

ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO EM APPs DA BACIA DO RIBEIRÃO DO EMA EM ROLÂNDIA/PR

Jessica Mayara Siqueira Silva ¹
Marciel Lohmann ²

RESUMO

A erosão dos solos é um processo natural de suavização da superfície terrestre. Entretanto, quando somadas a ações antrópicas inadequadas, evoluem rapidamente, dando gênese à erosão acelerada, um dos principais agravantes da degradação ambiental. Tal processo é comandado por diversos parâmetros, como regime hídrico, características pedológicas, além do contexto geomorfológico, como formas de vertente e declividade, os quais podem ser quantificados e conjugados como suscetibilidade à erosão. Quando localizada em Áreas de Preservação Permanente (APPs), a alta suscetibilidade à erosão pode resultar em intensos níveis de degradação do solo, que comprometem o equilíbrio ecodinâmico e, por conseguinte, a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos. Por essa razão, análises que buscam mitigar o aumento da suscetibilidade à erosão em bacias hidrográficas se tornam cada vez mais necessárias em planejamentos ambientais. Nos últimos anos, o município de Rolândia/PR vivencia episódios marcados pela crise hídrica devido ao assoreamento e à diminuição da capacidade hídrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Ema (B.H.R.E). Diante deste cenário, este estudo analisou a suscetibilidade à erosão na B.H.R.E em APPs, mediante a adaptação do modelo de fragilidade ambiental, a partir de três variáveis-chave: declividade, formas de vertentes e tipos de solos, hierarquizadas conforme seu grau de suscetibilidade, somados ao mapeamento das APPs (Lei Municipal n.º 2.855/2001). Em ambientes SIGs, a análise espacial ocorreu utilizando os *softwares ArcGIS 10.8* e *QGIS 3.40.7*. Os resultados apontaram que 46% da área da B.H.R.E apresenta suscetibilidade média, associada a relevo ondulado, vertentes convexas, retilíneas e solos de textura média. Os 14% de suscetibilidade alta, concentram-se em áreas de declividade acentuada e próximas às APPs, aumentando o risco de transporte de sedimentos e assoreamento dos cursos d'água. A ausência de manejo adequado em áreas de pastagem e agricultura intensiva contribui para o aumento de processos erosivos, intensificados pela compactação do solo e ausência de cobertura vegetal. Conclui-se que estratégias de manejo sustentável, como terraceamento, revegetação de áreas degradadas e controle do uso do solo, aliadas ao cumprimento da legislação ambiental municipal vigente, são fundamentais para mitigar os impactos da erosão na B.H.R.E e preservar a qualidade dos recursos hídricos da região.

Palavras-chave: Suscetibilidade à Erosão, Geomorfologia Ambiental, SIGs, Conservação do Solo, Legislação Ambiental.

¹Mestra em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) e estudante de MBA em Engenharia de Software jessicasiqueira@usp.br;

²Professor Adjunto no Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), marciel@uel.br.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas configuram-se como sistemas integrados, pelos quais a dinâmica dos fatores físico-naturais interage com os processos socioeconômicos que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais, resultando em variáveis níveis de desequilíbrio e fragilidade ambiental (CHRISTOFOLETTI, 1999; ROSS, 2006; MARÇAL *et al.*, 2022).

