



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Susceptibilidade à Erosão Marginal no Perímetro Urbano de Cáceres-MT

Alfredo Zenen Dominguez Gonzalez¹; José Lourenço Alves da Silva²; Wiliam Cosme da Silveira de Paula³; Célia Alves de Sousa⁴

¹Professor Adjunto do Curso de Geografia e docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso, Av. São João s/n, Cavalhada, Cáceres-MT, CEP 78216-592. (65) 3221-0512. afredo2dg@unemat.br. ²Professor da rede estadual de ensino do Estado de Mato Grosso. Egresso do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso. Rua dos Canários 228, bairro Cidade Alta, Cáceres-MT. CEP: 78210-480. jose.geo.alves@hotmail.com. ³Professor da rede estadual de ensino do Estado de Mato Grosso. Egresso do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso. Rua dos Guararapes 1032, bairro Santos Dumont, Cáceres-MT. CEP: 78211-344. willmt15@gmail.com. ⁴Professora Adjunta do Curso de Geografia e docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso, Av. São João s/n, Cavalhada, Cáceres-MT, CEP 78216-592. (65) 3221-0512. celialves@unemat.br

Artigo recebido em 23/11/2021 e aceito em 24/01/2022

RESUMO

Tendo em vista os efeitos que provoca a erosão das margens fluviais sobre diversas atividades socioeconômicas, o presente trabalho objetivou conhecer a susceptibilidade à erosão na margem esquerda do rio Paraguai e seus canais secundários, no trecho compreendido dentro do perímetro urbano da cidade de Cáceres-MT. Como procedimentos metodológicos adotaram-se: pesquisa bibliográfica e documental sobre o tema; trabalhos de campo para identificar os pontos críticos de erosão marginal e mensurar as principais variáveis físicas e hidrodinâmicas que influenciam na sua susceptibilidade; e trabalhos de laboratório para quantificar os teores de agregados e de matéria orgânica, bem como a granulometria dos sedimentos na seção inferior dos barrancos. Os resultados obtidos permitiram corroborar que 78,6% desses pontos apresentam susceptibilidade alta a muito alta, o que se relaciona tanto com o comportamento geotécnico dos materiais constituintes dos barrancos, que determina a sua escassa resistência (sedimentos soltos ou pouco consolidados; alta declividade, baixo teor de agregados; granulometria dos sedimentos na base e baixo teor de matéria orgânica), como com as características hidrodinâmicas do canal em cada ponto (tipo de fluxo e velocidade da corrente), e à crescente ocupação antrópica das margens, com medidas de proteção ineficazes ou ausentes. Conclui-se que é necessário, além de inserir a problemática no planejamento urbano da cidade, implementar ações orientadas à recuperação da degradação ambiental nos trechos com pontos críticos de erosão marginal e criar um programa de monitoramento das intervenções antrópicas nas margens fluviais do perímetro urbano.

Palavras-chave: Margem fluvial. Antropização. Resistência. Avaliação.

Susceptibility to Marginal Erosion in the Urban Perimeter of Cáceres-MT

ABSTRACT

Considering the effects that the erosion of the river banks causes on several socioeconomic activities this investigation aimed to know the susceptibility to erosion on the left bank of the Paraguay River and its secondary channels, in the stretch within the urban perimeter of the city of Cáceres, located in the state of Mato Grosso. The following methodological procedures were used: after bibliographical and documentary research on the subject, the field works made it possible to identify the critical points of marginal erosion and measure the main physical and hydrodynamic variables that influence their susceptibility. Finally, laboratory analyzes allowed to quantify the contents of aggregates and organic matter, as well as the granulometry of the sediments in the lower section of the ravines. The results obtained confirmed that 78.6% of these points show high or very high susceptibility due to the geotechnical behavior of the materials that make up the ravines, which determines their low resistance (loose or poorly consolidated sediments; high slope, low aggregate content; granulometry of the sediments at the base and low organic matter content). Also influence on the susceptibility the hydrodynamic characteristics of the channel at each point (type of flow and current speed), and the increasing anthropic occupation of the margins, with ineffective or absent protection measures. The main conclusions derived are the following: the need to insert the problem in the urban planning of the city; implement actions aimed at recovering environmental degradation in stretches with critical points of marginal erosion and create a program for monitoring anthropic interventions on the river margins of the urban perimeter.

Keywords: River bank. Anthropization. Resistance. Assessment.

Introdução

Autores como Simons (1982, citado por Holanda et al., 2009) e Araújo Filho (2012) afirmam que os processos erosivos advêm do desequilíbrio gerado quando as forças que atuam sobre o material erodível são superiores a aquelas que tendem a conservá-lo no local. Dessa forma, as atividades antrópicas provocam mudanças no uso do solo que contribuem para acelerar a erosão marginal, definida como o recuo gradual das margens devido à remoção dos materiais constituintes dos barrancos pela corrente hídrica, as ondas, ou forças externas (Fernandez 1990, citado por Casado et. al. 2002).

A erosão marginal constitui uma grave manifestação de degradação ambiental que prejudica atividades como a navegação e a pesca (Holanda et al., 2005). O elevado risco associado à erosão acelerada e ao solapamento das margens tem sido identificado em estudos brasileiros como os de Holanda, Rocha e Oliveira (2008) e Facuri (2016). No exterior, pesquisas como as de Pinto et al. (2013), Mondal e Tripathy (2020), Rahman e Gain (2020); Dekaraja e Mahanta (2021); Ali et al. (2021) e Hossain et. al. (2021) também abordam esse problema.

Segundo autores como Ortega (2004) e Cavalcante e Andrade (2016) o tipo e a magnitude da erosão marginal dependem de condições ambientais específicas de cada trecho de um rio, como: características dos sedimentos na margem, vegetação, condições climáticas regionais, regime hidrológico, e características do leito.

Sobre este tema, trabalhos como os de Fontes (2003), Bandeira (2005), Pollen e Simon (2006) e Silva, Souza Filho e Neves (2011) fazem ênfase nas condições do fluxo no canal associadas às oscilações do nível do rio e o tempo de permanência da cheia (para Ortega, 2004, entre 90 e 99% dos processos erosivos nas margens está associado à cheias notáveis); bem como nas características dos materiais que formam a margem (estratificação, diâmetro e grau de coesão das partículas) porque determinam a erodibilidade do solo, e também na vegetação existente na margem (devido ao efeito das raízes na resistência à erosão).

Com base nessa realidade, Rinaldi e Darby (2008, citados por Pinto, 2017) identificaram três processos de erosão principais: o desgaste/enfraquecimento do solo; a erosão fluvial; e a insuficiente conexão entre as partículas do solo da margem. Assim, a estabilidade dos agregados influi na resistência do solo à

desagregação, que é menor quando predominam os macroagregados (agregados grandes e estáveis onde existem grandes poros através dos quais a água e o ar podem circular livremente e as raízes penetrar com facilidade) sobre os microagregados, próprios de solos adensados ou compactados com poucos macroporos, o que dificulta a movimentação da água e do ar, bem como a penetração das raízes (Nunes, 2018).

Também a granulometria tem importante influência, sendo que em solos arenosos essa resistência depende de fatores como: atrito entre as partículas, nível de compactação e diâmetro dos grãos (Xia et al., 2008). Contrariamente, nos solos argilosos a resistência ao cisalhamento depende, além do atrito, da sua estrutura e coesão (quanto maior o teor de argila nas camadas subsuperficiais, maior será a coesão).

Dessa forma, em margens compostas por materiais com diferentes tamanhos e graus de permeabilidade e coesão, as camadas coesivas protegem às não coesivas (porém, quando estas últimas estão na base do barranco são erodidas e estimulam os deslizamentos desde a parte alta); também as camadas não coesivas ajudam na drenagem das restantes (mesmo que a filtração interna nelas desestabiliza a margem).

Daí que a estabilização de margens fluviais seja um tema relevante (especialmente para aquelas cidades construídas à beira de um rio, como é o caso de Cáceres-MT), pois ela permite, além de protegê-las, manter a necessária estabilidade do canal fluvial para sustentar atividades como o abastecimento público de água e a navegação. Para melhorar esta última função será preciso, segundo o relatório do Plano Hidroviário Estratégico (Ministério dos Transportes, 2013) executar ações de intervenção na Hidrovia Paraguai-Paraná como: retificação do leito, dragagem, e regularização do rio no trecho entre Corumbá (MS) e Cáceres (MT).

