósitos sedimentares de rompimento de diques marginais e pelo desenvolvimento da vegetação sobre os sedimentos e barras estabilizadas (Montanher, 2019). O assoreamento dos leitos dos rios é resultado da erosão hídrica associada ao uso inadequado do solo, com a remoção de nutrientes e matéria orgânica, cujo material é transportado e depositado no fundo dos vales (Santos et al., 2010).

Para Moraes e Montanher (2022), o aumento da disponibilidade de sedimentos nas áreas de cultivo agrícola das bacias hidrográficas do Pantanal tem sido associado com alterações dos processos avulsivos dos megaleques fluviais característicos do relevo local (Kuerten e Stevaux, 2021). Sobre os diferentes estilos fluviais dos rios do Pantanal, destacam-se as publicações de Assine e Soares (2004), Assine et al. (2005), Kuerten e Assine (2011) e Merino et al. (2013).

No rio São Lourenço (Mato Grosso), especificamente, Corradini e Assine (2012) identificaram três compartimentos no megaleque fluvial: i) planície fluvial pleistocênica dissecada; ii) cinturão de meandros de idade holocênica; iii) lobo deposicional moderno composto por vários lóbulos deposicionais. Em outro estudo, Balderrama (2019) modelou a vazão e transporte de sedimentos suspensos na bacia, denotando as variações da sazonalidade nas quantificações.

No âmbito do ordenamento territorial, as discussões sobre a geomorfologia fluvial no Antropoceno são proeminentes (García et al., 2021), incluindo os cenários das mudanças climáticas (Marçal et al., 2022). Silveira e Silveira (2021) destacam, nesse contexto, a aplicação

dos mapas geomorfológicos que vinculam morfometria e morfodinâmica, para além da morfografia.

De modo associativo às problemáticas derivadas, tais como enchentes e inundações, reforça-se a importância de analisar a influência dos movimentos de carga de fundo e da concentração de sedimentos nos picos de elevação da água e da vazão máxima (Hamidifar, 2024). Em estudos recentes, Rabanaque et al. (2024) aplicaram técnicas de processamento automatizado de imagens para análises têmporo-espaciais de rios, enquanto Shadkani et al. (2025) empregaram técnicas de redes neurais artificiais para estimar a concentração de sedimentos em suspensão.

Além do processamento digital de imagens e dos algoritmos de aprendizado de máquinas, os preceitos teórico-metodológicos com destaque operacional recente se apoiam nas técnicas da modelagem digital do relevo e da geomorfometria (Xiong et al., 2022). A segmentação do relevo (Minár et al., 2024) viabiliza aplicações quantitativas para a elaboração de mapeamentos geomorfológicos, favorecendo a integração com variáveis ambientais afins – proposta deste estudo.

Ao adotar a bacia hidrográfica do rio São Lourenço como área de estudo, esta pesquisa objetivou modelar e analisar os condicionantes geomorfométricos, pluviométricos e hidrogeomorfológicos vinculados à produção, transporte e deposição de sedimentos.

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Lourenço (BHRSL) está localizada no sudeste do estado de Mato Grosso (Figura 1), tem área de 25.609 km² e é caracterizada como importante afluente da bacia do Alto Paraguai. A área de estudo abrange a transição entre os biomas do Cerrado e Pantanal, tendo Rondonópolis como o município mais populoso (244.911 habitantes em 2022). A altimetria varia de 840 a 105 metros.

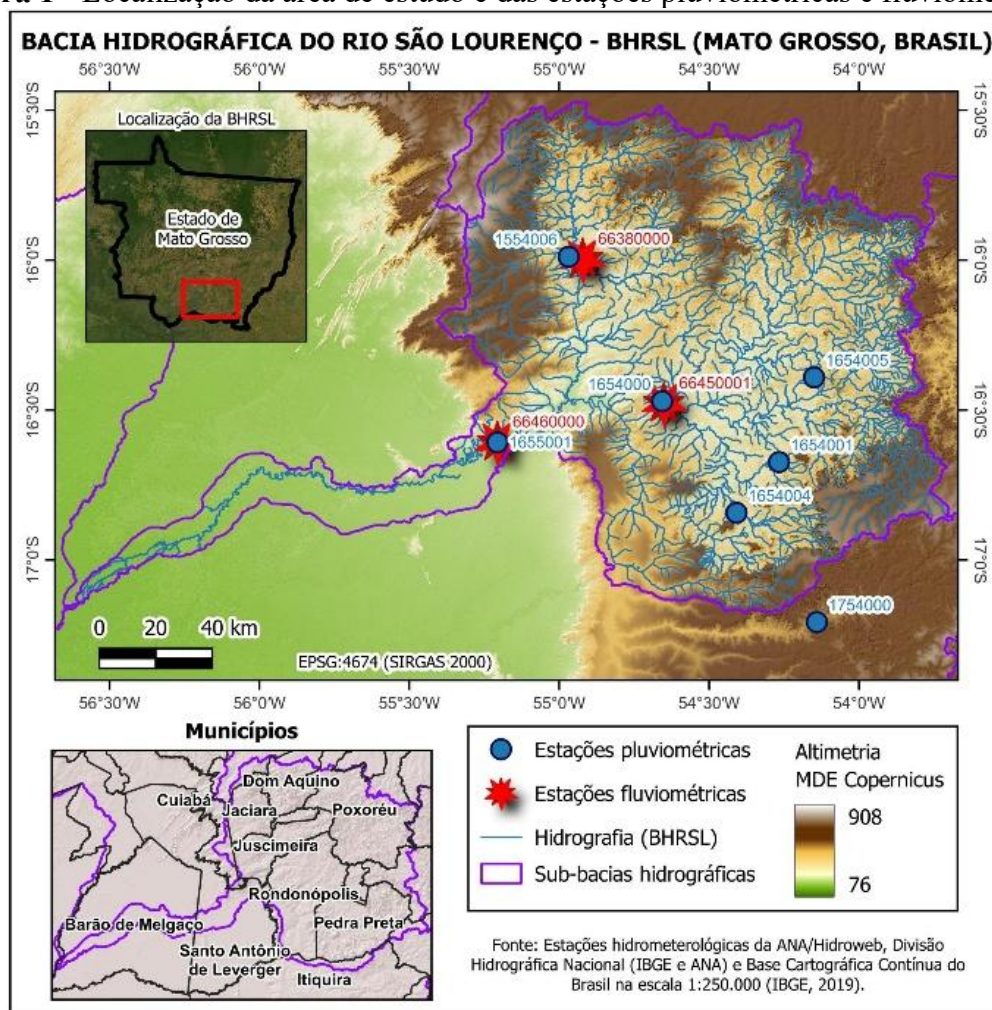
Na BHRSL, a precipitação média anual é de 1795 mm (Fick e Hijmans, 2017) e o clima é caracterizado como tropical, tendo de 4 a 5 meses de período seco (IBGE, 2002). Sob a perspectiva das unidades de relevo, de montante para jusante, constam chapadas, planaltos, patamares, depressões e planícies (IBGE, 2019), o que exemplifica a diversidade geomorfológica na área.

O contexto geológico da área se vincula às formações litoestratigráficas da Bacia Sedimentar do Paraná com divisores na Chapada dos Guimarães (Ross, 2014) e às planícies do Pantanal, cujo aporte sedimentar é destacado pela formação do megaleque fluvial do rio São Lourenço (Assine et al., 2014), com extensão de aproximadamente 100 km (londitudinal) por 115 km (transversal).

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma morfoestrutura derivada de processos agradacionais que tiveram início há 443 milhões de anos (Permiano) e perduraram até 145 milhões de anos atrás (Cretáceo), com sedimentos de ambientes que passaram por seguidas transições climáticas, ora continentais, ora marinhos e ora glaciais (Lacerda Filho et al., 2004; Alkmin, 2015).