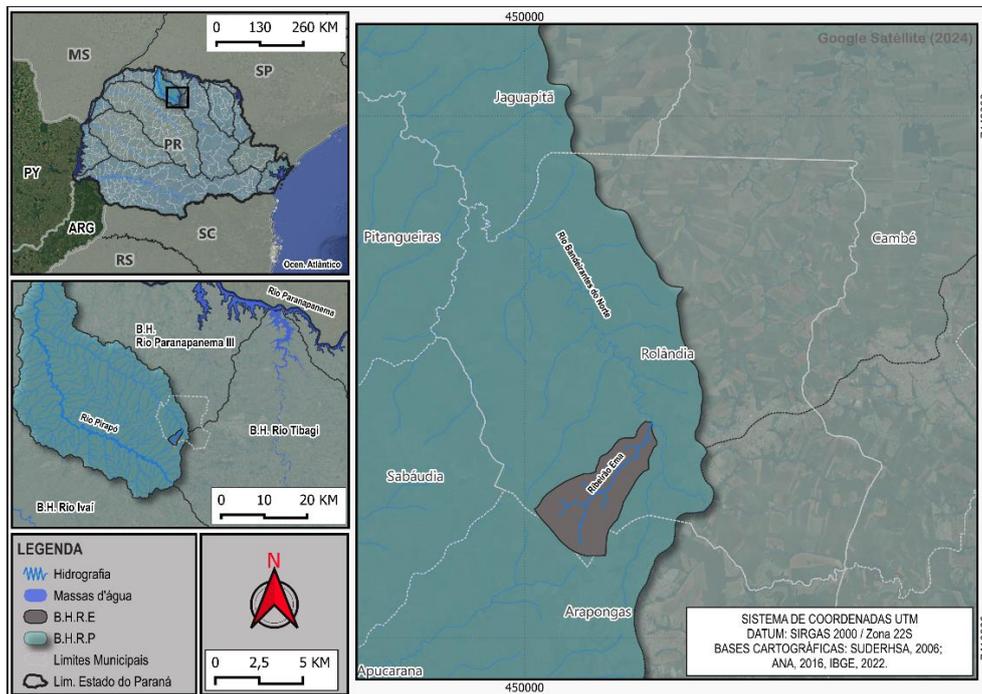
A intensificação da exploração dos solos brasileiros somados a ausência de práticas conservacionistas intensifica o desequilíbrio ecodinâmico, a degradação acelerada das vertentes, o aumento de processos erosivos, e consequentemente a diminuição de capacidade hídrica (TRICART, 1977; GUERRA *et al.*, 2020; FAO, 2022; PELLEGRINI e BARBOSA, 2023).

Devido a isto, a regularização das Áreas de Preservação Permanente (APPs) se tornou uma das principais estratégias conservacionistas ambientais, dado que a proteção de matas ciliares aumenta a estabilidade e o equilíbrio ambiental (RODRIGUES e LEITÃO FILHO, 2000; BRASIL, 2012). Em bacias hidrográficas, o solo constitui-se como recurso fundamental cuja conservação é essencial para a manutenção da funcionalidade ecológica, onde possui conexão direta com as APPs (GARDI *et al.*, 2015).

Diante deste cenário, esta pesquisa analisou a suscetibilidade à erosão em APPs na bacia hidrográfica do Ribeirão do Ema (B.H.R.E), localizada na porção sudoeste de Rolândia (Figura 1), fazendo parte da bacia do Rio Bandeirantes do Norte, que deságua no Rio Pirapó, grande afluente da bacia do Rio Paranapanema.

O Ema nasce próximo à divisa de Rolândia como município de Araçongas (23°22'14.94"S; 51°27'26.48"W), correndo no sentido nordeste, até encontrar o Rio Bandeirantes do Norte (23°18'26.50"S; 51°25'4.45"O). Quase a totalidade do percurso do rio (8,5 km) é cercada por propriedades rurais (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da B.H.R.E.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Estima-se que o município de Rolândia/PR possui atualmente cerca de 71.670 habitantes (IBGE, 2022), sendo que a grande maioria reside na área urbana e menos de 10% estão na área rural do município. Neste contexto, a B.H.R.E compõe o principal manancial de abastecimento da cidade, pelo qual vem sofrendo com crises hídricas (PARANÁ, 2019; SILVA, 2024).

A metodologia aplicada baseou-se na adaptação da análise empírica da fragilidade dos ambientes proposta por Ross (1994), por meio das variáveis-chave: declividade, formas de vertentes e tipos de solos, hierarquizadas conforme o grau de suscetibilidade da B.H.R.E. Tal análise foi conjugada à Lei Municipal n.º 2.855/2001 que estabelece os critérios para definição das APPs e a Deliberação n.º 01/2019 que trata sobre a classificação e análise de bacias hidrográficas locais e regionais (SILVA, 2024).

Os dados foram manipulados em ambientes SIG, mediante ferramentas presentes nos *softwares ArcGIS 10.8* e *QGIS 3.40*. A partir destas, foram geradas tabelas, produtos cartográficos e análises quantitativas sobre as áreas impactadas.