No Brasil, a metodologia para mensurar a erosão das margens foi introduzida por Fernandez (1990), existindo experiências com o uso de métodos diretos (como o monitoramento com pinos ou com estacas) e indiretos (quando se utilizam dados cartográficos ou de sensoriamento remoto). No caso das pesquisas sobre erosão marginal do rio Paraguai na região do Pantanal de Cáceres têm se utilizado tanto o método de pinos (como no estudo de Silva, Souza Filho e Cunha (2008) quanto o de estacas (por exemplo, na pesquisa de Silva et al., 2007).

Porém, para Souza (2004) são necessárias outras abordagens neste tema, como os estudos de Silva, Souza Filho e Neves (2011) utilizando a comparação de imagens orbitais de diferentes datas com essa finalidade, e o de Silva e Souza (2012) utilizando um protocolo de avaliação rápida. Uma abordagem diferente das anteriores foi utilizada no presente trabalho, que objetivou conhecer a susceptibilidade à erosão da margem esquerda do rio Paraguai e seus canais secundários no trecho compreendido dentro do perímetro urbano da cidade de Cáceres-MT, partindo da seguinte hipótese: a avaliação das variáveis que intervêm na erosão marginal permitirá elucidar quais delas têm maior incidência em cada ponto crítico selecionado. Tendo em vista que essa susceptibilidade representa um perigo, ou seja, probabilidade de gerar danos à vida humana e prejuízos às atividades socioeconômicas, ao extremo de

provocar desastre em determinada área (segundo o Escritório do Coordenador de Assistência a Desastres das Nações Unidas - UNDRO, 1979, e autores como Rydzewski, Moya e Lanfranco, 2016), os resultados da pesquisa poderão contribuir na elaboração de estratégias de mitigação de desastres naturais em Cáceres.

Área de estudo

O rio Paraguai tem as suas nascentes no Planalto dos Parecis, sendo a sua extensão total, segundo Silva, Souza Filho e Neves (2011) de 2.612 km (1.693 deles em território brasileiro) e a área da sua bacia de 1.095.000 km². A área de estudo corresponde à margem esquerda do rio Paraguai no setor correspondente ao perímetro urbano da cidade de Cáceres, cuja extensão é, segundo Leandro, Andrade e Bindani (2013) de 13 Km (Figura 1).

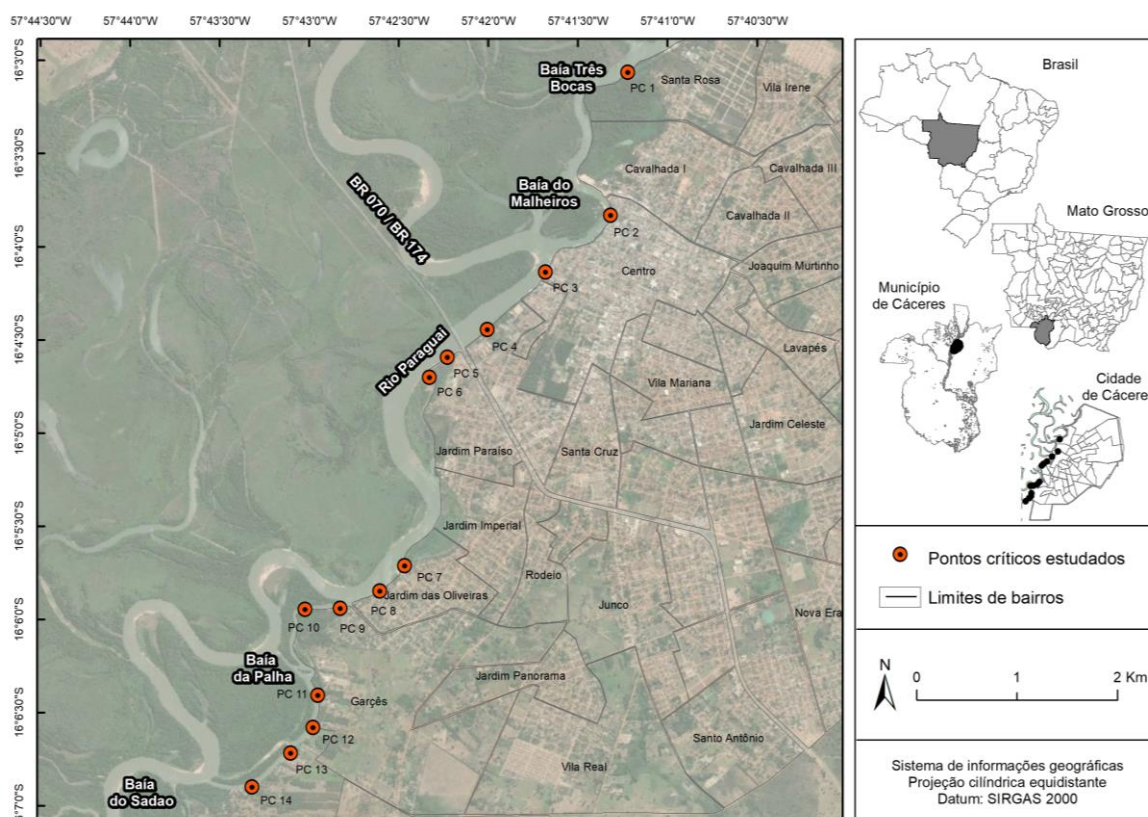


Figura 1: Localização do rio Paraguai e seus canais secundários com espacialização dos pontos críticos de erosão marginal estudados dentro do perímetro urbano da cidade de Cáceres-MT. Fonte: Autores.

Neste setor, o rio Paraguai e seus diversos canais secundários percorrem a planície de inundação com um padrão meandrante, apresentando três classes de margens fluviais: estáveis, em acreção e erosivas (estas últimas, presentes tanto no canal principal como nos canais

secundários, foram o objeto do presente estudo). Essas margens erosivas são de dois tipos: rampeadas e íngremes. Tanto a seção superior do barranco nas margens rampeadas como a totalidade dele nas íngremes estão constituídas por camadas interestratificadas de areia com diferente

granulometria e areia conglomerática, intercaladas por lentes areno-argilosos ou argilo-arenosos (Buhler e Souza, 2012).

Trata-se de aluviões atuais não consolidados (Araujo, 2019), depositados durante períodos de cheia, quando as águas transbordam e os sedimentos se depositam nas planícies marginais, cuja topografia é relativamente plana (Souza, Vendramini e Souza, 2012). Essa faixa marginal de aluviões faz contato, ao leste, com os sedimentos quaternários da Formação Pantanal, constituída por depósitos aluviais arenosos, siltico-argilosos e argilosos não consolidados ou pouco consolidados (Rosistolato Filho, 2006).

O ciclo das cheias facilitou a formação de depósitos arenosos de dique marginal no topo dos barrancos, ou seja, na borda do primeiro nível de terraços. Cabe salientar que a cidade foi construída sobre níveis de terraços escalonados (com declive suave na direção da planície de inundação, indicando ciclos de incisão do canal fluvial que deram origem aos terraços atuais, os quais são atravessados pelos córregos urbanos).

Como demonstrado por diversos autores (Maitelli, 2005; Rosistolato Filho, 2006; Neves, Nunes e Neves, 2011; Pizzato et al., 2012; Dallacort et al., 2014 e Sanches et al., 2020) o clima de Cáceres é Tropical com estação seca (Aw) e sazonalidade marcante. Essa sazonalidade foi constatada no estudo realizado por Dallacort et al. (2014) para um período de 30 anos (1979 a 2009), no qual verificaram que o período chuvoso abrange a primavera/verão (outubro a abril) e o seco entre os meses de maio e setembro (sendo junho, julho e agosto os mais secos); a precipitação registrou uma média de 1.265,2 mm com os maiores volumes médios concentrados nos meses de dezembro (205,54 mm) e janeiro (243,58 mm). Em relação à temperatura máxima média, o estudo constatou um pequeno aumento (de 32,3°C para 32,8°C) com máximas entre janeiro e março e mínimas entre junho e setembro.

Por causa dessas condições climáticas, o ciclo hidrológico anual do rio Paraguai apresenta as fases de Enchimento (Outubro a Janeiro); Cheia (Fevereiro a Abril); Vazante (Maio a Julho); e Esvaziamento (Agosto a Setembro) (Leandro, Nascimento e Souza, 2017).

Mesmo que a erosão na base dos barrancos aconteça o ano todo, a superfície exposta é máxima entre os meses de fevereiro e abril e na falta de um programa de proteção de margens, as obras de proteção anti-erosiva têm sido implementadas por pessoas e empresas particulares e não são objeto de monitoramento e

manutenção. Para Pinto et al. (2013, p. 9) tais trabalhos seriam “...essenciais para garantir o bom desempenho das estruturas de proteção, ao longo da vida útil das mesmas”.