Trata-se de uma típica bacia intracratônica, cuja evolução inclui sucessões sedimentares definidas por ciclos transgressivo-regressivos ligados às oscilações do nível relativo do mar no Paleozoico, efeitos da epirogênese, e formações sedimentares de gênese fluvial, desértica ou de deltas em climas diversos. Os registros sedimentares são resultado de sucessivas fases de acumulação sedimentar que se alternaram em períodos de erosão generalizada com regressões e transgressões marinhas (Milani, 2007).

Figura 1 - Localização da área de estudo e das estações pluviométricas e fluviométricas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026). MDE Copernicus (ESA, 2023).

Theorodovicz e Theorodovicz (2010) contextualizam que os rios formadores da bacia hidrográfica do rio Paraguai, no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná, têm alta suscetibilidade às enxurradas provenientes das áreas elevadas que carregam alta carga de detritos que atulham as calhas. Soma-se a isso a sazonalidade entre a estação seca (inverno) e úmida (verão) bem definida, típica de um padrão climático de monções, com precipitações pluviométricas concentradas e intensas.

O material transportado pelos rios é espreado ao adentrar a planície pantaneira, com declividades que têm variação de poucos centímetros por quilômetro (Botelho e Silveira, 2024). O Pantanal é uma bacia sedimentar composta principalmente por areias com granulometria predominantemente pequena e média (Schiavo et al., 2012), preenchida por um pacote sedimentar inferior a 500 metros (Stevaux et al., 2020).

O Pantanal é, portanto, uma planície ativa desenvolvida sob uma superfície rebaixada com o aporte sedimentar dos planaltos circundantes (Silveira e Silva, 2026). Além disso, a gênese deste ambiente deposicional está relacionada à compensação isostática no Paleógeno com o soerguimento dos Andes e acomodações intraplatônicas que resultaram no abatimento da depressão pantaneira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas, detalhadas adiante: i) mensurações sob a perspectiva hidrogeomorfológica, com uso de técnicas da modelagem digital do relevo; ii) análise têmporo-espacial dos dados pluviométricos de chuvas intensas; iii) estimativas e correlações da produção de sedimentos com base em dados pluviométricos.

Análise geomorfométrica fluvial

As quantificações geomorfométricas da BHRSL empregaram duas bases de dados:

i) dados vetoriais da hidrografia do IBGE (2019), que é a base de referência da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e mantém as toponímias dos rios presentes das bases cartográficas contínuas nacionais. Utilizou-se a Divisão Hidrográfica Nacional (IBGE e Agência Nacional de Águas) como recorte da bacia hidrográfica do rio São Lourenço (BHRSL);

ii) Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, da Agência Espacial Europeia (ESA), com resolução espacial de 30 metros e processado a partir de dados do WorldDEM e da missão TanDEM-X.

As etapas operacionais foram realizadas pelo software QGIS 3.22.

Foram mensurados sete parâmetros morfométricos para todos os 1079 canais identificados na BHRSL: i) comprimento dos canais; ii) sinuosidade fluvial; iii) amplitude altimétrica; iv) relação de relevo; v) declividade média nas margens; vi) aprofundamento dos vales; vii) índice topográfico de umidade.

O comprimento dos canais considerou a distância entre os segmentos iniciais (nascentes e confluências) e finais (foz e confluências) dos canais. O índice de sinuosidade (IS) dos rios foi quantificado pelo método de Mansikkaniemi (1970), que considera a relação entre a distância dos segmentos iniciais e finais do rio em linha reta (L_r) e o comprimento do rio principal (L) no formato vetorial, conforme equação 1.

$$IS = (100 * (L - L_r)) / L \quad (\text{equação 1})$$

Posteriormente, com base no MDE Copernicus, foi calculada a amplitude altimétrica (mín.–máx.) dos rios com a ferramenta “Estatísticas Zonais” do QGIS. A relação de relevo, mensurada pela relação entre a amplitude altimétrica (em metros) e o comprimento do segmento fluvial (em quilômetros), seguiu a proposta de Schumm (1956) e viabilizou analisar a capacidade de erosão e transporte de sedimentos dos canais.

Para avaliar a dissecação do relevo transversalmente aos leitos, após o cálculo da declividade local – em janelas móveis 3x3 com as variáveis direcionais de Horn (1981) – foi calculada a média da declividade em raios de 1 km (ferramenta *r.neighbors*) a partir do leito de vazante.

O aprofundamento dos vales, de modo complementar, foi modelado com base no operador morfológico com função de fechamento denominado Black Top Hat - BTH (Rodriguez et al., 2002; Riquelme et al., 2008; Silveira et al., 2025), que é um atributo de cálculo regional e mensura a altimetria mínima da altimetria máxima. Ao subtrair os valores do BTH pelo MDE se obtém a identificação do aprofundamento dos vales, em metros. Utilizou-se o raio de 1 km para avaliar a disponibilidade de sedimentos de modo mais abrangente, tal como na declividade média das margens.

O Índice Topográfico de Umidade (ITU), por fim, também foi calculado pelo MDE e é composto pela área de contribuição dividida pela tangente da declividade. Adotou-se o algoritmo SAGA Wetness Index (Boehner et al., 2002). O ITU é um parâmetro utilizado para descrever a tendência de acumulação de água para cada pixel do MDE. Tem-se, por

exemplo, que quanto maior for a área de contribuição e menor a declividade, maior será a suscetibilidade a inundações sob condicionantes topográficos.

Recorrência pluviométrica e erosividade

Os cálculos pluviométricos utilizaram as seguintes estações do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) no banco de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (portal Hidroweb): estação de Guiratinga (01654005), do ano de 1972 a 2022; estação de Itiquira de 1965 a 2022 (01754000); estação de Jaciara de 1965 a 2022 (01554006); estações de Pedra Preta, sendo uma do ano de 1977 a 2022 (01654001) e outra de 1969 a 2022 (01654004); estação de Santo Antônio do Leverger de 1972 a 2022 (01655001); estação do município de Rondonópolis, do ano de 1965 a 2022 (01654000). A espacialização consta apresentada na Figura 1.

A partir da definição dos valores de chuvas, com os dados históricos oriundos das estações hidrometeorológicas, foi calculada a frequência (F), o tempo de retorno (Tr) e a probabilidade de recorrência (Pr) conforme equações 1, 2 e 3, adaptadas de Collischonn e Dornelles (2013) e interpretadas por Pinheiro et al. (2023).

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (\text{equação 1})$$

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad (\text{equação 2})$$

$$Pr = 1 - (1 - F)^t \quad (\text{equação 3})$$

Onde m é a ordem do registro pluviométrico, n é o número de dias com registros pluviométricos, t é o número de anos a ser calculada a probabilidade de recorrência.

O método kimball mensura a frequência (F) a partir de uma série histórica, com valores resultantes que variam de 0 (baixa frequência) a 1 (alta frequência). O tempo de retorno (Tr) resulta, a partir da série pluviométrica histórica, o tempo estimado para determinado volume pluviométrico (considerada, neste trabalho, como a chuva deflagradora com potencial erosivo). Para as probabilidades de recorrência (Pr), cuja equação mensura a probabilidade de ocorrência de determinado desastre num intervalo de tempo predeterminado (t), foram considerados os intervalos de 50, 25, 10, 5, 2 e 1 ano.

Descarga sólida em suspensão e produção de sedimentos

As estimativas da produção de sedimentos tiveram como referência os cálculos da descarga sólida em suspensão, conforme equação 4, a partir das estações fluviométricas do banco de dados da ANA/Hidroweb.

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q * C_{ss} \quad (\text{equação 4})$$

Onde Q_{ss} é a descarga sólida em suspensão em tonelada/dia, 0,0864 é o fator de conversão, Q é a vazão em m^3/s e C_{ss} a concentração de sedimentos em suspensão em mg/L ou ppm.

