

## Atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear: estudo de caso nas bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP)

Weight assignment applied to environmental vulnerability to linear erosion: case study in watersheds of Cachorros river (São Luís-MA) and Timburi stream (Presidente Prudente-SP)

Atribución de pesos aplicados a la vulnerabilidad ambiental a erosión linear: estudio del caso en las cuencas hidrográficas del rio de los Cachorros (São Luís-MA) y del arroyo Timburi (Presidente Prudente-SP)

Melina Fushimi<sup>I</sup> , Regina Célia de Oliveira<sup>II</sup> ,  
João Osvaldo Rodrigues Nunes<sup>III</sup> 

<sup>I</sup> Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil

<sup>II</sup> Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

<sup>III</sup> Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil

### RESUMO

No âmbito da bacia hidrográfica ocorrem diversos processos, dentre eles, relações de vulnerabilidade ambiental à erosão linear. Em meio às técnicas que possibilitam auxiliar os estudos sobre erosão tem-se a elaboração de documentos cartográficos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi contribuir para a proposta de atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear das bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP), considerando variáveis como, o relevo, a declividade, o solo, o uso da terra e a cobertura vegetal. Os materiais e métodos para este estudo contaram com etapas de processamento, com o uso de técnicas e de ferramentas computacionais, que geraram mapeamentos em que a validação ocorreu por meio de trabalhos de campo. Os resultados obtidos mostraram que os procedimentos metodológicos adotados foram considerados adequados, na medida que a espacialização das classes que variam de baixa, média a alta vulnerabilidade ambiental à erosão linear estão condizentes com a realidade e, portanto, a proposta pode ser utilizada em outras áreas de estudo, sendo que os pesos devem ser adaptados de acordo com as características ambientais de cada área.

**Palavras-chave:** Mapeamento de erosão; Sistemas de Informação Geográfica; Processos erosivos

## ABSTRACT

Several processes occur in the watershed, among them, relations of environmental vulnerability to linear erosion. In view of the techniques to assist studies on erosion, there is the elaboration of cartographic documents in Geographic Information Systems (GIS). Thus, this assignment aimed to contribute to the proposal for attributing weights applied to environmental vulnerability to linear erosion of watersheds of Cachorros river (São Luís-MA) and Timburi stream (Presidente Prudente-SP), considering the variables relief, slope plan, soil, land use and vegetation. The materials and methods for this study included processing steps, with the use of computational techniques and tools which generated mappings and the validation was carried out by fieldwork. The results showed that the methodological procedures were considered adequate, since the spatialization of classes from low, medium to high vulnerability to linear erosion are consistent with reality and, therefore, the proposal may be applied in other study areas and the weights must be adapted according to the environmental characteristics of each area.

**Keywords:** Erosion mapping; Geographic Information System; Erosive processes

## RESUMEN

Diversos procesos ocurren en la cuenca hidrográfica, entre ellos, relaciones de vulnerabilidad ambiental a la erosión linear. Entre las técnicas que permiten auxiliar los estudios sobre erosión, se encuentra la elaboración de documentos cartográficos en ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este sentido, lo objetivo del presente estudio fue contribuir para la propuesta de la atribución de los pesos aplicados a la vulnerabilidad ambiental a la erosión linear de las cuencas hidrográficas de lo rio de los Cachorros (São Luís-MA) y del arroyo Timburi (Presidente Prudente-SP), considerando las variables relevo, declividad, suelo, uso de la tierra y cobertura vegetal. Los materiales y métodos para este estudio contaran con etapas del procesamiento, con el uso de las técnicas y de las herramientas computacionales, que han generado los mapas, en que la validación ocurrió con trabajos del campo. Los resultados obtenidos mostraran que los procedimientos metodológicos utilizados fueran considerados adecuados, en la medida en que la especialización de las clases que variarán del baja, media a la alta vulnerabilidad ambiental a la erosión linear están compatibles con la realidad y, por tanto, la propuesta pode ser utilizada en otras áreas de estudio, siendo que los pesos deben adaptarse de acuerdo con las características ambientales de cada área.

**Palabras-clave:** Mapeo de la erosión; Sistemas de Información Geográfica; Procesos Erosivos

## 1 INTRODUÇÃO

A paisagem expressa o princípio de conexão entre componentes naturais e sociais (Suertegaray, 2001; 2019; Nunes *et al.*, 2006; Fushimi, 2016) e, diante da possibilidade de análise integrada por meio da relação sociedade-natureza na paisagem, destaca-se a bacia hidrográfica como unidade nos estudos ambientais.

A bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema aberto, com trocas de matéria e de energia. Leal (1995) aborda enquanto matéria a água e os sedimentos,

a energia é representada pelas energias potenciais (gravidade) e cinética (energia do movimento pela água, vento, etc.) e inclui a importância da estrutura que constitui-se pelos elementos e suas relações.

A bacia hidrográfica também pode ser considerada como uma área drenada por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes ou intermitentes e inclui, além dos cursos d'água hierarquizados, cabeceiras de drenagem ou nascentes, divisores de água e foz (Santos, 2004).

Nessas circunstâncias, no âmbito da bacia hidrográfica ocorrem diversos processos, dentre eles estão as relações de vulnerabilidade ambiental à erosão linear. Com base em Cutter (1996) e Almeida (2010), a ideia de vulnerabilidade, embora seja bastante utilizada em pesquisas desde a década de 1980, possui significado amplo como "potencial de perda" (potential for loss), pois não especifica-se qual perda que está sendo descrita. Assim, entende-se para este trabalho a concepção de vulnerabilidade como potencial de perda de solo pela erosão pluvial que se manifesta na paisagem sob a forma de sulcos, ravinas e voçorocas (erosão acelerada).

Os processos erosivos configuram-se como importantes para a formação do relevo da superfície terrestre, dos solos aluviais e das rochas. Entretanto, os usos da terra conduzidos pelo sistema de produção capitalista desconsideram as fragilidades dos constituintes da natureza, como formas de relevo, declividade, solo e vegetação, e promovem o surgimento e/ou incremento da erosão acelerada (Weill; Pires Neto, 2007; Van Beek *et al.*, 2008; Oliveira, 2015; Bertoni; Lombardi Neto; 2017; Guerra *et al.*, 2017).