Nas margens do trecho estudado, os solos têm sido formados em sedimentos aluviais recentes predominando, na área urbana, o Neossolo flúvico (solo jovem e pouco desenvolvido, com granulometria essencialmente arenosa) e na área de expansão urbana o Gleissolo Háplico Ta Eutrófico, um solo hidromórfico mal drenado com textura essencialmente arenosa ou argilo-arenosa ao longo do perfil (IBGE, 2015). Sobre estes solos desenvolve-se uma mata ciliar constituída pela Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas (Borges, Silveira e Vendramin, 2014), uma formação de vegetação fortemente afetada pela expansão da urbanização na cidade de Cáceres.

Procedimentos metodológicos

Para atingir o objetivo proposto na pesquisa foram desenvolvidos trabalhos de gabinete, de campo e de laboratório. Inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico e documental para identificar o quadro teórico-conceitual e metodológico de referência para a pesquisa e conhecer os principais fatores naturais e antrópicos que influenciam no problema pesquisado. Também foram obtidos dados históricos do período 1966-2019 sobre a variação do nível do rio Paraguai, registrados pela agência da Marinha do Brasil em Cáceres.

A seguir, os trabalhos de campo realizados na área de estudo entre setembro/2017 e setembro/2019 permitiram inicialmente identificar os pontos críticos de erosão marginal no trecho estudado e determinar as suas coordenadas utilizando aparelho GPS. Os critérios definidos para a sua seleção foram: manifestação de intensa erosão marginal neles (manifestada no solapamento basal, os desmoronamentos, a queda ou inclinação de árvores e raízes expostas), e evidências de ocupação antrópica da margem.

As observações *in loco* e mensurações (tanto em campo como em laboratório) permitiram determinar as características dos atributos das diferentes variáveis que se julgaram influentes sobre a susceptibilidade à erosão em virtude da sua resistência (forças resistentes ou estabilizantes) diante da ação das forças atuantes ou desestabilizadoras. As variáveis consideradas como forças resistentes foram as seguintes: litologia da base do barranco; geometria da margem; declividade do talude; altura do

barranco; teor de agregados; teor de matéria orgânica; e granulometria dos sedimentos.

Para a coleta de amostras considerou-se como base do barranco à seção do mesmo que é atingida pela corrente quando o nível do rio está entre 1,0 e 1,5 m de acordo com a régua fluviométrica. Em 97,1% dos dias compreendidos no período 1966-2019 o rio manteve um nível igual ou superior a 1,0 m, fazendo com que essa seção ficasse por mais tempo submetida à ação erosiva (advinda tanto do fluxo de água como das ondas geradas pela navegação fluvial) que gera o solapamento basal, o qual influencia, também, no colapso das camadas suprajacentes que ficam sem sustentação e desmoronam, como apontaram Thorne e Tovey (1981); ou seja, um fenômeno semelhante às Terras Caídas analisadas por Carvalho (2006).

Nas amostras coletadas foram determinados, em laboratório, os teores de agregados e de matéria orgânica, bem como a granulometria dos sedimentos, tendo em vista a sua importância para o monitoramento e controle da erosão marginal (Santos et al., 2013; Sousa et al., 2017).

No caso do teor de agregados, as amostras coletadas em cada ponto foram colocadas em recipientes de 13x17 cm para identificar a percentagem de agregados via úmida, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (1997) por tamisação em peneiras de 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,106 mm de abertura de malha. A seguir foi considerada a relação entre macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm) e microagregados nas percentagens obtidas.

Considerando a influência da matéria orgânica na estabilidade dos agregados (Guerra, 1990; Hanke et al., 2013), foram identificados os seus teores por calcinação: frações do mesmo material dos agregados coletados foram colocadas em cadinhos, secadas a 105°C por duas horas e submetidas posteriormente à repouso em estufa; a seguir foram levadas à mufla e aquecidas por cinco horas a uma temperatura de 500°C. Após serem esfriadas, as amostras foram pesadas, sendo que a diferença entre o peso inicial e o final corresponde ao teor de matéria orgânica, segundo Davies (1974). Na determinação da quantidade de areia, silte e argila utilizou-se a metodologia de pipeta (EMBRAPA, 1997) e para as frações grosseiras (areia grossa, média e fina), o método de peneiramento (Carvalho, 2008).

Como forças atuantes foram consideradas tanto variáveis hidrodinâmicas (tipo de fluxo e

velocidade da corrente hídrica) como antrópicas (ocupação/uso, e implementação de medidas antrópicas de proteção anti-erosiva no trecho onde se localiza cada ponto crítico). No caso da velocidade da corrente, ela foi mensurada em cada ponto usando molinete fluviométrico MLN-7.

A análise da susceptibilidade foi realizada utilizando um protocolo de avaliação elaborado com base na Ferramenta de Avaliação Física dos Sistemas Fluviais-AusRivas (Parsons, Thoms e Norris, 2002), e nas abordagens propostas por Monteiro (2014) e Pinto (2017). Para cada atributo das variáveis analisadas foi atribuído um peso, atendendo ao seu grau de influência na susceptibilidade à erosão marginal no ponto em análise (Quadro 1).

Finalmente foi estimada a susceptibilidade à erosão de margens com base no conceito de Fator de Segurança (Ortigão e Sayão, 2004, citados por Fernandes, 2012), o qual é utilizado na análise da estabilidade de taludes nas obras de engenharia (Silva, 2014). Neste caso a equação, adaptada, é a seguinte:

$$S = (\sum Fr) / (\sum Fa) \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo que: S é a susceptibilidade, Fr as forças resistentes e Fa as forças atuantes.

Em cada ponto crítico, a somatória de pesos das variáveis que atuam como forças resistentes foi dividida entre a somatória dos pesos das variáveis hidrodinâmicas e antrópicas (forças atuantes). A seguir, os valores obtidos foram agrupados em intervalos proporcionais de classes de susceptibilidade: < 0,5 (Muito Baixa); 0,5-1,0 (Baixa); 1,0-1,5 (Média); 1,5-2,0 (Alta) e > 2,0 (Muito Alta).

Tendo em vista que a exposição dos barrancos à erosão é máxima durante as enchentes, foi estimada a probabilidade de ocorrência ("p") de cheias acima de 4 m. no rio Paraguai; para isso foram agrupados os valores diários do nível do rio (período 1966-2019) nos grupos: < 1,00 m; 1,01-2,00 m; 2,01-3,00 m; 3,01-4,00 m e > 4,00 m, sendo selecionados aqueles valores superiores a 4.0 m (com base no critério de que a partir desse nível, quase a totalidade do barranco fica exposta ao fluxo da corrente).

A seguir foi calculada "p" para o período supracitado (54 anos), com base no procedimento sugerido pela Organização Meteorológica Mundial-OMM (1990).

Cabe destacar que a probabilidade de ocorrência é igual à frequência (número de vezes que um evento de determinada magnitude é igualado ou superado em certo intervalo de tempo, de acordo com Santos, 2007), desde que o número de observações seja grande, como é o caso do presente estudo.

Também foi estimado o período de retorno “T” dessas cheias (intervalo médio de tempo entre sucessivas recorrências de cheias acima de 4 m. no período de 1966 a 2019 com base no procedimento da OMM (1990).

Quadro 1: Variáveis e atributos considerados na avaliação da susceptibilidade à erosão marginal em Cáceres-MT, com os pesos atribuídos em cada caso

Forças resistentes	Grau de influência				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	Pesos				
	1	2	3	4	5
1-Litologia da camada basal	Rochas compactas	Argila maciça	Sedimentos medianamente consolidados	Sedimentos pouco consolidados	Sedimentos soltos.
2-Geometria da margem	Reta	-	Levemente côncava	-	Fortemente côncava
3-Declividade da margem (graus)	<10	10 a 25	25 a 50	50 a 75	>75
4-Altura do barranco (m)	≤ 2,0	> 2,0 e ≤ 4,0	> 4,0 e ≤ 6,0;	> 6,0 e ≤ 8,0	> 8,0
5-Teor de agregados em % (relação MA/MI)	> 80	> 60 e ≤ 80	> 40 e ≤ 60	≥ 20 e ≤ 40	< 20
6-Teor de matéria orgânica (%)	>6,5	>5,0 a ≤ 6,5	> 3,5 a ≤ 5,0	≥ 2,0 a ≤ 3,5	<2,0
7-Granulometria (conteúdo de areia, em %)	< 20	≥ 20 e ≤ 40	> 40 e ≤ 60	> 60 e ≤ 80	>80
Forças atuantes					
1-Tipo de fluxo	Laminar	-	Intermediário	-	Turbulento
2-Velocidade da corrente	<0,2	0,2 a 0,4	0,4 a 0,6	0,6 a 0,8	>0,8
3-Ocupação/uso	Ausência de ocupação	Vegetação nativa pouco degradada	Pastagem, jardim, gramado	Urbanização dispersa	Urbanização concentrada
4-Medidas de proteção anti-erosiva no trecho	Estruturas planejadas	Enrocamentos	Muro com cobertura total do barranco	Muro com cobertura parcial	Ausentes

Legenda: MA-Macroagregados; MI-Microagregados. Fonte: Autores.