Foram analisadas três estações fluviométricas, em porções distintas da bacia hidrográfica do rio São Lourenço: estação 66450001 (49 mensurações), em Rondonópolis, no contexto do rio Vermelho e com a influência da maior mancha urbana da BHRSL; estação 66380000 (47 mensurações), em Jaciara, em segmento do rio São Lourenço a montante da

confluência com o rio Vermelho; estação 66460000 (48 mensurações), em Santo Antônio de Leverger, já no terço inferior da bacia hidrográfica, no início do Pantanal matogrossense (Figura 1).

Realizou-se, posteriormente, a correlação dos valores da descarga sólida e os acumulados pluviométricos de 24h, 48h, 72h e 7 dias.

Considerando que as 144 mensurações da descarga sólida em suspensão têm datas distribuídas ao longo do ano, procedeu-se com duas estimativas para a Qss média diária e média anual: i) cálculo com média simples dos valores diários que constam com mensuração fluviométrica (n=144); ii) cálculo proporcional em relação à precipitação média anual em cada estação fluviométrica.

Os dados sobre a precipitação média anual provêm do WorldClim (versão 2.1), publicado por Fick e Hijmans (2017), que interpolaram dados climáticos entre 1970 e 2000 resultando em matrizes com resolução espacial de 1 km.

Na estação de Rondonópolis, por exemplo, a precipitação pluviométrica média nos dias de registro de mensuração foi de 1,52 mm/24h, com média de 3228 t/dia de Qss. Proporcionalmente à chuva média anual (1588 mm), que resulta em média de 4,3 mm/24, tem-se que a média diária de Qss poderia ser de 9239 t/dia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise geomorfométrica fluvial

A modelagem e quantificação da rede de drenagem com base em parâmetros do relevo viabilizou caracterizar o potencial de erosão e transporte de sedimentos em toda a BHRSL. A declividade média dos canais foi de 10,1% e a média do aprofundamento dos vales foi de 44 metros (no raio de 1 km em relação às margens).

Os resultados evidenciaram o padrão de dissecação da bacia hidrográfica na transição entre os planaltos da bacia sedimentar do Paraná e a planície do Pantanal, com amplitude altimétrica superior a 800 metros. Os canais associados ao desgaste do front erosivo e à erosão remontante das chapadas configuram as porções com morfodinâmica degradacional mais ativa, principalmente nas rochas sedimentares da Formação Aquidauana.

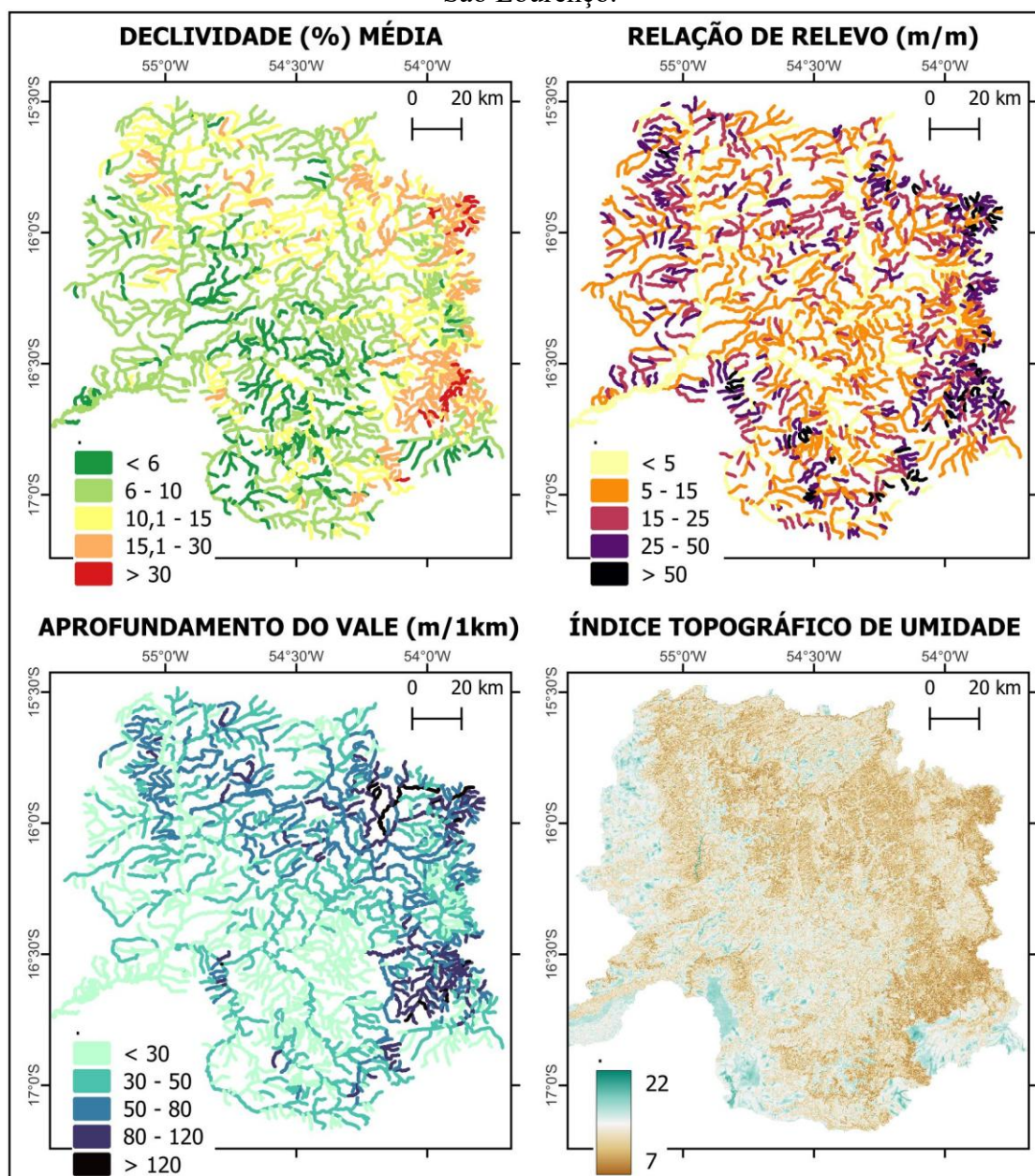
O aprofundamento dos vales, mensurado pelos desníveis transversais (raio de 1 km a partir do leito fluvial), denota a importância de manutenção das Áreas de Preservação Permanente de nascentes e margens dos rios, visto que os canais de primeira ordem são as fontes de sedimentos de maior suscetibilidade geomorfológica. A espacialização da Figura 2 evidencia essa característica em todos os atributos geomorfométricos.

Os desníveis longitudinais, por sua vez, indicaram a capacidade de transporte e remobilização de sedimentos potencializados pela associação com os eventos pluviométricos intensos.

Para os dez rios mais extensos da bacia, conforme disposto na Tabela 1, o rio Prata (afluente do rio Vermelho que marca os limites dos municípios de Pedra Preta e Guiratinga) obteve a maior declividade média (23,3%). Trata-se de uma porção com forte controle estrutural, com muitos cânions em sistemas de falhas e fraturas, que promove o transporte de sedimentos em ambiente fluvial confinado.

O rio Paraíso (no município de Poxoréu), com perfil divagante, teve a maior relação de relevo, considerando a divisão entre a amplitude (m) e a extensão (km). A área fonte de sedimentos está vinculada ao rebordo erosivo da Chapada dos Guimarães, perpassando um padrão de relevo com morros dissecados, configurando alta suscetibilidade à produção de sedimentos.

Figura 2 – Resultados da caracterização geomorfométrica fluvial na bacia hidrográfica do rio São Lourenço.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O rio Areial (em Juscimeira) teve a menor sinuosidade (32,6%) entre os maiores rios da BHRSL, encaixado em falhas (W-E e W-NE) nos arenitos da Formação Ponta Grossa. O transporte de sedimentos é potencializado nestes segmentos vinculados aos lineamentos estruturais.