Em meio às técnicas que possibilitam auxiliar os estudos sobre erosão, tem-se a elaboração de modelos espaciais mediante o uso de ferramentas computacionais no ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em diversas localidades, conforme aponta Leh *et al.* (2011). De acordo com Moura (2007), o uso de um SIG relaciona-se à seleção de variáveis e suas combinações com base em tendências observadas ou julgamento de condições estabelecidas na busca de respostas, acerca do comportamento de atributos e suas correlações e da representação espacial de um fenômeno.

Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi contribuir para a proposta de atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear das bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP), considerando as variáveis relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal.

As bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP) apresentam composições ambientais heterogêneas, todavia, ambas as paisagens das áreas de estudo e seus entornos possuem quadros erosivos acelerados. Pesquisas em São Luís apontam feições erosivas lineares de até 16 metros de profundidade (Sathler *et al.*, 2009; Bezerra, 2011; Moraes, 2018; Catunda; Dias, 2019) e em Presidente Prudente foram cadastradas 52 erosões, sendo o município e a região classificados de média a alta vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (Kertzman *et al.*, 1995; IPT, 2012; Fushimi *et al.*, 2013), com o uso de diferentes técnicas computacionais, por exemplo, a Técnica do Processo Analítico Hierárquico (AHP). Em escala mais detalhada, Moreira *et al.* (2020) mapearam 78 manifestações erosivas (sulcos e ravinas) na Área de Proteção Ambiental (APA) do Timburi, em que se insere a bacia hidrográfica do córrego Timburi.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Vulnerabilidade ambiental à erosão linear

A metodologia de Crepani *et al.* (2001) propõe, em geral, a geração de mapas de vulnerabilidade à perda de solo por intermédio de um banco de dados integrado que contém informações do meio físico (rocha, relevo, solo, vegetação e clima) e de uso da terra e da atribuição de pesos de 1 a 3 às características ambientais. Esta metodologia desenvolveu-se a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) que classificam os meios em estáveis, integrados e fortemente instáveis.

Sob esse contexto, a espacialização da vulnerabilidade ambiental à erosão linear considerou a proposta de Crepani *et al.* (2001) e as categorias morfodinâmicas

de Tricart (1977), realizando-se adaptações em consonância com os principais fatores que contribuem para o desenvolvimento de sulcos, ravinas e voçorocas e as dinâmicas das paisagens das áreas de estudo.

À vista disso, as classes de relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal foram ponderados de 1 a 3. O valor 1 corresponde ao predomínio da pedogênese e meio morfodinâmico estável. Na condição intermediária, onde se tem o equilíbrio entre pedogênese e morfogênese, o meio é intergrade com peso 2. No meio fortemente instável prevalece a morfogênese, em especial, os processos erosivos e o valor atribuído foi 3 (Tabela 1).

**Tabela 1** – Categorias morfodinâmicas e pesos atribuídos às classes de relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal

<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Relação pedogênese/ morfogênese</b>	<b>Peso</b>
Estável	Prevalece a pedogênese	1
Intergrade	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2
Fortemente instável	Prevalece a morfogênese	3

Fonte: Tricart (1977) e Crepani *et al.* (2001) e organizado pelos autores (2021)

Em seguida, aplicou-se a álgebra de mapas que consistiu na média aritmética dos temas relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal, cujo resultado foi o mapa de vulnerabilidade ambiental à erosão linear.

(1)

onde:

V = Vulnerabilidade ambiental à erosão linear;

R = Relevo;

D = Declividade;

S = Solo;

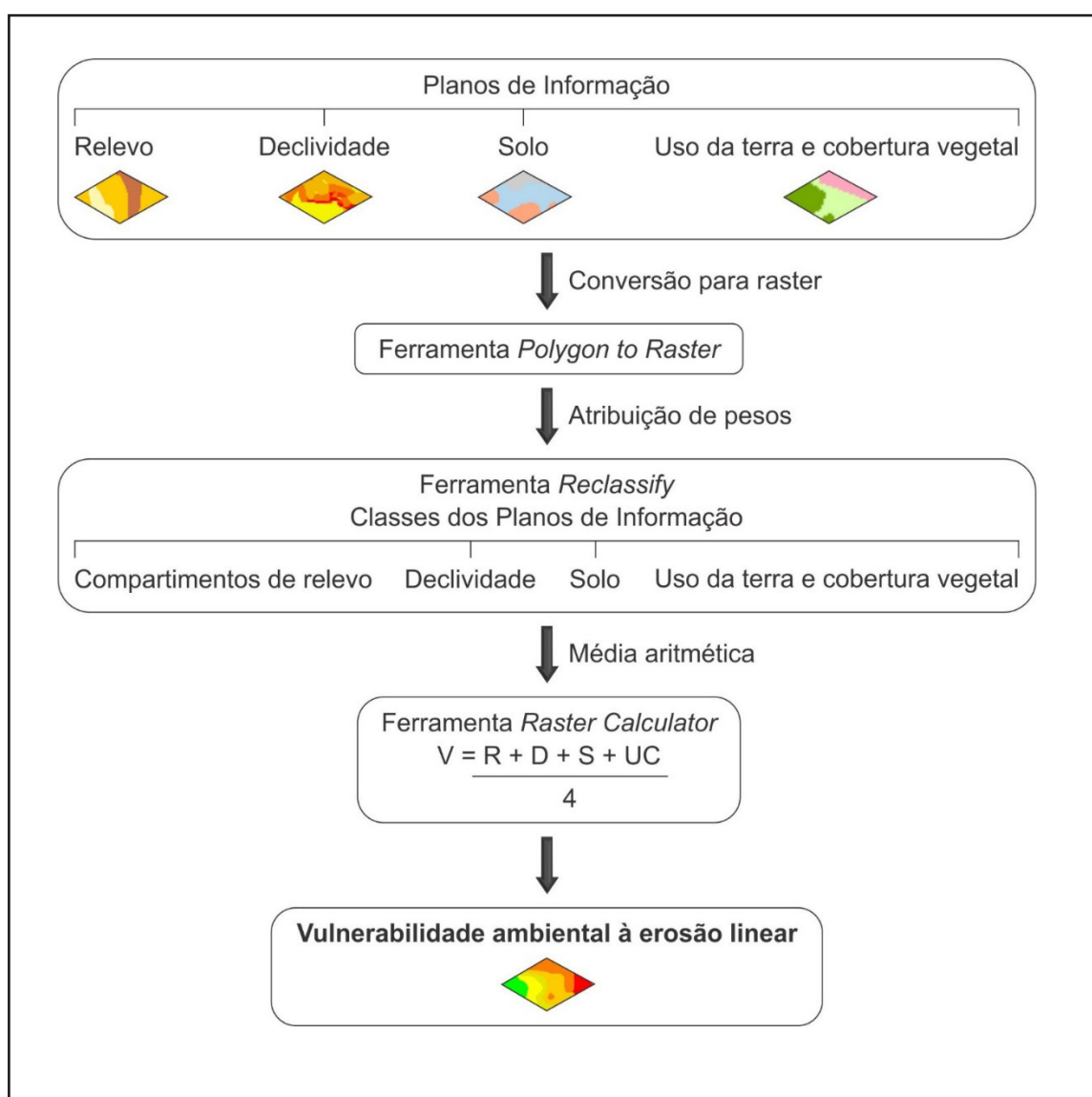
UC = Uso da terra e cobertura vegetal.