METODOLOGIA

O estudo de suscetibilidade à erosão ocorreu a partir da adaptação da metodologia da análise empírica da fragilidade dos ambientes proposta por Ross (1994). Para o autor, cada uma das variáveis do meio físico deveria ser hierarquizada em cinco classes conforme o seu grau de fragilidade, aqui considerada como suscetibilidade. Nesta lógica, as variáveis mais estáveis apresentariam valores mais próximos de 1,0, as intermediárias próximas de 3,0 e as mais suscetíveis estariam próximas de 5,0 (ROSS, 1994).

As variáveis escolhidas foram as seguintes: a) declividade, correspondente a inclinação da superfície do terreno em relação horizontal, por meio da relação entre a diferença de altura entre dois pontos com altitudes distintas, conforme o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2010); b) formas de vertentes, que segundo Christofolletti (1980), são geradas pela ampla variedade dos agentes internos e externos, transformadas em superfícies inclinadas, não horizontais; e c) tipos de solos, constituídos por camadas sólidas, líquidas e gasosas oriundas de materiais minerais e orgânicos (EMBRAPA, 2018).

Em ambiente SIG, por meio do *software ArcGIS* 10.8 houve o manejo e composição das relações destas três variáveis. Formando-se em análise de a suscetibilidade da área de estudo (Tabela 1).

Tabela 1: Demonstração das três variáveis.

Declividade: Suscetibilidade muito baixa (1) a alta (4)
Formas de vertentes: Suscetibilidade muito baixa (1) a média (3)
Solos: Suscetibilidade muito baixa (1) a média (3)

Fonte: Ross, 1995. Adaptação nossa.

A hierarquização dos graus de suscetibilidade ocorreu um conjunto de algarismos. Por conseguinte, o conjunto numérico 111 representa todas as variáveis favoráveis (suscetibilidade muito baixa) e o conjunto numérico 433 apresenta todas as variáveis desfavoráveis (suscetibilidade alta).

Depois, desenvolveu-se uma equação que considera um valor ponderado para cada variável em função do nível de influência de cada uma das variáveis no processo erosivo. A expressão utilizada para o cálculo final foi a seguinte:

$$S.E = (solos * P_{solos}) + (decl * P_{decl}) + (vert * P_{vert})$$

Atribuindo-se a seguinte ponderação para as variáveis:

Tabela 2: Valores para cada variável.

Variáveis	(%)
P. solo (solos)	20
P. decl (declividades)	55
P. vert (formas de vertentes)	25

Fonte: Ross, 1994. Adaptação nossa.

As tabelas 3, 4 e 5 apontam os pesos distribuídos para cada classe por variável considerada para o mapeamento e análise de suscetibilidade à erosão.

Tabela 3: Classes de suscetibilidade sobre a declividade.

Suscetibilidade	Declividade (%)	Valor
Muito baixa	0-3	1
Baixa	3-8	2
Média	8-20	3
Alta	> 20	4

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4: Classes de suscetibilidade sobre os tipos de solos.

Suscetibilidade	Declividade (%)	Valor
Baixa	Nitossolos	2
Baixa	Latossolos (textura argilosa e muito argilosa)	2
Média	Latossolos (textura média)	3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5: Classes de suscetibilidade das formas de vertentes.

Suscetibilidade	Declividade (%)	Valor
Muito baixa	Vertentes Convexas	1
Baixa	Vertentes Retilíneas	2
Média	Vertentes Côncavas	4

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os processamentos das informações espaciais ocorreram a partir da ferramenta “*Raster Calculator*” (*Spatial Analyst*), pertencente ao *software ArcGIS 10.08*, para a manipulação da equação apresentada e criação do *raster* de suscetibilidade à erosão.

Para sequência da análise, sob o *software QGIS 3.40*, houve a conversão do *raster* em *vetor* e, com isso, os cálculos das áreas de suscetibilidade à erosão para a B.H.R.E.

Como última etapa, houve o mapeamento das APPs pertencentes à B.H.R.E, com base na Lei Municipal n.º 2855/2001, Art. 31, que determina 100 metros de mata ciliar para cada lado dos percursos de córregos, ribeirões, lagos e veios d’águas, existentes no município (ROLÂNDIA, 2001).