Referente aos resultados do índice topográfico de umidade (ITU), que ressaltam as áreas de maior suscetibilidade ao aporte sedimentar decorrente da baixa declividade e alta área de contribuição, destaca-se que o rio Vermelho foi modelado com a maior média deste atributo geomorfométrico. Os registros de inundações corroboram a quantificação geomorfométrica.

Considerando as interações socioambientais, três problemáticas vinculadas ao ITU e à produção de sedimentos no rio Vermelho podem ser destacadas: i) o aporte oriundo dos afluentes que possuem o maior potencial erosivo no sistema da bacia; ii) a retenção dos sedimentos, em função da mudança de padrão de relevo para a Depressão de Rondonópolis; iii)

a influência da área urbana de Rondonópolis, com maior proporção de áreas desmatadas e impermeabilizadas, que incrementam a produção de sedimentos localmente (somada ao aporte produzido a montante).

Tabela 1 – Resultados da caracterização morfométrica para os dez maiores rios em extensão da BHRSL

Nome do rio	Comprimento (km)	Sinuosidade (%)	Amplitude altimétrica	Relação de relevo (m/km)	Declividade média (%)	Índice Topográfico de Umidade (média)	Incisão do vale* (m)
Rio São Lourenço	619,6	62,6	644,3	1,04	7,2	12,6	174,7
Ribeirão Ponte de Pedra	156,4	45,9	469,7	3	7,9	14,1	203,5
Rio Jurigão	148,3	47,4	479,6	3,23	10,4	12,2	182,9
Rio Areia	127,7	51,4	346,4	2,71	10,5	12,4	134,8
Rio Vermelho	125,6	39,1	54,29	0,43	8,4	14,7	186,3
Rio Prata	99,4	50,8	353,5	3,56	23,3	11,6	209,4
Rio Paraíso	82,2	32,6	479,9	5,84	16,4	12	180
Córrego Arareau	82	44,9	318,4	3,88	6,5	13,9	71,36
Rio Poxoréo	82	41,3	160,5	1,96	9,5	13,1	144,3
Rio Areial	73,59	32,6	296,7	4,03	7,53	13,4	144,3

* Aprofundamento do vale mensurado no raio de 1 km a partir do leito de vazante.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Os resultados da modelagem são limitados às características do MDE Copernicus, que contém ruídos por considerar a elevação da copa de árvores e edificações (SAR em banda X). As matas ciliares, portanto, podem causar incremento errôneo dos valores de declividade nas margens dos rios.

Recorrência pluviométrica e erosividade

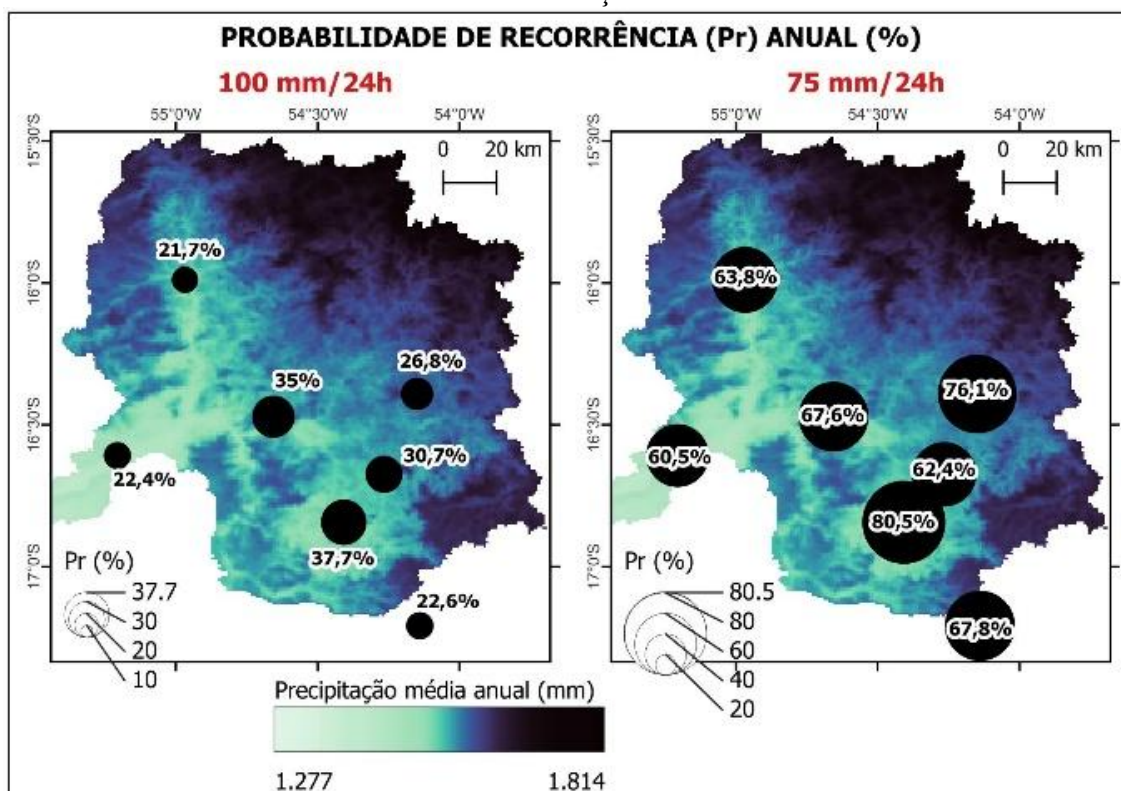
As chuvas configuram o principal agente deflagrador de processos erosivos e de transporte dos sedimentos, remobilizando o material sob influência da suscetibilidade geomorfológica no contexto da dinâmica fluvial. Na BHRSL, a recorrência pluviométrica permitiu avaliar a erosividade numa perspectiva têmporo-espacial, com ênfase nos eventos intensos (Figura 3).

A Figura 3 apresenta a espacialização da probabilidade de recorrência (Pr) anual de chuvas de 100 mm/24h e 75 mm/24h e precipitação média anual na BHRSL. Na área de estudo, a Pr anual de chuvas de 100 mm/24h foi de 28,1%, enquanto os acumulados de 75 mm/24h tiveram Pr anual estimado em 68,3%. As condições climáticas locais denotam outro aspecto temporal relevante: a sazonalidade das chuvas e a concentração dos volumes pluviométricos na estação úmida, sobretudo de dezembro a março.

Os resultados apontaram que o rio Jurigão, afluente do rio Vermelho, no município de Pedra Preta, detém maior recorrência e menor tempo de retorno de chuvas intensas. Atribui-se esta distinção ao efeito orográfico do Planalto de Itiquira.

Tendo como referência o município de Rondonópolis, que é o mais populoso da região, a Tabela 2 apresenta as quantificações estabelecidas para os registros pluviométricos de maior volume diário a partir da série histórica. Chuvas de 200mm/24h têm tempo de retorno (Tr) calculado em 30 anos. Registros com acumulado de 130mm/24h, com grande potencial erosivo, têm Tr inferior a 5 anos.

Figura 3 – Probabilidade de recorrência anual de chuvas na bacia hidrográfica do rio São Lourenço.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Dado climáticos: Fick e Hijmans (2017).