As classes de vulnerabilidade variam de baixa que possui maior estabilidade e pedogênese, passando pelo cenário intermediário (média vulnerabilidade), em que ocorre o balanço pedogênese/morfogênese, até a alta vulnerabilidade ambiental à

erosão linear, ao compreender o domínio da morfogênese e de meios fortemente instáveis. A legenda de cores também foi adaptada de Crepani *et al.* (2001), de modo que no presente trabalho optou-se pelo uso das cores verde, amarelo e vermelho e seus matizes, visto que o azul se refere aos cursos d'água.

Na Figura 1 são apresentadas as etapas de processamento, as quais foram feitas no software ArcGIS®, versão 10.5.

**Figura 1** – Esquema simplificado das etapas de processamento no ArcGIS®



Fonte: Organizado pelos autores (2021)

Legenda: V = Vulnerabilidade ambiental à erosão linear. R = Relevo. D = Declividade. S = Solo. UC = Uso da terra e cobertura vegetal

Em ambiente computacional, os atributos relevo, declividade, solo, uso da terra

e cobertura vegetal, representados em Planos de Informação (PI), foram convertidos em formato matricial (raster) com o auxílio da ferramenta Polygon to Raster. Conforme afirma Sampaio *et al.* (2016), o uso do sistema em raster torna possível a aplicação da técnica de álgebra de mapas, desde as representações de entrada até o modelo de saída.

Posteriormente, a opção Reclassify proporcionou a atribuição de pesos de 1 a 3 para cada classe das variáveis e na etapa posterior efetuou-se o cruzamento dos Planos de Informação e seus respectivos pesos ao calcular a média aritmética por meio da função Raster Calculator. Como resultado, tem-se o mapa de vulnerabilidade ambiental à erosão linear.

Enfim, corrobora-se com Moura (2007) ao ressaltar a validação do modelo frente à realidade para verificar os resultados espaciais obtidos, com a realização de trabalhos de campo.

## **2.2 Classes de relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal**

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, os compartimentos de relevo foram reconhecidos por Silva (2012) ao elaborar o mapa geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000 e a classificação do solo na escala 1:60.000 considerou estudos de Maranhão (1998), Silva (2012), Ferreira e Fushimi (2019), o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018) e Fushimi *et al.* (2020).

A declividade é a proporção inversa entre a distância das curvas de nível e a inclinação do terreno (Cunha, 2001). Assim, as classes de declividade definiram-se segundo Cunha (2001), com alterações para as características ambientais da área de interesse.

Os aspectos de uso da terra e cobertura vegetal referenciaram-se no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), Silva e Fushimi (2019) e imagens do Google Earth Pro® do World Imagery® (disponível no ArcMap®) e do satélite Sentinel-2, de domínio público, com resolução espacial de 10 m e datada de 22 de outubro de

2017. A escolha da cena considerou o período de estiagem e, conseqüentemente, a ausência de nuvens.

Na bacia hidrográfica do córrego Timburi, Nunes e Fushimi (2010) identificaram os compartimentos de relevo mediante o mapa geomorfológico do município de Presidente Prudente na escala 1:25.000. A declividade foi adaptada de Cunha (2001) em razão das particularidades ambientais da área de trabalho e a caracterização do solo utilizou como referências Fushimi (2012), Embrapa (2018) e Fushimi e Nunes (2019a). O uso da terra e cobertura vegetal basearam-se em Fushimi (2012), IBGE (2013), Fushimi e Nunes (2019b) e imagens do Google Earth Pro®, do World Imagery® (disponível no ArcMap®) e do satélite Sentinel-2 referente ao dia 29 de novembro de 2019.

No mais, em ambas as áreas de estudo realizaram-se trabalhos de campo (Figuras 2 e 3) no sentido de verificar e atualizar as informações levantadas e mapeadas.