Resultados e discussão

Fatores que influenciam os processos erosivos nas margens estudadas. Uma forte influência sobre a erosão marginal nos trechos onde foram identificados pontos críticos.

No caso da litologia, pelo fato de as margens estarem constituídas por camadas de sedimentos recentes (não consolidados ou com baixo grau de consolidação), bem como pela composição das camadas da base dos barrancos,

que apresentam geralmente baixos teores de matéria orgânica e agregados, e elevada percentagem de areia (especialmente fina e média, friável a muito friável, solta ou pouco cimentada) em relação à argila e ao silte, fato que oferece menor coesão, especialmente na época da seca, quando o rebaixamento do lençol freático diminui a umidade nas camadas suprajacentes, reduzindo sua estabilidade.

Salienta-se que o lençol freático em Cáceres varia muito sazonalmente - conforme apontado por Rosestolato Filho (2006) - fazendo com que o fluxo hidráulico da margem para o rio estimule o solapamento basal, ao desequilibrar a camada arenosa da base dos taludes.

O fator geomorfológico também é significativo, envolvendo aspectos como: geometria e sinuosidade do canal; morfologia da seção transversal (especialmente quando a linha do talvegue, com fluxo de água turbulento, está perto de margens côncavas com ataque direto da corrente na base dos barrancos).

Cabe salientar que a velocidade média de fluxo é fundamental na erosão marginal (Corrêa e Souza Filho, 2009) especialmente em margens côncavas, pois quanto maior ela for, maior será o tamanho das partículas transportadas pela corrente (Silva, Souza Filho e Neves, 2011).

Outros aspectos associados à geomorfologia são: a declividade da margem (particularmente as que são íngremes ou fortemente rampeadas) e a altura do barranco, que determina a superfície exposta à ação da corrente hídrica e às ondas (por isso foi analisada a probabilidade de ocorrência de cheias superiores a 4 m durante o período 1966 – 2019, permitindo confirmar que ela é de 25,9%). Paralelamente, o tempo de retorno dessas cheias é reduzido (3,86 anos).

Ou seja, além do solapamento basal, a maior parte da superfície dos barrancos fica exposta a ação do fluxo com uma periodicidade reduzida, incrementando ainda mais o risco erosivo.

Também por causa da sazonalidade das precipitações existe uma exposição cíclica dos sedimentos da margem aos processos de humedecimento e secado: na época da seca aumentam os desmoronamentos (causados por cisalhamento, com queda gravitacional de blocos em margens com solapamento, bem como por basculamento associado à formação de fendas na superfície da margem).

Além disto, o ritmo das precipitações gera oscilações na vazão e a velocidade do fluxo, estimulando processos como a corrosão ou desgaste mecânico lento pela ação das ondas e da corrente hídrica carregada de partículas (especialmente nas cheias) e a cavitação (em condições de enchente com fluxo turbulento de alta velocidade).

A influência das oscilações do nível do rio tem sido destacada em trabalhos como os de Fernandes (1990) no rio Paraná; Fontes (2003) e

Bandeira (2005) no rio São Francisco. Na bacia do rio Paraguai, alguns dos processos supracitados foram identificados por Souza e Cunha (2007) e também por Gazolla e Gonçalves (2017).

Confirmando o encontrado em estudos como os de Silva e Souza (2012) e Leandro, Andrade e Bindani (2013) em relação com os impactos da ocupação desordenada sobre as margens do rio Paraguai (tanto no perímetro urbano quanto na área de expansão urbana), verificou-se que em 92,8% dos pontos críticos, o topo da margem tem sido desmatado (inicialmente por causa da criação da cidade e posteriormente em decorrência da sua expansão), retirando a vegetação ciliar para construir diversas infraestruturas (como restaurantes, ancoradouros, pousadas, clubes e outras construções) ou para implementar a pecuária extensiva.

Autores como Cunha (2010), McMahon et al. (2020) e Bernier et al. (2021) coincidem em destacar que esta ação contribuiu para eliminar o seu papel estabilizador, e gerar maior ressecamento e perda da coesão do solo, especialmente durante a seca. Como resultado, se reduz a extensão dos lotes situados na margem do rio, aspecto elencado por Silva, Souza Filho e Cunha (2008) e Cochev et al. (2009).

Paralelamente, o avanço da erosão marginal tem levado à construção de muros de arrimo utilizando blocos de rochas para tentar controlar os desmoronamentos; porém, estudos como os de Silva e Neves (2008), Silva, Souza Filho e Cunha (2008) e Leandro, Andrade e Bindani (2013) indicam que essa ação não teve resultados positivos. Uma explicação para isto poderia ser que a água que infiltra no solo teria que escoar até a base do muro devido à colocação de reboco entre esses blocos (essa ação compromete a finalidade dessas obras, conforme destacado por Penteado, 1983).

Outro fator que influencia muito na erosão marginal, elencado em estudos como os de Padovezi (2003; 2012), Duró et al. (2020) e Das et al. (2020) é a esteira de ondas (advindas da passagem de embarcações), que além de gerar turbulência e aumentar a turbidez da água, desestabiliza as margens, provocando desmoronamento ou escorregamento.

Nos pontos estudados, as ondas geradas pelo constante fluxo de embarcações, o qual é mais intenso aos fins de semana, removem partículas e intensificam a erosão por solapamento basal, especialmente nos pontos com maior inclinação do talude.

Também Casado et al. (2002) encontraram as maiores taxas de recuo da margem em locais com material arenoso solto na base do barranco, onde as ondas provocavam o seu solapamento, favorecendo a ocorrência de desmoronamentos.

Análise da susceptibilidade à erosão marginal nos pontos críticos estudados

A Figura 2 representa o grau de susceptibilidade dos pontos críticos estudados, mostrando que em 78,6% dos mesmos ela é Alta ou Muito Alta, enquanto nos restantes é Média (não existindo nenhum nas categorias Baixa ou Muito Baixa).

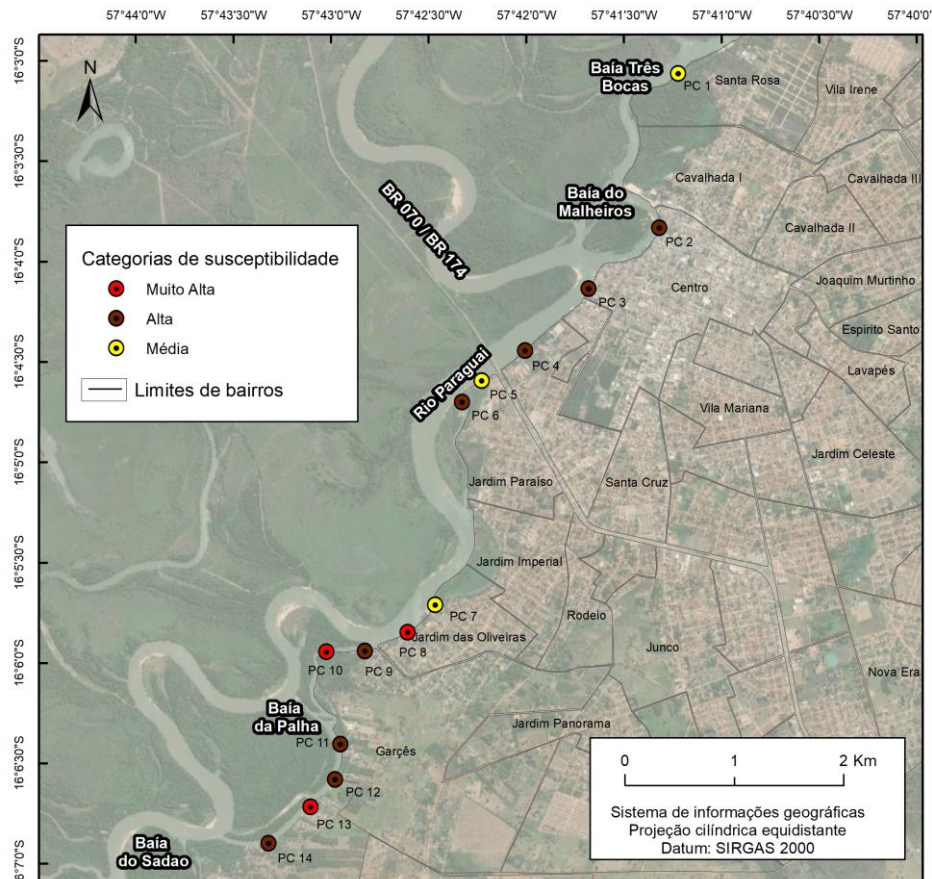


Figura 2: Nível de susceptibilidade à erosão marginal de cada um dos pontos críticos estudados no rio Paraguai e seus canais secundários. Fonte: Autores.