Tabela 2 – Resultados dos cálculos de tempo de retorno (Tr), em anos, e probabilidade de recorrência (Pr) para os 20 registros pluviométricos mais volumosos registrados em Rondonópolis (estação 01654000)

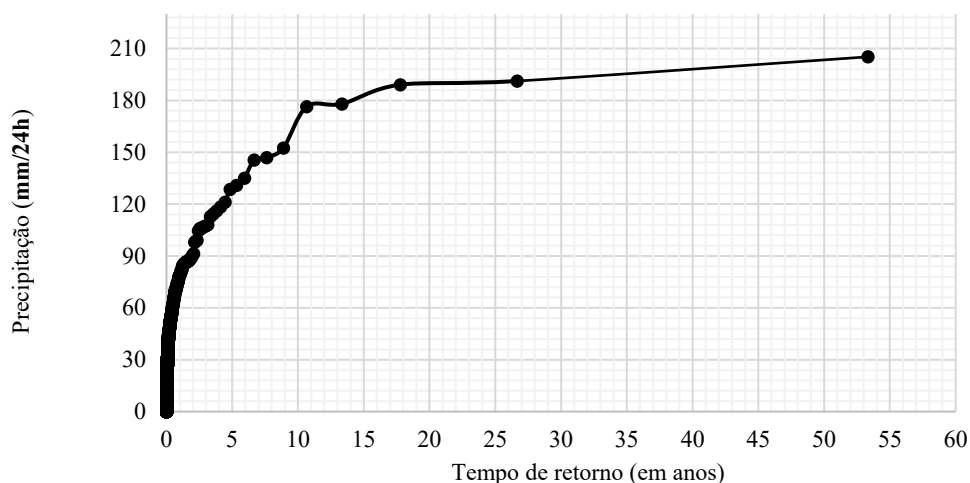
Precipitação pluviométrica (mm / 24h)	Data	Tr anos	Pr % em 50 anos	Pr % em 25 anos	Pr % em 10 anos	Pr % em 5 anos	Pr % em 2 anos	Pr % em 1 ano
205,2	17/11/1992	53,3	60,8	37,4	17,1	9,0	3,7	1,9
191,2	01/12/1983	26,7	84,7	60,8	31,3	17,1	7,2	3,7
189,1	05/11/1982	17,8	94,0	75,5	43,0	24,5	10,6	5,5
178	21/05/1976	13,3	97,7	84,7	52,8	31,3	13,9	7,2
176,4	16/01/1999	10,7	99,1	90,4	60,8	37,4	17,1	9,0
152,5	09/01/1989	8,9	99,6	94,0	67,5	43,0	20,2	10,6
146,9	03/01/1997	7,6	99,9	96,2	73,1	48,1	23,1	12,3
145,5	12/03/2018	6,7	99,9	97,7	77,7	52,8	25,9	13,9
135	15/02/1976	5,9	100	98,5	81,5	57,0	28,7	15,5
130,9	23/11/1992	5,3	100	99,1	84,7	60,9	31,3	17,1
128,6	07/12/1971	4,9	100	99,4	87,3	64,4	33,8	18,6
121,2	20/03/1998	4,4	100	99,6	89,5	67,6	36,3	20,2
118,4	11/12/1995	4,1	100	99,8	91,3	70,5	38,6	21,6
116	16/11/1970	3,8	100	99,9	92,8	73,1	40,9	23,1
114,3	09/01/2012	3,6	100	99,9	94,0	75,5	43,0	24,5
112,8	27/03/2015	3,3	100	99,9	95,0	77,7	45,1	25,9
108	10/02/2007	3,1	100	100	95,9	79,7	47,2	27,3
107,2	17/12/1981	3,0	100	100	96,6	81,5	49,1	28,7
107	10/09/1979	2,8	100	100	97,2	83,2	51,0	30,0
106,1	04/03/1991	2,7	100	100	97,7	84,7	52,8	31,3

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Os Gráficos 1 e 2 trazem, respectivamente, as curvas resultantes do Tr e do Pr para Rondonópolis. Estes cálculos auxiliam nas ações de prevenção e planejamento, já que os eventos de chuvas intensas estão associados às ocorrências de enchentes e inundações.

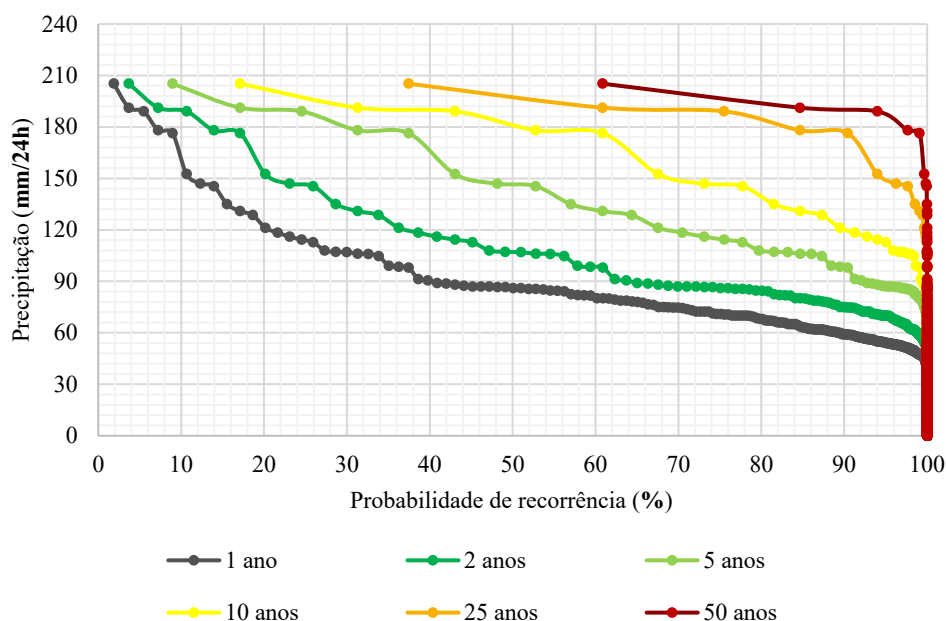
O transbordamento das águas para o leito maior aumenta a produção de sedimentos, sobretudo em área urbana, além de carrear e dispersar poluentes. Nas áreas rurais, a supressão vegetal e os agrotóxicos acentuam as problemáticas decorrentes, para além do assoreamento fluvial. A contaminação de águas superficiais atestada por análises ecotoxicológicas no estado de Mato Grosso (Moreira et al., 2012) reforça a importância dos resultados apresentados em relação à erosividade.

Gráfico 1 - Tempo de retorno (Tr) de chuvas em Rondonópolis (estação 01654000)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Gráfico 2 - Probabilidade de recorrência de chuvas em relação ao acumulado de pluviométrico (mm/24h) em Rondonópolis (estação 01654000)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Precipitações pluviométricas de 60 mm/24h, que já são considerados eventos intensos e com alta erosividade, têm 90% de probabilidade de recorrência anual em Rondonópolis. Na média histórica, 0,6% dos dias constam com chuvas superiores a 60 mm/24h, promovendo erosão por varredura. A erosão por salpicamento (efeito *splash*) pode ser detalhada em estudos futuros com dados horários, para avaliar a intensidade dos picos pluviométricos, bem como a integração com dados de erodibilidade e as projeções dos padrões de pluviosidade em relação às mudanças climáticas.

Descarga sólida em suspensão e produção de sedimentos

A descarga sólida em suspensão nos rios é resultado, sobremaneira, da erosividade pluviométrica e da suscetibilidade geomorfológica à erosão. A produção de sedimentos expressa a interação entre o escoamento superficial nas vertentes e a geometria transversal e longitudinal dos vales, cujas estimativas de volume provêm assinaturas da dinâmica sedimentar no âmbito da bacia hidrográfica.

No Pantanal, o aporte sedimentar tem particular relevância devido às alterações de uso e cobertura da terra nas últimas décadas. O desmatamento no Cerrado (a montante) e o déficit hídrico sob captações demandadas pela agropecuária e aproveitamentos hidrelétricos alteram o regime de vazão, longitudinalmente, e os padrões de degradação e aggradação, transversalmente aos canais.

A estimativa da produção de sedimentos nesta pesquisa considerou duas médias. A primeira foi a média simples com base nos dados das estações fluviométricas, sem ponderações em relação à sazonalidade ou à chuva. A segunda estimativa estabeleceu uma proporcionalidade da descarga sólida (medições diárias intervaladas) à pluviometria anual. A Tabela 3 evidencia os resultados das quantificações. A comparação entre os resultados é apresentada na Figura 4.