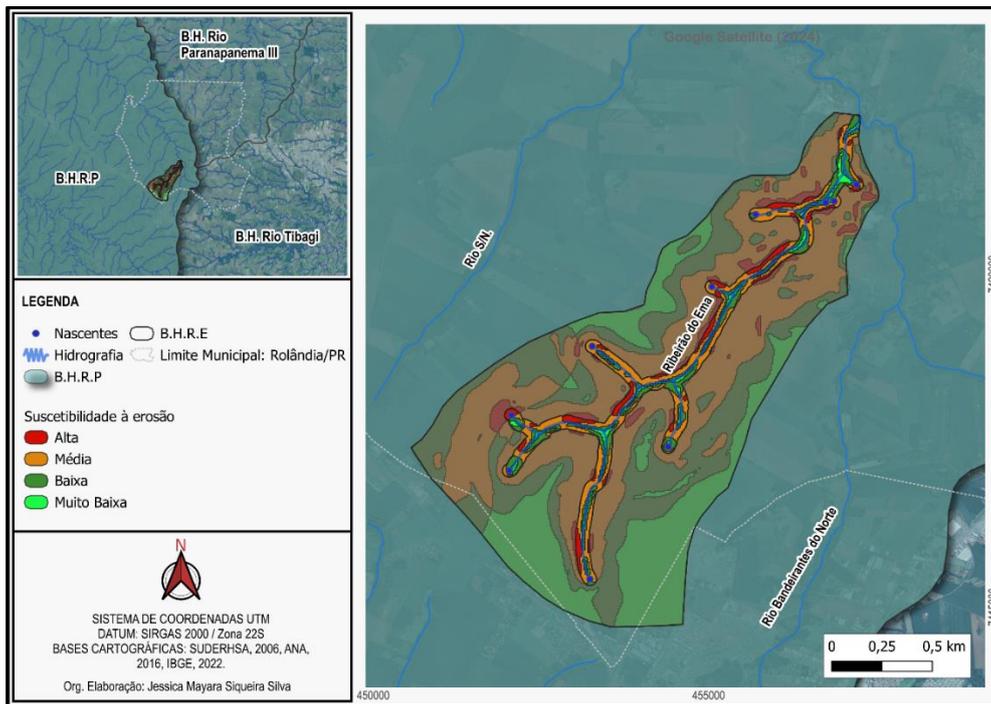
Tal mapeamento ocorreu com auxílio do *software QGIS 3.40* por intermédio da ferramenta “*Buffer*”. Depois, houve a sobreposição de camadas (*vetores*) de APPs com o *raster* de suscetibilidade à erosão.

Em seguida, a criação da nova camada (*vetor*), foram extraídas as áreas suscetíveis à erosão em APPs pertencentes a B.H.R.E. Por último, houve a elaboração do produto cartográfico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de suscetibilidade em APPs da B.H.R.E (Figura 2) mostra relação intrínseca com a geomorfologia predominante na área, marcada pela presença de relevo ondulado e vertentes convexas e retilíneas, sobre solos de textura média a argilosa. Nesse contexto, a integração de fatores morfométricos (declividade e formas das vertentes) com atributos pedológicos permitiu a delimitação de áreas com diferentes níveis de suscetibilidade à erosão, cujas espacializações demonstram forte coerência com aspectos morfoesculturais, conforme o mapa apresentado na Figura 2.

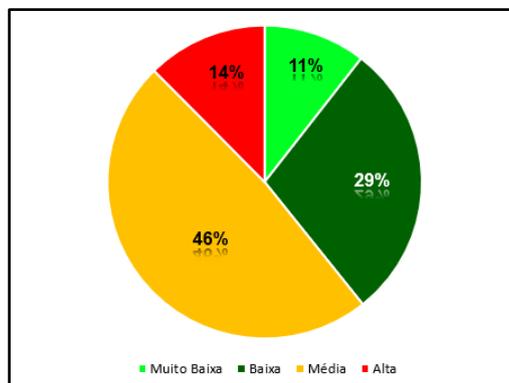
Figura 2: Mapa de suscetibilidade à erosão em APPs da B.H.R.E



Fonte: Elaborado pelos autores.