Estes resultados podem ser explicados pela escassa resistência das margens diante das forças atuantes (relação abordada na pesquisa de Ge et al., 2021), o que se confirma na análise dos resultados obtidos nos seguintes Pontos Críticos, situados tanto na parte central da cidade, como na área de expansão urbana:

Ponto Crítico 2 – Localiza-se na margem ocupada pela agência fluvial da Marinha do Brasil, no setor onde iniciou-se a expansão da cidade (atual bairro Centro). Dessa forma, a vegetação nativa foi retirada totalmente para a construção da infraestrutura urbana, gerando um forte processo de erosão marginal que levou à necessidade de construir um muro de arrimo que atualmente está parcialmente destruído em vários setores.

Trata-se de uma margem côncava com morfologia rampeada e elevada declividade, onde a análise granulométrica dos sedimentos da base do barranco mostrou uma percentagem de 61,5% de areia (86,4% da qual corresponde a areia fina) e um baixo teor de matéria orgânica.

Desta forma, a fraqueza das forças resistentes (especialmente o tipo de margem, a declividade, a altura do barranco, o teor de agregados e a granulometria dos sedimentos da base) de conjunto com as forças atuantes (velocidade do fluxo e atividades antrópicas) determinam a sua susceptibilidade Alta à erosão marginal.

Ponto Crítico 3 - Localizado nas proximidades da antiga Caixa d'água da cidade, dentro do bairro Centro, apresenta uma margem

levemente côncava e quase vertical, com um intenso processo erosivo na forma de meia lua (como resultado do qual ocorrem frequentes desmoronamentos com queda de blocos de dimensões variadas) que está provocando um recuo muito rápido da margem, favorecido pelo fato de a percentagem de areia nos sedimentos da base do barranco ser elevada, com valor de 53,95% (desse total, 86,7% corresponde a areia fina), bem como um baixo teor de matéria orgânica. Todo isto determina a sua Alta susceptibilidade.

Ponto Crítico 4 – Localizado, também, na área central da cidade (bairro Centro), onde a vegetação nativa foi removida totalmente; a margem neste ponto apresenta-se com características morfológicas diferentes: muito íngreme na parte superior (onde o barranco está desmoronando rapidamente, comprometendo a infraestrutura do restaurante Canoas), e fortemente rampeada na parte inferior. Salienta-se que neste trecho, Delmon et al. (2008) verificaram uma média de recuo da margem de 0,7 m/ano no período 1977 - 2005.

Dentre os fatores que contribuem para reduzir a resistência à erosão estão: concavidade e declividade da margem; altura do barranco; reduzidos teores de agregados e de matéria orgânica; e granulometria dos sedimentos (percentagem de areia de 69,7% sendo que desse total, 90,7% correspondem a areia fina) enquanto a agressividade das forças atuantes advém dos efeitos da urbanização, que se apresenta concentrada, bem como da ausência de medidas anti-erosivas. A susceptibilidade à erosão marginal foi avaliada como Alta.

Ponto Crítico 6 - Localizado na periferia do bairro Jardim Paraíso, apresenta susceptibilidade Alta devido à fraca resistência dos sedimentos soltos que integram a camada basal do barranco, bem como a forte declividade (margem íngreme), reduzidos teores de agregados e de matéria orgânica, e uma percentagem de areia de 77,9% nos sedimentos que compõem a base do barranco (sendo que, desse total, 91,7% corresponde a areia fina).

Como forças atuantes que contribuem na susceptibilidade, destacam-se: elevada velocidade média do fluxo; ausência de medidas de proteção contra a erosão marginal; e antropização (evidenciada tanto na substituição da mata ciliar por pastagens como na constante utilização da margem para praticar a pesca de barranco).

Ponto Crítico 8 - Localizado na entrada da Baía da Palha (bairro Jardim das Oliveiras), as

suas proximidades têm sido ocupadas por moradias (situadas atualmente a 30 m da margem) e não tem sido criada nenhuma estrutura de proteção anti-erosiva.

Trata-se de uma margem côncava e íngreme (declividade superior a 50°), onde a base do barranco está constituída por sedimentos pouco consolidados com uma elevada concentração de areia (77,7%) aspecto que, de conjunto com o baixo teor de matéria orgânica e a ação das ondas geradas pelas embarcações, contribuem para a ocorrência de frequentes desmoronamentos com queda de árvores por causa do solapamento basal.

Cabe destacar que neste trecho do rio ocorreu uma migração do canal principal associada à interferências antrópicas (foi aprofundada a sua calha para navegação) o que intensificou a energia do fluxo da água que atinge o material arenoso da base do barranco. Desse modo, a fraqueza das suas forças resistentes diante da influência das forças atuantes de origem tanto antrópica quanto hidrodinâmica (fluxo turbulento, com elevada velocidade média) determina uma susceptibilidade Muito Alta à erosão marginal.

Silva (2011) tinha salientado o papel da velocidade do fluxo ao monitorar os processos erosivos de margem no rio Paraguai (confirmando que a velocidade média de fluxo é o principal fator de controle das taxas de erosão marginal, como apontado por Corrêa e Souza Filho, 2009).

Ponto Crítico 9 - Mesmo que esteja localizado no interior de uma Área de Preservação Permanente-APP, neste ponto existe um ancoradouro para os pescadores locais (Figura 3) mesmo sem terem sido implementadas obras anti-erosivas.



Figura 3: Vista geral da APP e do Ponto Crítico 9 em específico (à direita da imagem). Fonte: Autores.

A margem neste trecho apresenta morfologia rampeada na base (com ângulo entre 25° e 50°) e íngreme no topo. O solapamento basal é intenso neste barranco cuja exposição ao fluxo é

de 4,37 m entre as épocas de cheia e estiagem (indicando uma grande área do mesmo sujeita aos processos de corrosão e cavitação).

Deste modo, mesmo que os teores de areia (47,08%) e de matéria orgânica na base do barranco possam ser considerados médios, a ação erosiva das ondas e do fluxo de água (com velocidade de até 0,65 m/s no período de seca), propiciam a queda de pequenos blocos por gravidade, os quais nem sempre estão protegidos pela vegetação no topo da margem. Todo isto explica a sua Alta susceptibilidade à erosão marginal.

Nos pontos críticos 8 e 9, a extração da areia do rio para construção influencia no processo erosivo da margem porque gera um déficit desse material no rio, além de aprofundar o canal. Esta situação também foi destacada por Zancan Filho e Quadros (2017) no estudo da erosão de margens no rio Jacuí (Rio Grande do Sul).

Os restantes pontos críticos analisados nesta pesquisa se localizam na área ocupada pelo bairro Garcês, situado na área de expansão urbana de Cáceres, onde o canal secundário é muito utilizado por embarcações que geram ondas capazes de intensificar a erosão marginal, especialmente durante os fines de semana, quando o fluxo da navegação é maior.

Ponto Crítico 10 – Localiza-se em um setor ocupado pela pecuária extensiva, onde o gado dessedenta diretamente no canal secundário (Figura 4).



Figura 4: Trilha utilizada pelo gado para dessedentar no canal. Fonte: Autores.

Como evidenciado na Figura 4, a margem apresenta-se predominantemente rampeada e de forma côncava, com uma altura do barranco que determina a grande exposição ao fluxo (de 6,49 m entre as épocas de cheia e estiagem), sendo este um fluxo com velocidade de 0,51 m/s na época da

cheia, o que favorece a ocorrência de intensos processos erosivos em um barranco com conteúdo de areia de 80,6% na base e teores de matéria orgânica e de agregados muito reduzidos, fatores estes que propiciam a sua elevada instabilidade. Isso explica que apresente susceptibilidade Muito Alta.