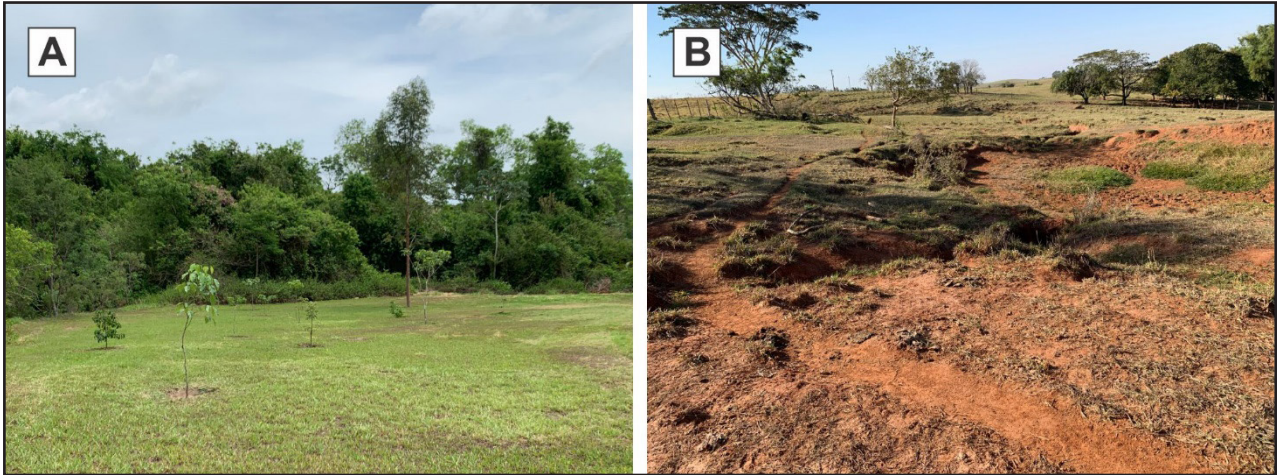
**Figura 2** – Trabalhos de campo na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (São Luís-MA).  
A: Vegetação secundária mista. B: Mineração (extração de areia)



Fonte: Organizado pelos autores (janeiro, 2021)



**Figura 3** – Trabalhos de campo na bacia hidrográfica do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP). A: Mata ciliar. B: Gramínea para pastagem



Fonte: Organizado pelos autores (Janeiro, 2021)

Dessa forma, nos trabalhos de campo considerou-se características representativas dos setores de baixa, média e alta vulnerabilidade ambiental à erosão linear.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de espacializar a vulnerabilidade ambiental à erosão linear atribuiu-se pesos às classes de relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal, partindo do princípio proposto por Moura (2007) de que não se pode definir apenas como “sim” ou “não” (natureza binária) a importância da participação de uma variável no conjunto, e sim caracterizá-la conforme o grau de pertinência para o objetivo de análise (natureza contínua).

Moura (2007) e Folharini *et al.* (2017) discorrem que a ponderação ocorre por diversas maneiras, como análise estatística, consulta aos especialistas que conheçam bem o fenômeno e sua realidade espacial, consulta à legislação ou à literatura e apoio de campo. Para o presente estudo considerou-se o conhecimento acerca dos processos erosivos, as referências teóricas e metodológicas, assim como os trabalhos de campo.

### 3.1 Bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (São Luís-MA)

De acordo com Weill e Pires Neto (2007), o relevo desempenha função relevante na circulação das águas pluviais, de modo que nas áreas a jusante e aplainadas que correspondem à planície fluvial e à planície de maré do rio dos Cachorros predomina a infiltração e no compartimento mais declivoso, isto é, nas vertentes côncavo-convexas, tem-se o escoamento superficial. No tabuleiro com topo plano e na colina esparsa, sendo esta denominada por Maranhão (1998) de relevo subtabular, uma vez que porções do tabuleiro sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico, ora prevalece a infiltração, ora o escoamento em meio intergrade (Tabela 2).

**Tabela 2** – Pesos atribuídos aos compartimentos de relevo da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros

Compartimento de relevo	Morfodinâmica predominante	Peso
Planície fluvial	Estável	1
Planície de maré	Estável	1
Tabuleiro com topo plano	Intergrade	2
Colina esparsa	Intergrade	2
Vertente	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

A declividade possui relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética das águas pluviais (CREPANI *et al.*, 2001) e, portanto, quanto maior a inclinação, mais rapidamente produz-se o escoamento superficial e meios fortemente instáveis (Tabela 3). No recorte de estudo, os declives variam de abaixo de 5% na planície fluvial e na planície de maré até 30% na vertente.

**Tabela 3** – Pesos atribuídos às declividades da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros

Declividade (%)	Morfodinâmica predominante	Peso
≤ 5	Estável	1
5 + 10	Intergrade	2
10 + 15	Intergrade	2
15 + 20	Fortemente instável	3
> 20	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

Diante da influência de propriedades físicas do solo à erosão, os pesos foram determinados a partir do grau de desenvolvimento do solo, segundo o critério de Crepani *et al.* (2001), tal como a textura (argila, silte e areia) que intervém na movimentação de água no solo.

Os Gleissolos Háplicos e os Gleissolos Tiomórficos ou tipos de terreno “Solos Indiscriminados de Mangue” (IBGE, 2015) são solos hidromórficos, em que prevalece a pedogênese. Nos Latossolos, apesar do avançado estágio de intemperização, a fração areia se evidencia e, como consequência, os solos são soltos e moderadamente vulneráveis à ruptura dos agregados que representa o início da dinâmica erosiva (Fushimi; Nunes, 2019a). Os Neossolos Quartzarênicos enquadram-se na categoria fortemente instável ao apresentar textura areia ou areia franca e sequência de horizontes A-C e os Argissolos são de profundidade variável, com incremento de argila do horizonte superficial para o horizonte B, dificultando a infiltração hídrica no perfil e favorecendo a morfogênese, em concordância com Crepani *et al.* (2001), Brady e Weil (2013), Embrapa (2018) e Tabela 4.