Tabela 3 – Resultados dos cálculos de estimativa de produção de sedimentos

Estação fluviométrica	Precipitação média anual (mm)	Descarga sólida em suspensão (toneladas)			
		Média diária estimada*	Média anual estimada*	Média diária estimada por proporcionalidade pluviométrica**	Média anual estimada por proporcionalidade pluviométrica **
66450001 (Rondonópolis)	1588	3228,8	1178500,6	9239,2	3372308,1
66380000 (Jacira)	1533	2376,2	867327,9	2200,8	803296,9
66460000 (Barão de Melgaço)	1456	5674,5	2071206,3	3713,8	1355545,6
BHRSL (estimativa)	1795	3748,5	1368220,6	4494,7	1640565,7

* Estimativa com base nos valores diários que constam com mensuração fluviométrica.

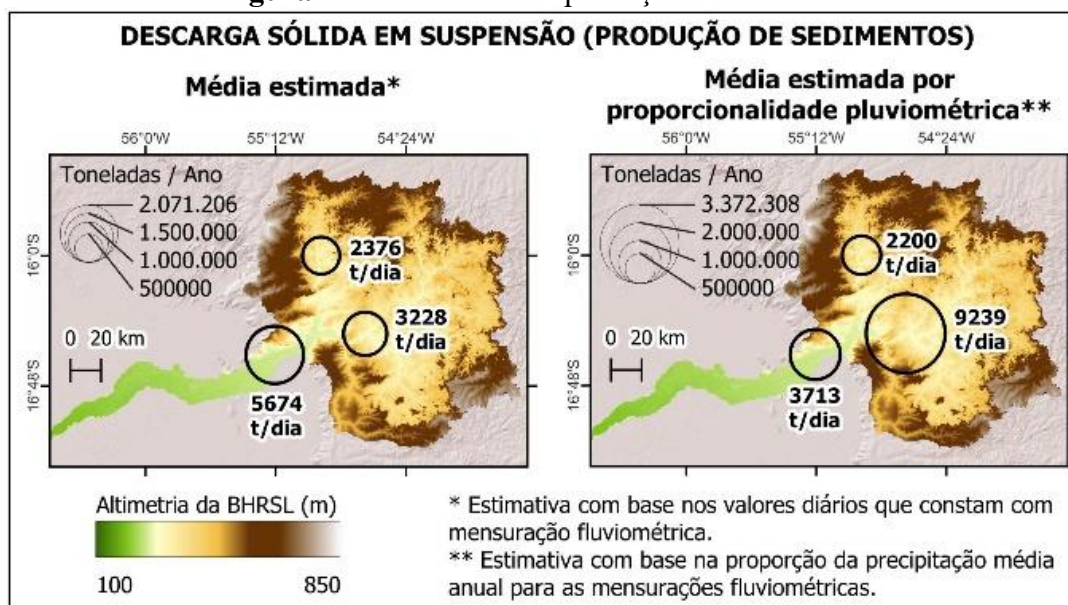
** Estimativa com base na proporção da precipitação média anual para as mensurações fluviométricas.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Tendo como referência apenas os dados fluviométricos, verificou-se uma proporcionalidade em relação à área de contribuição das estações. Em Barão do Melgaço, onde se inicia a planície aluvionar espaiada com alta sinuosidade dos meandros, a estimativa foi de 5674 toneladas por dia (t/dia) de descarga sólida em suspensão. Em Jacira o valor foi de 2376 t/dia e em Rondonópolis, devido à maior área de contribuição no ponto de medição e à influência da dinâmica urbana, foram calculadas 3228 t/dia. A jusante desta estação há um

número maior de barras fluviais (pontais e centrais), denotando a deposição no leito menor com a diminuição do gradiente de declividade.

Figura 4 – Estimativas de produção de sedimentos



Fonte: Elaborado pelos autores (2026). MDE Copernicus (ESA, 2023).

Considerando a produção diária, os resultados se mostraram inferiores aos principais rios de Mato Grosso do Sul, onde Ferreira e Aquino (2007) avaliaram o rio Coxim (12910 t/dia), rio Taquari (21245 t/dia) e rio Jauru (8106 t/dia). No entanto, em comparação ao Pantanal norte de Mato Grosso, a BHRSL tem produção de sedimentos superior. No rio Bugres, por exemplo, Felix et al. (2020) calcularam 1224 t/dia no período úmido.

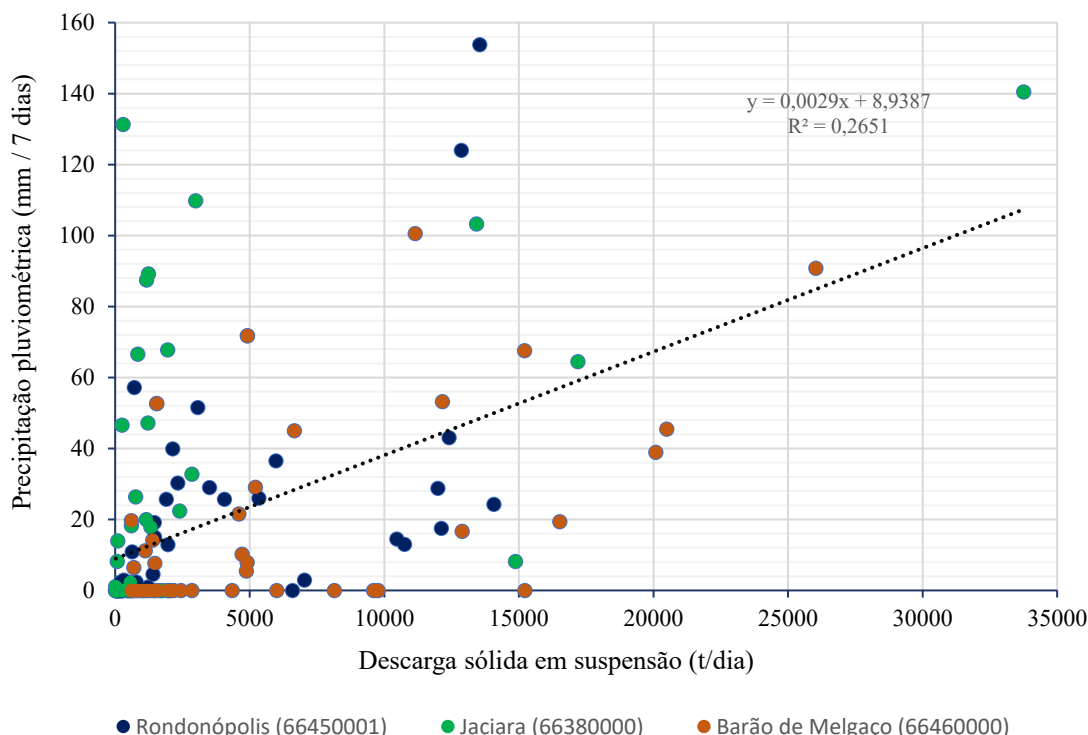
A correlação linear entre a precipitação pluviométrica e a descarga sólida em suspensão foi baixa, cujo R^2 foi de 0,26 na comparação entre o acumulado de uma semana de chuva e a produção diária de sedimentos (Gráfico 3). Verificou-se que a correlação aumenta em acumulados pluviométricos que contemplam intervalo temporal maior. A partir dos dados analisados, considera-se que o volume de chuva tem maior influência na produção de sedimentos do que a intensidade em si.

Ao individualizar a correlação para cada estação fluviométrica, verificou-se um importante resultado da pesquisa. No acumulado pluviométrico de 7 dias, a produção de sedimentos em Rondonópolis teve correlação (R^2) de 0,36, superior à Jaciara (0,29) e Barão de Melgaço (0,28). Esses dados evidenciam a influência da área urbana e da impermeabilização, que aumenta a velocidade do transporte de sedimentos e diminui a retenção do material ao longo das vertentes.