Ponto Crítico 11 - A ocupação por residências no trecho onde se localiza este ponto é considerável e a intensidade do processo erosivo levou à necessidade de construir um muro de arrimo que atualmente está em processo de desmoronamento (Figura 5).



Figura 5: Restos do muro de arrimo construído nas proximidades do Ponto Crítico 11. Fonte: Autores.

Trata-se de uma margem íngreme (declividade entre 50° e 90°), com intenso solapamento basal na sua base, que favorece os desmoronamentos com queda de blocos e árvores (Figura 6).



Figura 6: Desmoronamento da margem com queda de *Bambusa tuldoidea* Munro (Bambu taquara) no Ponto Crítico 11. Fonte: Autores.

Deste modo, mesmo com um teor de areia de apenas 31,85% e uma constituição onde

predominam os sedimentos medianamente consolidados, isso não é suficiente para proporcionar estabilidade à margem, pois fatores como a concavidade, a declividade e os baixos teores de matéria orgânica e agregados oferecem pouca resistência às forças atuantes (velocidade média do fluxo de 0,53 m/s, desmatamento do topo e usos atuais), o que determina a Alta susceptibilidade à erosão marginal neste ponto.

Ponto Crítico 12 - Localiza-se, também, em um setor onde a vegetação nativa foi substituída por pastagens (pecuária extensiva), não tendo sido criadas estruturas para conter a erosão marginal deste barranco com forte solapamento basal.

Mesmo que a margem esteja constituída essencialmente por camadas de sedimentos medianamente consolidados e hidromorfizados, outras forças resistentes mostram fraqueza, como é o caso da declividade (trata-se de uma margem íngreme, com inclinação de até 90° como mostrado na Figura 7); do fato de a margem ser côncava, e do considerável teor de areia nos sedimentos da base.



Figura 7: Erosão por solapamento basal no Ponto Crítico 12. Fonte: Autores.

Estes fatores, de conjunto com a ação de um fluxo com elevada velocidade média, a retirada da vegetação no topo da margem e a ausência de medidas anti-erosivas (como principais forças atuantes) fazem com que a susceptibilidade à erosão marginal fosse avaliada como Alta.

Ponto Crítico 13 - Localizado no extremo meridional do bairro Garcês, apresenta solo exposto e vegetação esparsa devido à urbanização concentrada (com residências a 15 m da margem). Os desmoronamentos associados ao solapamento da parte inferior do barranco provocam o recuo da margem e geram perigos para as residências, o

que explica a construção de muros de arrimo com revestimento de reboco.

A debilidade das forças resistentes, especialmente a litologia (constituída por sedimentos atuais não consolidados); a declividade do barranco (acima de 50°); a elevada percentagem de areia (83,5%) nos sedimentos da sua base; e os reduzidos teores de agregados e de matéria orgânica, de conjunto com a ação das forças atuantes: elevada velocidade média do fluxo (que é de 0,56 m/s na época da estiagem) e o grau de antropização da margem, determinam a sua susceptibilidade Muito Alta.

Moradias com risco dos efeitos da erosão marginal por estarem situadas muito próximas do canal e sobre um substrato formado de sedimentos não consolidados também foram identificadas por Reckziegel, Cristo e Robaina (2006) em estudo realizado em Santa Maria (RS).

Ponto Crítico 14 – Esta margem é a que apresentou a menor altura do barranco e os maiores teores de agregados e de matéria orgânica nos sedimentos da sua base. Mesmo assim, a sua susceptibilidade é alta devido à fraqueza de outras forças resistentes, particularmente a litologia (camadas compostas por aluviões atuais não consolidados); o tipo de margem (fortemente côncava); o caráter íngreme do barranco; e a granulometria dos sedimentos constituintes da sua base, onde a percentagem de areia supera 60% (maioritariamente areia fina).

Paralelamente, as forças atuantes que contribuem para essa susceptibilidade são: o tipo de fluxo (turbulento); a elevada velocidade média da corrente; e a ocupação humana (que além de degradar a mata ciliar e utilizar o barranco para a pesca, não tem implementado nenhuma medida de proteção contra a erosão).

Os resultados obtidos por autores como Zhang et al. (2020) e Holanda et al. (2021) mostram que, nos pontos críticos analisados, o uso de técnicas de bioengenharia de solo poderia aumentar a estabilidade das margens.

Ressalta-se que naqueles pontos críticos com susceptibilidade Média, tanto a declividade e o elevado conteúdo de areia nas camadas que compõem a base dos barrancos (que sofrem o impacto das ondas produzidas durante a frequente passagem de embarcações) como a crescente ocupação humana da periferia das margens, constituem os principais fatores geradores de susceptibilidade. Atualmente as matas ciliares dos trechos onde esses pontos se localizam estão degradadas e os próprios pontos são utilizados como locais para a pesca de barranco, sem ter sido

implementada até o momento nenhuma medida anti-erosiva nos trechos onde eles se localizam.

Conclusões

A susceptibilidade à erosão da margem esquerda do rio Paraguai e seus canais secundários no perímetro urbano da cidade de Cáceres-MT foi avaliada a partir da identificação de catorze pontos críticos de erosão, naqueles trechos com margens mais ameaçadas pela urbanização. Os resultados permitiram corroborar que em 78,6% desses pontos a susceptibilidade é Alta ou Muito Alta, enquanto nos restantes a mesma é Média.

Este elevado nível de susceptibilidade pode ser explicado tanto pelo comportamento geotécnico dos materiais constituintes das margens, que determina uma escassa resistência à erosão (presença de sedimentos soltos ou pouco consolidados; alta declividade, baixo teor de agregados; predomínio de areia fina nas camadas da base do barranco e baixo teor de matéria orgânica), como também pelas características hidrodinâmicas (tipo de fluxo e velocidade da corrente hídrica), e pela crescente ocupação antrópica desordenada das margens, sem que tenham sido implementadas medidas efetivas para conter a erosão nelas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à coordenação do Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial da Universidade do Estado de Mato Grosso pelo apoio logístico oferecido para a execução dos trabalhos de campo e as análises laboratoriais das amostras de sedimentos coletadas nos pontos críticos de erosão marginal estudados.

Referências

Ali, R. Md., Ahmed, Z., Islam, AHM H., Rahman, M. Md., 2021. River Bank Erosion, Induced Population Migration and Adaptation Strategies in the Sirajganj Sadar Upazila, Bangladesh. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 2, 39-47. <https://doi.org/10.24018/ejgeo.2021.2.2.131>

Araújo, R. de, 2019. Caracterização e classificação de solos urbanos na cidade de Cáceres - Mato Grosso. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade do Estado de Mato Grosso. Cáceres-MT, Brasil. Disponível:

<http://portal.unemat.br/media/files/PPGGEO/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20RONILSON%20DE%20ARA%C3%9AJO.pdf>. Acesso: 23 mai. 2020.

Araújo Filho, R. N. de, 2012. Comportamento de talude da margem do rio São Francisco submetido à técnica de bioengenharia de solos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe, Brasil. Disponível: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/6641/1/RENISSON_NEPONUCENO_ARAUJO_FILHO.pdf. Acesso: 14 nov. 2019.

Bandeira, A. A., 2005. Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco e eficiência dos enrocamentos no controle da erosão. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil. Disponível: file:///C:/Users/Profissional/Downloads/ARILMARA_ABADE_BANDEIRA.pdf. Acesso: 23 nov. 2019.

Bernier, J-F; Chassiot, L., Lajeunesse, P., 2021. Assessing bank erosion hazards along large rivers in the Anthropocene: a geospatial framework from the St. Lawrence fluvial system. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 12, N. 1, p. 1584-1615. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1935333>

Borges, H. B. N., Silveira, E. A., Vendramin, L. N., 2014. Flora arbórea de Mato Grosso: tipologias vegetais e suas espécies. Cuiabá: Entrelinhas. 259 p. Disponível: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2017/11/Flora_Arborea_de_Mato_Grosso.pdf. Acesso: 11 fev. 2020.

Buhler, B. F., Souza, C. A. de, 2012. Aspectos sedimentares do rio Paraguai no perímetro urbano de Cáceres-MT. *Geociências* [online] 31(3), 339-349.

Carvalho, N. de O., 2008. Hidrossedimentologia Prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 600 p.