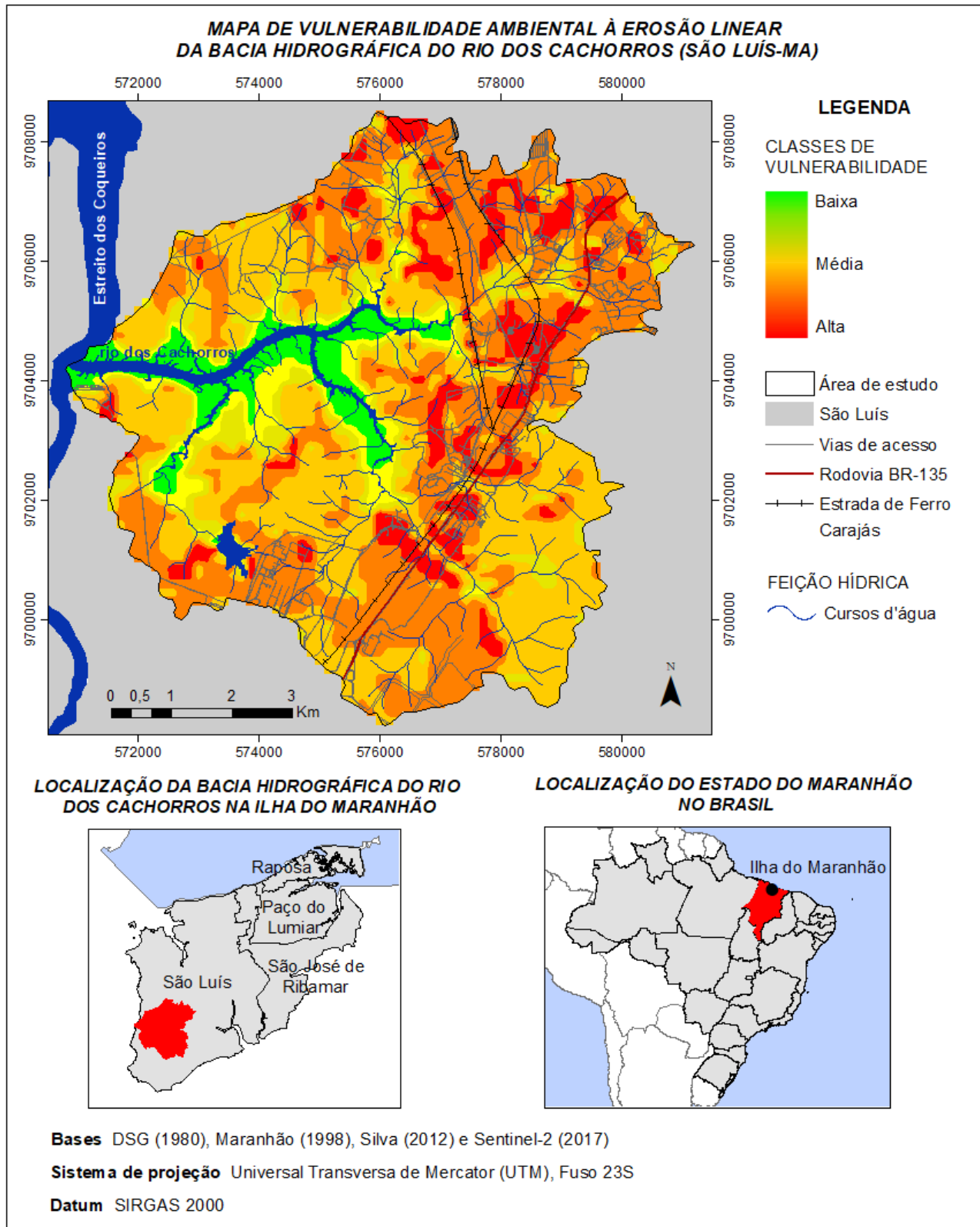
**Tabela 4** – Pesos atribuídos aos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros

<b>Solos</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
Gleissolos Háplicos	Estável	1
Gleissolos Tiomórficos	Estável	1
Latossolos	Intergrade	2
Neossolos Quartzarênicos	Fortemente instável	2
Argissolos	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

A cobertura vegetal promove a dispersão das águas, a proteção direta contra a ação do splash (ou erosão por salpico) e do escoamento superficial e o tipo de formação vegetal e sua densidade determinam o grau de cobertura do solo (Andreu *et al.*, 1995; Guerra, 2015). Assim, perante a vegetação de mangue destaca-se a pedogênese e na vegetação secundária mista de capoeira mantém-se o equilíbrio pedogênese/morfogênese. Por outro lado, o uso da terra interfere na forma e na intensidade de atuação dos processos erosivos (Weill; Pires Neto, 2007).

Figura 4 – Mapa de vulnerabilidade ambiental à erosão linear da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros



Fonte: Organizado pelos autores (2021)

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros ressalta-se a morfogênese em área urbanizada, com intensa impermeabilização do solo, e área industrial, cuja atividade mineradora extrai areia e laterita para a construção civil, em consonância com os achados de Castro e Pereira (2012) e Castro e Santos (2012) (Tabela 5).

**Tabela 5** – Pesos atribuídos aos usos da terra e às coberturas vegetais da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros

<b>Uso da terra e cobertura vegetal</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
Vegetação de mangue	Estável	1
Vegetação secundária mista	Intergrade	2
Área urbanizada	Fortemente instável	3
Área industrial	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

Como resultado da atribuição de pesos em ambiente SIG tem-se o mapa de vulnerabilidade ambiental à erosão linear, no qual as classes de vulnerabilidade variam de baixa, média a alta (Figura 4).

### **3.2 Bacia hidrográfica do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP)**

As formas de relevo agradacionais da bacia hidrográfica do córrego Timburi são representadas pelas planícies aluviais e alvéolos com fundos de vale chatos, de modo que o formato em berço favorece a infiltração da água precipitada. O compartimento do topo é área fornecedora de sedimentos, todavia, em virtude da sua morfologia suavemente ondulada acontece a infiltração, que configuram-se em meio intergrade. As vertentes côncavas, convexas e retilíneas são formas denudacionais e de intensa morfodinâmica, onde “ficam impregnadas as transformações que compõem a paisagem” (Casseti, 1991, p. 54).