A média estimada por proporcionalidade pluviométrica parte de uma correlação linear perfeita e caracteriza, portanto, uma projeção superestimada. Tem potencial para modelar cenários de produção de sedimentos em eventos climáticos severos, principalmente em áreas com alta suscetibilidade geomorfológica à erosão.

Nos dias que constam com dados fluviométricos das três estações, a chuva média foi de 4,1 mm/24h. Considerando que a precipitação média anual da BHRSL é de 1795 mm, ao dividir esse valor por 365 (dias), tem-se a média diária de 4,9 mm/24h. Foi a partir desse valor que se efetuou a regra de três, ou seja, a estimativa por proporcionalidade pluviométrica. Nesse exemplo, considera-se que a produção de sedimentos tende a ser maior do que as medições, visto que a média de chuva nas referidas datas foi inferior ao padrão climático anual.

Gráfico 3 - Correlação entre pluviometria (acumulado de 7 dias) e produção diária de sedimentos



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Dada a representatividade fluvial e espacial das três estações no contexto da bacia hidrográfica, tem-se que a produção de sedimentos na BHRSL é de, no mínimo, 1,36 milhões de toneladas (média simples) ou 1,64 milhões de toneladas (média por proporcionalidade pluviométrica) por ano.

Comparativamente, este resultado foi semelhante aos valores calculados por Oka-Fiori et al. (2004) na bacia hidrográfica do rio Itiquira, imediatamente a sul da BHRSL, com 1,66 milhões de t/ano de perda de solo quantificada. Na BHRSL, a ANA (2018) atribui até 4,2 milhões de t/ano de produção de sedimentos. No Pantanal, em sua totalidade, Carvalho et al. (2005) estimaram 17,4 milhões de t/ano e Assine et al. (2015) apresentaram o valor de 25 milhões de t/ano.

A integração dos dados de descarga sólida em suspensão com a recorrência pluviométrica e as características morfométricas dos rios compõe uma abordagem sistêmica sobre a produção de sedimentos numa perspectiva têmporo-espacial. A quantificação dos processos é importante para as avaliações sobre o balanço sedimentológico e os pulsos de descarga fluvial, visto que o Pantanal retém a maior parte do material remobilizado.

A sazonalidade e as variações dos fluxos hidrogeomorfológicos apresentados subsidiam as interpretações sobre a dinâmica das avulsões fluviais e dos processos de acreção lateral associados à migração dos canais.

Com base nos resultados apresentados, enfatiza-se a sensibilidade das margens dos rios à dinâmica erosiva e, portanto, a necessidade de preservá-las. Todavia, para dimensionar a temática na esfera política, cita-se o retrocesso recente sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) de margens de rios. A Lei Federal 14.285/2021 alterou o regramento e determinou que a extensão de áreas não edificáveis será estabelecida a partir de estudos diagnósticos ambientais próprios, elaborados pelos municípios. Assim, as faixas de

preservação de margens dos rios, outrora fixas para todo o território nacional pela Lei Federal n. 12.651/2012, passaram a ser variáveis e com autonomia aos poderes municipais.

CONCLUSÃO

São destacadas, adiante, as principais conclusões da pesquisa:

- Os atributos geomorfológicos que quantificam o sistema fluvial subsidiam integrações com modelos dinâmicos a partir de prognósticos pluviométricos. Tem-se, dessa maneira, a possibilidade de modelar cenários multiescalares e multitemporais;
- A geomorfologia da BHRSL denota a setorização das áreas com predomínio de processos degradacionais (nas chapadas e rebordos erosivos dos planaltos), de transporte (planaltos dissecados e superfícies rebaixadas) e agradacionais (planícies de inundação e o megaleque fluvial do rio São Lourenço).
- Os segmentos fluviais de maior potencial erosivo (áreas fontes da produção de sedimentos) estão alocados nos canais de primeira e segunda ordem a montante da bacia, no *front* de dissecação do planalto sedimentar e nos vales encaixados em lineamentos estruturais;
- Os atributos geomorfológicos calculados provêm a caracterização longitudinal e transversal da suscetibilidade morfodinâmica à produção de sedimentos nos rios, cujas interpretações são dependentes da vinculação ao uso e cobertura da terra;
- A probabilidade de recorrência de chuvas intensas, que incrementam a erosividade, foi maior na porção sudeste da BHRSL, contemplando sobremaneira a sub-bacia do rio Jurigão (municípios de Pedra Preta e Itiquira);
- Dada a sazonalidade das precipitações pluviométricas e o breve tempo de retorno calculado para as chuvas intensas em toda a BHRSL, considera-se que os meses de transição do período seco para o úmido (outubro a dezembro) demandam maior atenção à erosividade deflagrada por eventos isolados.
- A correlação entre pluviometria e produção de sedimentos aumenta proporcionalmente ao intervalo de tempo considerado no acumulado de chuva. Isso evidencia a interação e os processos da água no sistema da bacia hidrográfica, até que o material seja transportado ao leito vazante. Sugerem-se avaliações com volumes pluviométricos entre uma semana e um mês para fins de comparação;
- O estudo demonstrou, quantitativamente, a influência da área urbana na aceleração do transporte de sedimentos aos rios;
- O uso de Modelos Digitais do Terreno (MDT), que desconsideram os objetos presentes na superfície, desponta como perspectiva para refinar a caracterização geomorfológica. Os MDE globais implicam em generalizações e ruídos, sobretudo em feições fluviais que dependem da representação adequada da conectividade;
- Diante da exposição dos biomas do Pantanal e do Cerrado à ineficácia do ordenamento territorial, este estudo salienta a necessidade de integração de variáveis ambientais no âmbito de problemáticas atuais, tais como: o processo histórico de ocupação do Centro-Oeste brasileiro; os retrocessos em legislações ambientais; a demanda e os impactos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs); alterações no regime de vazão por captação hídrica pelo agronegócio; importância do fortalecimento dos comitês de bacias hidrográficas; mudanças climáticas e eventos extremos; geotecnologias aplicadas à gestão, modelagem e monitoramento hidrometeorológico e fluvial.



AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondonópolis e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão da bolsa de iniciação Científica (Chamada nº 01/PROPGP/2023/PIBIC–UFR / FAPEMAT).

REFERÊNCIAS

ALKMIN, F. F. **Geological Background: A Tectonic Panorama of Brazil**. World Geomorphological Landscapes. 1ed. London: Springer Netherlands, p. 9-18, 2015. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_2

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai – PRH Paraguai**: Resumo Executivo. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA. 180p, 2018.

ASSINE, M. L.; CORRADINI, F. B.; PUPIM, F. N.; MCGLUE, M. M. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. **Sedimentary Geology**, v. 301, p. 172-184, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.11.007>

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

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

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

BALDERRAMA, V. P. **Modelagem da Vazão e Transporte de Sedimentos Suspensos na Bacia Hidrográfica do Rio São Lourenço/MT**. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Mato Grosso (Cuiabá). 2019.

BOEHNER, J.; KOETHE, R.; CONRAD, O.; GROSS, J.; RINGELER, A.; SELIGE, T. **Soil regionalization by means of the terrain analysis and process parametrisation**. In: Micheli, E.; Nachtergaele, F.; Montanarella, L. Soil Classification 2001. European Soil Bureau, Research Report nº.7, EUR 20398 EN, Luxemburgo, p. 213-222, 2002.

BOTELHO, R. G. M.; SILVEIRA, R. M. P. **Excursões técnicas: Adentrando a Planície do Pantanal**. Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR). Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

CARVALHO, N. O.; IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RONDON, M. A. C.; BARBEDO, A. G. A.; CYBIS, L. F. A. **Distribution and sediment yield in the upper basin of the Paraguay River and in the Pantanal Matogrossense, Brazil**. Sediment Budgets 2. In: Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly. Foz do Iguaçu, p. 245-252, 2005.