A B.H.R.E possui área de 23,55 km² e, segundo a Lei Municipal n.º 2855/2001, suas APPs devem ocupar 2,99 km² (Figura 2). Considerando as APPs, os dados adquiridos apontam os seguintes níveis e porcentagens de suscetibilidade à erosão: média, 1,39 km² (46%); baixa, 0,86 km² (29%); alta, 0,42 km² (14%) e muito baixa, 0,32 km² (11%). O gráfico da Figura 3, ilustra tais dados.

Figura 3: Porcentagens de cada classe de suscetibilidade à erosão em APPs na B.H.R.E



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apontam que a suscetibilidade média (46%) possui maior representatividade sob as APPs e, estão associadas à declividades entre 8% e 20%, acompanhadas por formas de vertentes convexas e retilíneas, evidenciando o distanciamento de divisores de água e a presença de fundos de vales.

Tais aspectos geomorfológicos, sob condições naturais, tendem a apresentar estabilidade relativa no processo morfodinâmico. Entretanto, o uso inadequado do solo e a ausência de cobertura vegetal fragilizam sua estabilidade superficial, favorecendo processos erosivos como erosões laminares e ravinamentos.

Áreas com alta suscetibilidade à erosão (14%) concentram-se em vertentes côncavas e retilíneas, associadas a relevo fortemente ondulado, apresentando elevado grau de suscetibilidade à erosão (Figura 2). Nestas áreas, a combinação entre a morfologia acentuada e a intervenção antrópica intensifica a atuação de processos erosivos, tais como sulcos, laminares e ravinamentos, especialmente em eventos extremos, por meio de chuvas intensas.

Nesse contexto, a ausência de manejo adequado, observada sobretudo em classes de uso do solo com pastagens e agricultura intensiva, altera de forma significativa a dinâmica morfogenética do sistema analisado. Somado a outras práticas como o pisoteio animal e o preparo inadequado de solos, comprometem a sua estrutura superficial, favorecendo a compactação e, conseqüentemente, reduzindo a infiltração da água, o que potencializa o escoamento superficial concentrado e instalação de processos erosivos do tipo lineares (Figura 4).

Agregado à teoria da ecodinâmica de Tricart (1977), a ação antrópica intensifica a dinâmica erosiva natural, promovendo desequilíbrio ecodinâmico. Tal dinâmica pode ser vista sob a APP da nascente principal, por meio da presença de sulcos erosivos e inícios de ravinamentos, resultantes da ausência de cobertura vegetal, exposição do solo e remoção da serrapilheira, reduzindo a proteção e contribuindo para a aceleração do escoamento superficial concentrado (Figura 4).

A imagem a seguir aponta a transição de um sistema ecodinâmico equilibrado para um não equilibrado, a perda da capacidade de autorregulação do sistema, a evolução de formas erosivas lineares e, conseqüentemente, o assoreamento da nascente e corpos hídricos (Figura 4).

Figura 4: Presença de processos erosivos em APPs.



Fonte: Acervo Projeto Águas do Ema, 2022.

Isto posto, estratégias de manejo regular, como terraceamento, revegetação de áreas degradadas e controle do uso do solo, concomitantes ao cumprimento da legislação ambiental municipal, são primordiais para mitigar os impactos por erosões aceleradas na B.H.R.E, e com isso preservar a qualidade dos recursos hídricos desta região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da suscetibilidade à erosão em APPs da B.H.R.E evidenciou que características geomorfológicas, aliadas ao manejo inadequado do solo, potencializam processos erosivos, comprometendo o equilíbrio ecodinâmico da área estudada.

Com isso, sobre as áreas de suscetibilidade média predominam o relevo ondulado com vertentes retilíneas e convexas, enquanto as de alta suscetibilidade concentram-se em vertentes côncavas e declividades acentuadas, favorecendo sulcos e ravinamentos.

Tais resultados, reforçam os conceitos de desequilíbrio ecodinâmico proposto por Tricart (1977) e fragilidade emergente descrita por Ross (1995) e Amaral *et al.* (2009), evidenciando a necessidade de práticas de planejamento ambiental e manejo regular como terraceamento, revegetação e controle do uso do solo, aliadas ao cumprimento da legislação ambiental. Sendo estes, atributos fundamentais para reduzir o transporte de sedimentos, conter o assoreamento de cursos hídricos e garantir controle ambiental da B.H.R.E.