Segundo Moreira *et al.* (2020), entre o topo e a vertente têm-se rupturas abruptas de média vertente e o aumento da declividade. Nesta estrutura, característica da região do Extremo Oeste Paulista onde localiza-se a área de estudo, ocorre o afloramento do aquífero freático suspenso, tornando o local mais vulnerável, ambientalmente, à erosão

linear comandada pelo escoamento subsuperficial ou de base, em conformidade com Coelho Netto (1998).

A Tabela 6 contempla a atribuição de pesos aos compartimentos de relevo:

**Tabela 6** – Pesos atribuídos aos compartimentos de relevo da bacia hidrográfica do córrego Timburi

<b>Compartimento de relevo</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
Planície aluvial e alvéolo	Estável	1
Topo suavemente ondulado das colinas convexas	Intergrade	2
Domínio das vertentes côncavas, convexas e retilíneas	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

A declividade interfere na velocidade de escoamento das águas superficiais (Weill; Pires Neto, 2007). Dessa forma, o aumento da inclinação resulta em maior capacidade dos agentes erosivos de transportar material (Tabela 7). Na área de trabalho, visto que o relevo se caracteriza por colinas amplas suavemente onduladas (Nunes; Fushimi, 2010; Moreira *et al.*, 2020), as declividades detêm valores inferiores a 5% na planície aluvial e alvéolo e superiores a 20% na vertente.

**Tabela 7** – Pesos atribuídos às declividades da bacia hidrográfica do córrego Timburi

<b>Declividade (%)</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
≤ 5	Estável	1
5 + 10	Intergrade	2
10 + 15	Intergrade	2
15 + 20	Fortemente instável	3
> 20	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

A respeito do desenvolvimento e da textura do solo, nos Gleissolos e Planossolos os solos são hidromorfizados pelo contato com as águas fluviais, cuja paisagem de acumulação contribui para a pedogênese. Os Latossolos são desenvolvidos, porém, em razão do predomínio de areia, a coesão das partículas é baixa, com capacidade

média de suporte à vegetação. Nos Argissolos e Neossolos Regolíticos predomina a morfogênese; o acúmulo do teor de argila no horizonte Bt dos Argissolos dificulta a percolação hídrica e o fluxo tende a ser subsuperficial e em relação aos Neossolos são pouco intemperizados (menos de 20 cm de espessura e sequência de horizontes A-R), nos quais a ação erosiva é superior ao processo de formação de solo, em conformidade com Crepani *et al.* (2001), Embrapa (2018) e Tabela 8.

**Tabela 8** – Pesos atribuídos aos solos da bacia hidrográfica do córrego Timburi

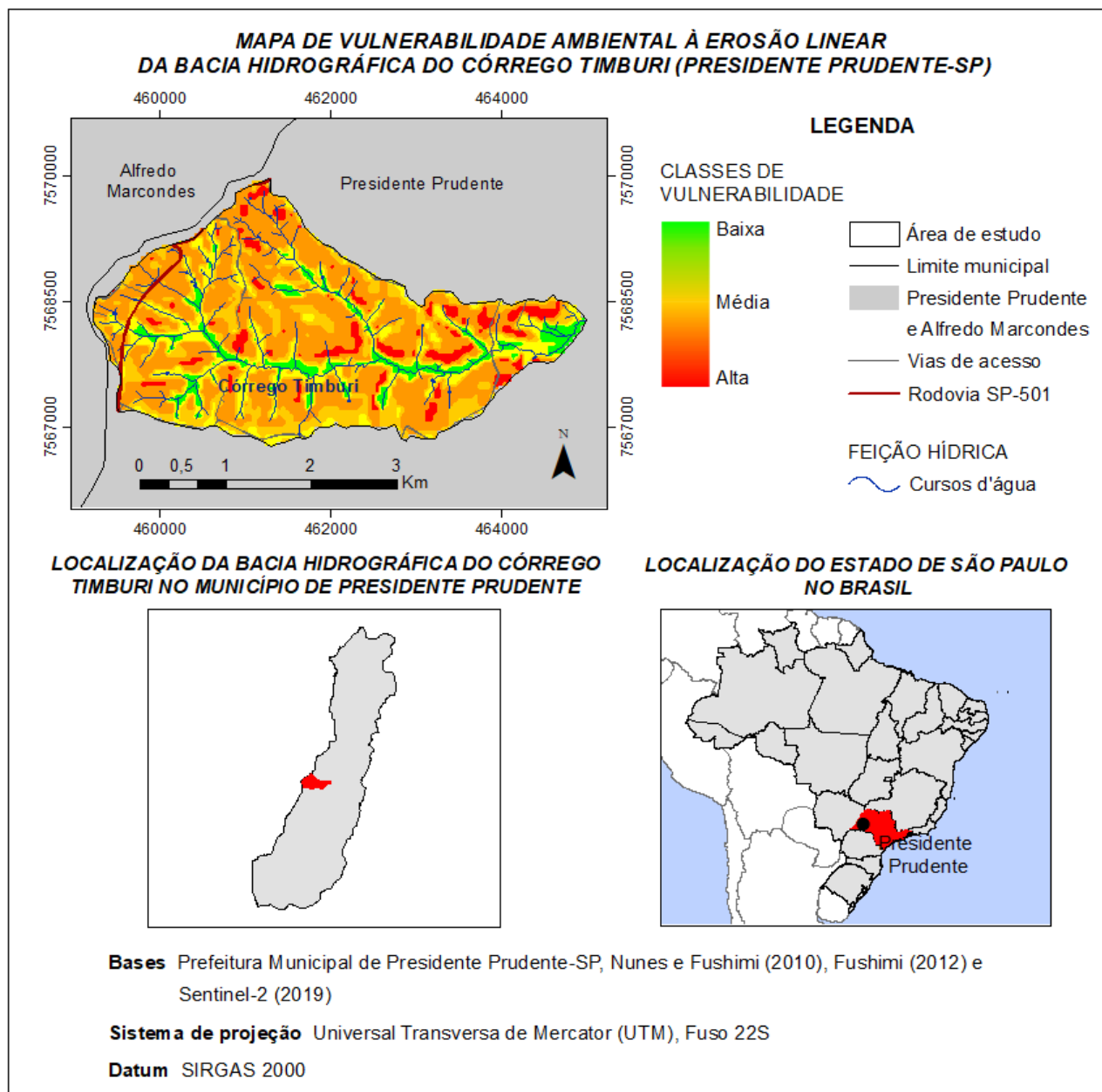
<b>Solos</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
Gleissolos	Estável	1
Planossolos	Estável	1
Latossolos	Intergrade	2
Neossolos Regolíticos	Fortemente instável	3
Argissolos	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