COLLISCHON, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

CORRADINI, F. A.; ASSINE, M. L. Compartimentação geomorfológica e processos deposicionais no megaleque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal mato-grossense. **Brazilian Journal of Geology**, v. 42, p. 20-33, 2012.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Copernicus Digital Elevation Model (DEM)**. Versão 2023_1. [S. l.]: ESA, 2023. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>

FELIX, E. A.; SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. Bacia hidrográfica do rio Bugres: características ambientais e morfológicas, morfométricas e a dinâmica fluvial. **Revista Equador**, v. 9, n. 2, p. 215-234, 2020. <https://doi.org/10.26694/equador.v9i2.9382>

FERREIRA, M. R.; AQUINO, L. B. C. O transporte de sedimentos nas encostas e a dinâmica hidrológica do Alto Taquari. **Revista Pantaneira**, v. 9, p. 7-13, 2007.

FICK, S.E; HIJMANS R. J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 37 (12): 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

GARCÍA, J. H.; OLLERO, A.; IBISATE, A.; FULLER, I. C.; DEATH, R. G.; PIÉGAY, H. Promoting fluvial geomorphology to “live with rivers” in the Anthropocene Era. **Geomorphology**, v. 380, 107649, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107649>

HAMIDIFAR, H.; NONES, M.; ROWINSKI, P. M. Flood modeling and fluvial dynamics: A scoping review on the role of sediment transport. **Earth-Science Reviews**, v. 253, 104775, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104775>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Clima – 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria de Geociências, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas**. Rio de Janeiro: IBGE - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019.

KUERTEN, S.; ASSINE, M. L. O rio Paraguai no megaleque do Nabileque, sudoeste do Pantanal Mato-Grossense, MS. **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, p. 642-653, 2011. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2011414642653>

KUERTEN, S.; STEVAUX, J. C. Megaleques das bacias sedimentares do Chaco e Pantanal: uma revisão comparada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, p. 532-558, 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1886>

LACERDA FILHO, J. V.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C. R.; OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. Esc.: 1:1.000.000. Goiânia: CPRM, 2004.



SILVEIRA, R. M. P.; PASSAMANI, H. R.; BRANCO, R. M. A.
A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NO PANTANAL DE MATO GROSSO SOB A
PERSPECTIVA GEOMORFOMÉTRICA E PLUVIOMÉTRICA: ESTUDO DE CASO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO

MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, 52:16-32, 1970.

MARÇAL, M. S.; CASTRO, A. O. C.; LIMA, R. N. **Geomorfologia Fluvial e Gestão dos Rios no Brasil**. In: CARVALHO, O. A. J.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira. 1. Ed. Brasília: Selo Caliantra, p. 124-142, 2022.

MERINO, E. R. ASSINE, M. L. PUPIM, F. N. Estilos fluviais e evidências de mudanças ambientais na planície do rio Miranda, Pantanal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p.127-134, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i2.246>

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANCA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MINÁR, J.; DRĂGUȚ, L.; EVANS, I. S.; FECISKANIN, R.; GALLAY, M.; JENČO, M.; POPOV, A. Physical geomorphometry for elementary land surface segmentation and digital geomorphological mapping. **Earth-Science Reviews**, v. 248, 104631, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104631>

MONTANHER, O. C. Levantamento de dados e análise de mudanças em sistemas fluviais por meio de geoprocessamento e sensoriamento remoto: proposta metodológica de estudo de caso. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 70, p. 136-157, 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG207042420>

MORAIS, E. S. MONTANHER, O. C. **Ajustamento Fluvial à Agropecuária, Urbanização e Reservatório e Análise Cientométrica do Impacto Dessas Atividades nos Rios Brasileiros**. In: Carvalho, O. A. J.; Gomes, M. C. V.; Guimarães, R. F.; Gomes, R. A. T. Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira. 1. Ed. Brasília: Selo Caliantra. p. 176-211, 2022.

MOREIRA, J. C.; PARES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A.; DORES, E. C.; VIEIRA, S. N.; STRUSSMANN, C.; MOTT, T. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 2, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600019>

OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. Tolerância de perdas de solo na bacia do rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, n 54, p. 83-99, 2004.

PINHEIRO, C. K.; SILVEIRA, R. M. P.; FARIA, G. G. Caracterização a análise da recorrência de desastres hidrometeorológicos e geomorfológicos no litoral do Paraná. **Caminhos de Geografia**, v. 24, p. 155-171, 2023. <http://dx.doi.org/10.14393/RCG249668638>

RABANAQUE, M. P.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, V.; CALLE, M.; CASTILLO, O.; BENITO, G. Spatio-temporal analysis of geomorphic recovery along an altered ephemeral stream using automated image processing. **Geomorphology**, v. 450, 109069, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109069>

RIQUELME, R.; DARROZES, J.; MAIRE, E.; HÉRAIL, G.; SOULA, J. C. Long-term denudation rates from the Central Andes (Chile) estimated from a Digital Elevation Model





SILVEIRA, R. M. P.; PASSAMANI, H. R.; BRANCO, R. M. A.
A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NO PANTANAL DE MATO GROSSO SOB A
PERSPECTIVA GEOMORFOMÉTRICA E PLUVIOMÉTRICA: ESTUDO DE CASO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO

using the Black Top Hat function and Inverse Distance Weighting: implications for the Neogene climate of the Atacama Desert. **Revista Geológica de Chile**, n. 35 (1), p. 105-121, 2008.

RODRIGUEZ, F.; MAIRE, E.; COURJAULT-RAD'E, P.; DARROZES, J. The Black Top Hat function applied to a DEM: a tool to estimate recent incision in a mountainous watershed. (Estibère Watershed, Central Pyrenees). **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 6, 2002. <https://doi.org/10.1029/2001GL014412>

ROSS, J. L. S. Chapada dos Guimarães: Borda da Bacia do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 28, p. 180, 2014. <https://doi.org/10.11606/rdg.v28i0.525>

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000200001>

SCHIAVO, J. A. DIAS NETO, A. H. PEREIRA, M. G. ROSSET, J. S. SECRETTI, M. L. PESSENDA, L. C. R. Characterization and classification of soils in the Taquari river basin- Pantanal region, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 697-708, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300002>

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, 67, p. 597-646, 1956. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)

SHADKANI, S.; HEMMATZADEH, Y.; PAK, A.; ABOLFATHI, S. Prediction of suspended sediment concentration in fluvial flows using novel hybrid deep learning model. **International Journal of Sediment Research**, v. 40, n. 4, p. 573-587, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2025.02.004>

SILVEIRA, R. M. P.; SILVA, A. N. Geomorphological mapping of the state of Mato Grosso: taxonomic hierarchy and geomorphometric parameters. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 27, p. e2693, 2026. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v27i2.2693>

SILVEIRA, R. M. P.; NOWATZKI, A.; SILVEIRA, M. A. T. Suscetibilidade a movimentos de massa e inundações com ênfase no planejamento do turismo no município de Morretes (Paraná, Brasil). **Confins (Paris)**, v. 66, 2025. <https://doi.org/10.4000/13lva>

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Análise temática e conceitual de mapas geomorfológicos: a transcrição gráfica da complexidade do relevo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, p. 574-597, 2021. <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-54437>

STEVANUX, J. C.; MACEDO, H. A.; ASSINE, M. L.; SILVA, A. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 350, 106906, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>

THEODOROVICZ, A. M. G.; Theodorovicz, A. **Geodiversidade do Estado de Mato Grosso do Sul**. São Paulo: CPRM, 2010.





SILVEIRA, R. M. P; PASSAMANI, H. R; BRANCO, R. M. A.
A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NO PANTANAL DE MATO GROSSO SOB A
PERSPECTIVA GEOMORFOMÉTRICA E PLUVIOMÉTRICA: ESTUDO DE CASO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO LOURENÇO

XIONG, L.; LI, S.; TANG, G.; STROBL, J. Geomorphometry and terrain analysis: data, methods, platforms and applications. **Earth-Science Reviews**, v.233, 104191, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191>