Carvalho, J. A. L. de, 2006. Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera-Paraná da Trindade, município de Itacoatiara - AM, Brasil. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação Sociedade e Cultura na Amazônia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil. Disponível: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-71952/terras-caidas-e-consequencias->

[sociais--costa-do-miracauera---parana-da-trindade-municipio-de-itacoatiara---am-brasil.](#)

Acesso: 26 mai. 2019.

- Casado, A. P. B., Holanda, F. S. R., Araújo Filho, F. A. G., Yagui, P., 2002. Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco (Perímetro Irrigado Cotinguiba/Pindoba-SE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] (26) 231-239.
- Cavalcante, A. A., Andrade, J. H. R., 2016. Erosão de margens em rios controlados por barragens no baixo curso do rio Jaguaribe-CE, Brasil. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia-SINAGEO. Anais.... Maringá-Paraná. Disponível: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/3/3-533-647.html>. Acesso: 12 jun. 2019.
- Cochev, J. S., Neves, S. M. A. da S., Neves, R. J., Casarin, R., Campos, J. M., 2009. Análise espaço-temporal do uso do solo de Cáceres, MT, através de imagens de sensoriamento remoto e SIG. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Anais.... Corumbá-MS: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Disponível: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2009/cd/p66.pdf>. Acesso: 20 dez. 2019.
- Correa, G. T., Souza Filho, E. E., 2009. Avaliação dos processos de erosão marginal no Arquipélago Floresta Japonesa (Alto Rio Paraná). *Geografia (Londrina)* [online] 18(2) 1-20.
- Cunha, S. B. da, 2010. Morfologia dos canais urbanos nos trópicos úmidos: a experiência no Brasil. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Anais... Universidade de Coimbra, Portugal. Disponível: <https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/ema3/sandra>. Acesso: 30 out. 2019.
- Davies, B. E., 1974. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal* [online], 38, 347-353. <https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800010046x>
- Dallacort, R., Neves, S. M. A. da S., Nunes, M. C. M., 2014. Variabilidade da Temperatura e das Chuvas de Cáceres/Pantanal Mato-Grossense – Brasil. *Geografia (Londrina)* [online], 23(1), 21-33.
- Das, V. K., Roy, S., Barman, K., Chaudhuri, S., Debnath, K., 2020. Cohesive river bank erosion mechanism under wave-current interaction: A flume study. *Journal of Earth System Science*. Vol. 129, 99. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1363-7>
- Delmon, J. M. G., Neves, S. M. A. da S., Silva, A., Neves, R. J., Casarin, R., Soares, E. R. C., 2008. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Estudo da Erosão Marginal do Rio Paraguai: Bairro São Miguel em Cáceres/MT-Brasil. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino Americano de Geomorfologia. Anais.... Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0005.pdf>. Acesso: 25 nov. 2019.
- Dekaraja, D., Mahanta, R., 2021. Riverbank erosion and migration inter-linkage: with special focus on Assam, India. *Environmental Systems Research*, vol. 10, 6. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00214-0>
- Duró, G., Crosato, A., Kleinhans, M. G., Roelvink, D., Uijttewaalt, W. S. J., 2020. Bank Erosion Processes in Regulated Navigable Rivers. *JGR Earth Surface*. Vol. 125, N. 7. <https://doi.org/10.1029/2019JF005441>
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 212 p.
- Facuri, G. G., 2016. Similaridades na setorização de riscos geológicos dos municípios de Dracena, Parapuã e Cafelândia, SP. *Geociências* 35 [online], 3, 405-413.
- Fernandez, O. V. Q., 1990. Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: Região de Porto Rico-PR. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Rio Claro, SP.
- Fernandes, L. R., 2012. Estudo da Cobertura do Lixão “Morávia” da Cidade de Medellín, Colômbia. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, 170 p. Disponível: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/13673> Acesso: 19 mai. 2020.
- Fontes, L. C. da. (Coord.), 2003. Estudo do processo erosivo das margens do Baixo São Francisco e seus efeitos na dinâmica de sedimentação do rio. Resumo Executivo do Relatório Final. Aracaju, Sergipe, Brasil. Disponível: <https://cdn.agenciapexvivo.org.br/media/2019/06/Estudo-do-Processo-Erosivo-das-Margens-do-Baixo-SF-e-seus-efeitos-na->

- [din%C3%A2mica-de-sedimenta%C3%A7%C3%A3o.pdf](#). Acesso: 12 mar. 2019.
- Gazolla, B. L., Gonçalves, F. V., 2017. Caracterização do Processo de Erosão das Margens do Rio Miranda na Região do Passo do Lontra, Corumbá, Mato Grosso do Sul. Anuário do Instituto de Geociências [online] 40(2). http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_144_152
- Ge, Y., Guo, X., Zhan, M., Yan, H., 2021. Erosion Rate of Lateral Slope Deposit Under the Effects of Different Influencing Factors. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 9, p. 01-14. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.670087>
- Guerra, A. J. T., 1990. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. Anuário do Instituto de Geociências [online], 13, 43-52. Disponível: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/issue/view/502> Acesso: 24 out. 2019.
- Hanke, D., Dieckow, J., Melo, V. de F., Bognola, I. A., 2013. Estabilidade de diferentes classes de agregados de solos desenvolvidos de Basalto. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais... Florianópolis-SC. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90956/1/Itamar-CBCS-Estabilidade.pdf>. Acesso: 16 mai. 2019.
- Hossain, A., Alam, Md. J., Haque, Md. R., 2021. Effects of riverbank erosion on mental health of the affected people in Bangladesh. *PLoS ONE* 16(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254782>
- Holanda, F. S. R., Araújo Filho, R., Pedrotti, A., Wilcox, B. P., Marino, R. H., Santos, L. D. V., 2021. Soil bioengineering in northeastern Brazil: An Overview. *Rev. Ambiente & Água*, 16 (4). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2650>
- Holanda, F. S. R., Bandeira, A. A., Rocha, I. P. da, Araújo Filho, R. N. de, Ribeiro, L. F., Ennes, M. A., 2009. Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos. *RA'EGA* [online], 17, 93-101.
- Holanda, F. S. R., Santos, L. G. de C., Santos, C. M. dos, Casado, A. P. B., Pedrotti, A., Ribeiro, G. T., 2005. Riparian vegetation affected by bank erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. *Revista Árvore* [online], 29(2), 327-336.
- Holanda, F. S. R., Rocha, I. P. da, Oliveira, V. S., 2008. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online], 12(6), 570-575. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600002>
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Manual Técnico de Pedologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso: 19 ago. 2019.
- Leandro, G. R. dos S., Nascimento, F. R. do, Souza, C. A. de, 2017. Dinâmica das águas no sistema rio-planície de inundação do Rio Paraguai em Cáceres – Mato Grosso. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. Anais.... UNICAMP, Campinas-SP, Brasil. Disponível: <http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais>. Acesso: 23 mar. 2020.
- Leandro, G. R. dos S., Andrade, L. N. P. da S., Bindani, N. M., 2013. Processo de navegação e uso das margens no rio Paraguai no município de Cáceres – Mato Grosso. *Revista GeoPantanal* [online], 8(14), 27-45.
- Maitelli, G. T., 2005. Interações atmosfera-superfície. Em: Moreno, G. e Higa, T. C. S. (Orgs.). *Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente*. Cuiabá: Entrelinhas, p. 238-249.
- McMahon, J. M., Olley, J. M., Brooks, A. P., Smart, J. C. R., Koster, B. S., Venables, W. N., Curwen, G., Kemp, J., Stewart, M., Saxton, N., Haddadchi, A., Stout, J. C., 2020. Vegetation and longitudinal coarse sediment connectivity affect the ability of ecosystem restoration to reduce riverbank erosion and turbidity in drinking water. *Science of Total Environment*, Vol. 707. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135904](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135904)
- Ministério dos Transportes do Brasil, 2013. PHE Plano Hidroviário Estratégico. Relatório do Plano. Brasília-DF, Brasil, 184 p. Disponível: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/relatorio-plano-estrategico-pdf>. Acesso: 19 set. 2019.
- Monteiro, J. S., 2014. Indicadores de fragilidade à erosão no apoio à definição de áreas de preservação permanente em rios. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria, RS. Disponível:

- <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3784>. Acesso: 21 set. 2020.
- Mondal, T., Tripathy, B., 2020. River Bank Erosion and Environmental Degradation. International Journal of Research, Volume 07, Issue 07, p. 302-313.
- Neves, S. M. A. da S., Nunes, M. C. M., Neves, R. J., 2011. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT, Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. Boletim Goiano de Geografia [online], 31(2), 55-68. <https://doi.org/10.5216/bgg.v31i2.16845>
- Nunes, H. B., 2018. Estabilidade de agregados em solos do Cerrado. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade de Brasília. Brasília-DF. Disponível: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3480/1/1/2018_HeliabBomfimNunes.pdf. Acesso: 11 jun. 2020.
- OMM-Organização Meteorológica Mundial, 1990. Guia de Práticas Climatológicas – OMM N° 100. Secretaria da Organização Meteorológica Mundial, Genebra, Suíça. 147 p.
- Ortega, J. M. G., 2004. Análisis de procesos de erosión local en márgenes de cauces fluviales con curvatura en planta. Volumen 1. Tesis de doctorado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España. Disponível: <http://oa.upm.es/1038/1/04200407.pdf> Acesso: 17 set. 2019.
- Padovezi, D. de F., 2012. Influência da esteira de ondas gerada por embarcações em margens de hidrovias. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponível: http://cassiopea.ipt.br/teses/2012_TA_Daniel_Freitas.pdf. Acesso: 15 fev. 2020.
- Padovezi, C. D., 2003. Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. Disponível: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-26112003-154811/publico/PADOVEZI_TESE.PDF. Acesso: 15 fev. 2020.
- Parsons, M., Thoms, M., Norris, R., 2002. Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol, Monitoring River Health Initiative Technical Report N. 22. Commonwealth of Australia and University of Canberra. Canberra, Australia. Disponível: <https://ausrivas.ewater.org.au/protocol/Download/protocol-1.pdf>. Acesso: 11 nov. 2019.
- Penteado, M. M., 1983. Fundamentos de Geomorfologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 192 p.
- Pinto, A. A. S., 2017. Estabilização de margens fluviais. Uma abordagem multifuncional. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade do Porto, Portugal. Disponível: <file:///C:/Users/Profissional/Downloads/264552.pdf>. Acesso: 11 mar. 2020.
- Pinto, A., Maia, R., Teiga, P., Fernandes, D., Bothelo, R., 2013. Controlo da erosão das margens no âmbito de uma estratégia de reabilitação fluvial ao nível da bacia hidrográfica. In: 8ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Anais... FEUP. Portugal. Disponível: <https://docplayer.com.br/43955884-Controlo-da-erosao-das-margens-no-ambito-de-uma-estrategia-de-reabilitacao-fluvial-ao-nivel-da-bacia-hidrografica.html>. Acesso: 11 mai. 2020.
- Pizzato, J. A., Dallacort, R., Tieppo, R. C., Modolo, A. J., Cremon, C., Moreira, S. P., 2012. Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). Pesquisa Agropecuária Tropical [online], 42(2), 137-142. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200006>
- Pollen, N., Simon, A., 2006. Temporal and Spatial Variability in the Root-Reinforcement of Streambanks: Incorporating Variations in Soil Shear Strength and Soil Moisture into the RipRoot Model. In: Proceedings of the 2006 World Environmental and Water Resources Congress. Omaha, Nebraska: R. Graham Ed. Disponível: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784408568>. Acesso: 19 jul. 2020.
- Rahman, Md. S., Gain, A., 2020. Adaptation to river bank erosion induced displacement in Koyra Upazila of Bangladesh. Progress in Disaster Science, Vol. 5.
- Reckziegel, B. W., Cristo, S. S. V. de, Robaina, L. E. de S., 2006. Hierarquização das moradias em situação de risco geomorfológico associado à dinâmica fluvial na vila Urlândia, Santa Maria – Rio Grande do Sul. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Anais..... Goiânia-GO. Disponível:

- <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/9/367.pdf>. Acesso: 29 jul. 2020.
- Rosestolato Filho, A., 2006. Geomorfologia aplicada ao saneamento básico na cidade de Cáceres, Mato Grosso. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Rydzewski, A., Moya, D., Lanfranco M., 2016. Aplicación del criterio geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinas. In: 3º Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos-IFRH. Ezeiza, Buenos Aires, Argentina. Disponível: https://www.ina.gov.ar/legacy/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_102.pdf. Acesso: 22 out. 2019.
- Santos, R. F. dos (Org.), 2007. Vulnerabilidade Ambiental. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília: MMA, 192 p. Disponível: [https://fld.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade Ambiental Desastres Naturais ou Fenomenos Induzidos.pdf](https://fld.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf). Acesso: 13 nov. 2019.
- Santos, F. A. S., Mariano, R. S. R., Pierangelli, M. A. P., Souza, C. A., Bampi, A. C., 2013. Ambiente & Água [online] 8(1), 239-249. <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1009>
- Sanches, J. C. M., Domingos, R. M. A., Ribeiro, A. C. V. B., Carignani, G., 2020. Mapa de análise climática de cidades de pequeno e médio portes no contexto do Pantanal mato-grossense. Revista de Geografia (Recife) [online], 37(1), 166-171.
- Silva, A., Souza Filho, E. E., Cunha, S. B., 2008. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). Revista Brasileira de Geociências [online], 38(1), 167-177.
- Silva, A., Neves, S. M. A. S., 2008. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da erosão marginal no rio Paraguai: bairro São Miguel em Cáceres/MT-Brasil. Revista Geográfica Acadêmica, [online], 2(3), 19-27.
- Silva, A., Souza Filho, E. E. de, Neves, S. M. A. da S., 2011. Erosão marginal e sedimentação no rio Paraguai no município de Cáceres (MT). Revista Brasileira de Geociências [online], 41(1), 76-84.
- Silva, A. R. C., 2014. Comportamento de talude arenoso imerso em escoamento fluvial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã - Portugal, 149 p.
- https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/4915/1/3861_7575.pdf Acesso: 16 mai. 2020.
- Silva, R. V. da, Souza, C. A. de, 2012. Ocupação e degradação na margem do Rio Paraguai em Cáceres, Mato Grosso. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional [online], 8(1), 125-152.
- Silva, R. V., 2011. Uso e ocupação da margem esquerda do rio Paraguai e a percepção ambiental de usuários do município de Cáceres, Mato Grosso. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado de Mato Grosso. Cáceres-MT. Disponível: http://portal.unemat.br/media/oldfiles/ppgca/docs/dissertacao_rosimeire_vilarinho.pdf. Acesso: 20 out. 2019.
- Silva, A., Souza, C. A. de, Zani, H., Freitas, D. R. de, 2007. Avaliação da erosão na margem direita do rio Paraguai a jusante da Praia do Julião município de Cáceres-MT. Revista Geografia Acadêmica [online], 1(1), 5-19.
- Souza, C. A., 2004. Dinâmica do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiaimã – MT. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- Souza, C. A., Cunha, S. B., 2007. Pantanal de Cáceres-MT: Dinâmica das Margens do Rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da Ilha de Taiaimã –MT. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas [online], 1(5), 18-42.
- Souza, C. A., Vendramini, W. J., Souza, M. A., 2012. Assoreamento na baía do Sadao no rio Paraguai – Cáceres – Mato Grosso. Cadernos de Geociências [online], 9(2), 85-93.
- Sousa, J. B. de, Pierangeli, M. A.; Souza, C. A. de, Cruz, J. da S., Oliveira, J. D. de, 2017. Descrição morfológica e atributos do solo nas margens do rio Paraguai, Cáceres, Mato Grosso, Brasil. Ciência Geográfica – Bauru [online], XXI(1), 74-86.
- Thorne, C. R., Tovey, N. K., 1981. Stability of composite riverbanks. Earth Surface Process and Landforms. BSG-British Society of Geomorphology, 469-484. <https://doi.org/10.1002/esp.3290060507>
- UNDRO-Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, 1979. Natural Disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting. Boston Public Library.

Disponível:

<https://digitallibrary.un.org/record/95986>.

Acesso: 24 jun. 2019.

- Xia, J. Q., Wu, B. S., Wang, Y. P., Zhao, S. G., 2008. An analysis of soil composition and mechanical properties of riverbanks in a braided reach of the Lower Yellow River. Chinese Science Bulletin, 53(15), 2400-2409. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0282-9>
- Zancan Filho, L. C., Quadros, T. F. P. de, 2017. Efeito da dinâmica fluvial e da ação antrópica sobre a erosão de margens fluviais: o caso da mineração de areia no rio Jacuí. Revista de Ciências Ambientais [online], 11(1), 49-64. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v11i1.3179>
- Zhang, H., Zhao, Z., Ma, G., Sun, L., 2020. Quantitative evaluation of soil anti-erodibility in riverbank slope remediated with nature-based soil bioengineering in Liaohe River, Northeast China. Ecological Engineering, Vol. 151, N. 15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105840>