A vegetação, além da proteção contra a atuação da erosão por salpico e do escoamento superficial, atua indiretamente, à medida que a incorporação de raízes no perfil pedológico e sua posterior decomposição contribuem para o acúmulo de matéria orgânica no solo, com efeito sobre a estrutura, agregação e fertilidade e a constituição de macroporos de origem biológica, o que viabiliza a infiltração (Weill; Pires Neto, 2007; Van Beek *et al.*, 2008). Isto posto, no setor de mata ciliar remanescente (Floresta Estacional Semidecidual) o meio é estável.

No meio intergrade, a gramínea (braquiária), com sua densidade de hastes e sistema radicular, é capaz de diminuir a intensidade do escoamento superficial e prender as partículas de solo, formando pequenas rugosidades no terreno que retardam o movimento da água (Bertoni; Lombardi Neto, 2017). Em contrapartida, a atividade pastoril acelera a compactação dos horizontes superficiais do solo, com consequente redução da infiltração, e nos caminhos que o gado bovino percorre para dessedentação verifica-se a remoção da cobertura vegetal e o escoamento superficial, em concordância com pesquisas desenvolvidas por Fushimi e Nunes (2022) nos setores de gramínea e pastagem das áreas rurais de Presidente Prudente-SP.

**Figura 5** – Mapa de vulnerabilidade ambiental à erosão linear da bacia hidrográfica do córrego Timburi



Fonte: Organizado pelos autores (2021)

O solo exposto, apesar de ser um cenário temporário para o posterior plantio de cana de açúcar, conforme observou-se em trabalhos de campo e em imagens de satélite, proporciona a situação de instabilidade, pois a superfície encontra-se desprotegida da erosão por salpicamento, fato que corrobora com Coelho Netto e Avelar (2007, p. 67) ao afirmarem que “os solos expostos se tornam os mais vulneráveis



à erosão superficial por sua exposição direta às chuvas e aumento do escoamento superficial". Na Tabela 9 apresentam-se os pesos atribuídos às classes de uso da terra e cobertura vegetal.

**Tabela 9** – Pesos atribuídos aos usos da terra e às coberturas vegetais da bacia hidrográfica do córrego Timburi

<b>Uso da terra e cobertura vegetal</b>	<b>Morfodinâmica predominante</b>	<b>Peso</b>
Mata	Estável	1
Gramínea e pastagem	Intergrade	2
Solo exposto	Fortemente instável	3

Fonte: Organizado pelos autores (2021)

Por conseguinte, elaborou-se o mapeamento da vulnerabilidade ambiental à erosão linear e suas classes de vulnerabilidade que se situam entre baixa, média e alta (Figura 5).

As análises espaciais baseadas na atribuição de pesos e na conjugação de variáveis contextualizam-se no tempo e no espaço em uma situação específica, posto que todo fenômeno possui relacionamentos e não ocorre de modo isolado (Xavier-da-Silva, 1999; Moura, 2007). Assim, uma vez realizada nova análise, demanda-se rever o conjunto de variáveis e seus pesos.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de contribuir para a discussão de atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear das bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP), considerou-se que os procedimentos metodológicos adotados mostraram-se adequados, na medida que a espacialização das classes baixa, média a alta estão condizentes com a realidade e, portanto, a proposta pode ser utilizada em outras áreas de estudo, sendo que os pesos devem ser adaptados de acordo as características ambientais de cada área.

Dessa maneira, diante da dinamicidade e da complexidade das paisagens

e das bacias hidrográficas em estudo, considerou-se diferenças entre os pesos e ponderações de forma específica. No mais, além das variáveis relevo, declividade, solo, uso da terra e cobertura vegetal, tem-se a possibilidade de incorporação e de análise de outros aspectos em trabalhos futuros, como informações pluviométricas, do substrato rochoso e da curvatura da superfície, bem como dados socioeconômicos.

Por fim, os mapas de vulnerabilidade ambiental à erosão linear podem subsidiar projetos e políticas públicas de planejamento e gestão ambiental e territorial pelos órgãos governamentais responsáveis em conjunto com as comunidades locais e as universidades, uma vez que a perda de solo pela erosão pluvial acarreta processos de degradação, tais como prejuízos econômicos à população.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Processo 88887.200484/2018-00 e vigência de abril de 2019 à março de 2020, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), Processo Universal-00846/2018 e vigência de dezembro de 2018 à dezembro de 2020.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará.** 2010. 278 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2010.