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao *Projeto Águas do Ema* pela oportunidade de acesso à B.H.R.E, viabilizando trabalhos de campo que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Somo este reconhecimento ao Professor Dr. Marciel Lohmann, pelos ensinamentos, orientações e parceria ao longo deste estudo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Rosangela; ROSS, Jurandyr Luciano. As unidades Ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 13, n. 2, p. 59–78, 30 dez. 2009.

BRASIL. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: 2018-ISBN-9788570358004.pdf. Acesso em: 13 março. 2025.

BRASIL. **Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2012. Disponível em: <https://encurtador.com.br/OqW06>. Acesso em: 20 maio. 2025.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2.^a Edição, 177 p., 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1.^a Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher.1999, 236 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo**, 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/GKaS2>. Acesso em: 20 abril de 2025.

GARDI, C; ANGELINI, M; BARCELÓ, S; COMERMA, J; CRUZ CAISTARDO, C; ENCINA ROJAS, A; JONES, A; KRASILNIKOV, P. MENDONÇA SANTOS BREFIN, M. L; MONTANARELLA, L; MUNIZ URGARTE, O; SCHAD, P; VARA RODRÍGUEZ, M.I; VARGAS, R. **Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea**, L-2995 Luxembourg, 176 p.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; RANGEL, Luana de Almeida; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; LOUREIRO, Hugo Alves Soares; GARRITANO, Fabrízio do Nascimento. SOIL EROSION, DIFFERENT APPROACHES



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

AND TECHNIQUES APPLIED TO GULLIES AND TRAIL EROSION. *William Morris Davis*: *Revista De Geomorfologia*, 1 (1), 75–117. Disponível em: <https://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/16>. Acesso em: 20 maio. 2025.

MARÇAL, Mônica dos Santos; CASTRO, Adão Osdayan Cândido de; LIMA, Raphael Nunes de Souza. Geomorfologia fluvial e gestão dos rios no Brasil. In: CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de *et al.* (Org.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Selo Caliantra, 2022. v. 1, p. 240–264. ISBN 978-65-86503-85-2. Disponível em: <https://encurtador.com.br/B0Vji>. Acesso em: 20 maio. 2025.

PARANÁ. Deliberação n.º 01 CBH-Piraponema), de 17 de dezembro de 2019. Aprova os critérios de enquadramento, a proposta de atualização do enquadramento dos corpos de água da bacia hidrográfica do Pirapó, Paranapanema 3 e 4, bem como o Plano de Efetivação do Enquadramento. **Comitê das bacias do Rio Pirapó, Paranapanema 3 e Paranapanema 4**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/jn00n>. Acesso em: 20 abril de 2025.

PELLEGRINI, André; MORAES de CÉSARE BARBOSA, Graziela (editores). Manejo e conservação de solo e água: formação, implantação e metodologias. **Rede AgroParaná**, Curitiba, 2023. (PDF). Disponível em: Livro-Rede-AgroPesquisa_digital.pdf. Acesso em: 20 abril de 2025.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro e LEITÃO FILHO, H F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP.

ROLÂNDIA. Lei n.º 2855, de 12 de novembro de 2001. Fica pela presente Lei, criado o Código Ambiental do Município de Rolândia, que tem por objetivo preservação, a conservação e a recuperação da qualidade do meio ambiente no município. **Prefeitura do Município de Rolândia/PR**. 2001. Disponível em: <https://encurtador.com.br/CrO6P>. Acesso em: 10 maio. 2022.

_____. Plano Municipal de Saneamento Básico de Rolândia-PR. **Prefeitura do Município de Rolândia**, 2014.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63–74, 1994. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. Acesso em: 18 abril de 2025.

_____. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 9, p. 65–75, 1995. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/53692/57655>. Acesso em: 18 abril de 2025.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVA, Jessica Mayara Siqueira. Conflitos de uso da terra em APPs e suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Ema — Rolândia/PR. Dissertação (Mestrado



15^o SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

em Geografia). **Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2024.**

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1997, 97 p.