ANDREU, V.; RUBIO, J. L.; CERNÍ, R. Effect of Mediterranean shrub on water erosion control. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 37, p. 5-15, 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 10<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ícone, 2017.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão com Técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís – MA.** 2011. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 146 p.
- CASTRO, H. F. R.; PEREIRA, E. D. Cartografia geológico-geotécnica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 750-759, 2012.
- CASTRO, T. C. S. de; SANTOS, F. R. B. dos. Diagnóstico ambiental da atividade de extração mineral classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos cachorros, São Luís – MA, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 6, n. 1, p. 67-76, jan./dez. 2012.
- CATUNDA, P. H. de A.; DIAS, L. J. B. da S. (Org.). **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE**. Etapa bioma amazônico. São Luís: IMESC, 2019. 493 p.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148.
- COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. de S. O uso da terra e a dinâmica hidrológica. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 59-73.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, dec. 1996.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FERREIRA, B. S.; FUSHIMI, M. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMA, XXXI, São Luís, 2019. **Anais [...]** São Luís: EDUEMA, 2019. p. 752-754.
- FOLHARINI, S. de O.; OLIVEIRA, R. C. de; FURTADO, A. L. dos S. Vulnerabilidade à perda de solo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba: contribuição para uma proposta de atribuição de peso. **Bol. Goia. Geogr. (Online), Goiânia**, v. 37, n. 2, p. 343-362, mai./ago. 2017.
- FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.
- FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. 2016. 199 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Fragilidade ambiental dos solos à erosão linear em setores de pastagem: estudo de caso em parte dos municípios de Presidente Prudente, Marabá Paulista e Presidente Epitácio, região do extremo Oeste do estado de São Paulo. **Terra Livre**, v. 1, n. 52, p. 625-657, jan./jun. 2019a.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Uso da terra e cobertura vegetal na dinâmica erosiva linear das áreas rurais do município de Presidente Prudente, estado de São Paulo. **Ambientes**, v. 1, n. 1, p. 128-145, 2019b.

**FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R.** Vulnerabilidade aos sulcos e ravinas em setores de gramínea de Presidente Prudente-SP como subsídio ao planejamento ambiental. **Geofronter**, Campo Grande, v. 8, p. 01-19, 2022.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R.; NAKAMURA, R. Y; TAKATA, L. T. O. Vulnerabilidade Ambiental e aplicação de técnicas de contenção aos processos erosivos lineares em áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 343-356, 2013.

FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C. de.; LISBOA, G. S.; FERREIRA, B. S.; SILVA, P. Z. F. da.; NUNES, J. O. R. Caracterização físico-química de solo raso a desenvolvido (associação Neossolo Quartzarênico) e solo hidromórfico (associação Gleissolo Háplico): o contexto ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís-MA. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 11, n. 1, p. 4-18, jan./jul. 2020.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. do C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, p. 27-41, fev. 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Relatório Técnico nº 131.057-205 – B1-1/189. São Paulo, 2012.**

KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; SALOMÃO, F. X.; GOUVEIA, M. I. F. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. **Rev. IG**, São Paulo, v. especial, p. 31-36, 1995.

LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca** – Campinas – São Paulo. 1995. 155 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

LEH, M.; BAJWA, S.; CHAUBEY, I. Impact of Land Use Change on Erosion Risk: An Integrated Remote Sensing, Geographic Information System and Modeling Methodology. **Land Degrad. Develop.**, v. 24, p. 409-421, 2011.

MARANHÃO. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense; Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário.** São Luís: SEMA. MMA. PNMA, 1998.

MORAIS, M. S. de. **Impactos socioambientais causados por processos erosivos em unidades de conservação: o caso do Parque Estadual do Bacanga, São Luís – MA.** 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

MOREIRA, E. S.; THOMAZINI, L. da. S.; NUNES, J. O. R.; FUSHIMI, M.; SANTOS, C. A. M. dos. Análise da ocorrência de feições erosivas lineares na Área de Proteção Ambiental (APA) do Timburi, Presidente Prudente (SP). **GEOGRAFIA**, v. 45, n. 1, jan./jun. 2020.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII, Florianópolis, 2007. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 2899-2906.

NUNES, J. O. R.; FUSHIMI, M. Mapeamento geomorfológico do município de Presidente Prudente-SP. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, III ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, I ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA E I ENCONTRO IBERO-AMERICANO DO QUATERNÁRIO, Recife, 2010. **Anais [...]** Recife: UFPE, 2010.

NUNES, J. O. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G.; AMORIM, M. C. C. T.; PERUSI, M. C. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Terra Livre**, v. 2, n. 27, p. 119-130, jul./dez. 2006.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 57-99.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 125-143, 2016.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; BARROSO, E. V. Caracterização de Voçorocas na Ilha do Maranhão. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 32, n. 1, p. 34-45, 2009.

SILVA, P. Z. F. da; FUSHIMI, M. Mapeamentos aplicados à Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) da bacia hidrográfica do rios dos Cachorros, Ilha do Maranhão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMA, XXXI, São Luís, 2019. **Anais [...]** São Luís: EDUEMA, 2019. p. 794-796.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, n. 93, jul. 2001.**

SUERTEGARAY, D. M. A. Epistemologia e autonomia da geografia brasileira aplicadas à análise das dinâmicas da paisagem? **Geografia, v. 44, n. 1, p. 159-171, jan./jul. 2019.**

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91 p.

VAN BEEK, R.; CAMMERAAT, E.; ANDREU, V.; MICKOVSKI, S. B.; DORREN, L. **Hillslope Processes: Mass Wasting, Slope Stability and Erosion**. In: NORRIS, J.; STOKES, A.; MICKOVSKI, S. B.; CAMMERAAT, E. L. H.; VAN BEEK, R.; NICOLL, B.; ACHIM, A. (Org.). Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions. Springer, 2008, p. 17-64.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Lageop, 1999. 15 p.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. **Erosão e assoreamento**. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 39-58.

## Contribuições de autoria

### 1 – Melina Fushimi

Universidade Estadual Paulista, Doutora em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-3682-4701> • fushimi.melina@gmail.com

Contribuição: Desenvolvimento teórico-conceitual, mapeamentos e trabalhos de campo

### 2 – Regina Célia de Oliveira

Universidade Estadual de Campinas, Doutora em Geociências e Meio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0002-3506-5723> • regina5@unicamp.br

Contribuição: Trabalhos de campo e análise dos dados

### 3 – João Osvaldo Rodrigues Nunes

Universidade Estadual Paulista, Doutor em Geografia

<https://orcid.org/0000-0003-3924-4056> • joao.o.nunes@unesp.br

Contribuição: Trabalhos de campo e análise dos dados

## Como citar este artigo

FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C. de.; NUNES, J. O. R. Atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear: estudo de caso nas bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 27, e71887, p. 1-25, 2023. Disponível em: 10.5902/2236499471887. Acesso em: dia mês abreviado. ano.