

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE DOS PROCESSOS EROSIVOS APLICADA NA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ

A PROPOSAL FOR CLASSIFICATION OF THE LEVEL OF CRITICALITY OF EROSION PROCESSES APPLIED IN THE NORTHWEST REGION OF PARANÁ

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE CRITICIDAD DE LOS PROCESOS EROSIVOS APLICADOS EN LA REGIÓN NOROESTE DEL PARANÁ

LEONARDO JOSÉ CORDEIRO SANTOS ¹
CAROLINE GONÇALVES MANGUEIRA ²
JOSÉ GUILHERME DE OLIVEIRA ³

¹ Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR.
E-mail: santos.ufpr@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6382>

² Mestra pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR.
E-mail: carolinemangueira@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5467-6271>

³ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR.
E-mail: joseguilhermegeo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-2913>

RESUMO

Desde as primeiras ocupações a porção noroeste do estado do Paraná é afetada por erosões de grande proporção que têm causado problemas sociais, econômicos e ambientais a região. Grandes esforços foram utilizados por órgãos estaduais e federais na procura de soluções de engenharia para a estabilização do seu avanço, entretanto, as erosões continuam trazendo transtornos e prejuízos a sociedade nos dias de hoje. Nesse cenário, a elaboração de um sistema que permita identificar e classificar quais são as feições erosivas mais críticas e que envolvam maior risco a população no seu entorno se mostra necessário. Foram analisados 6 municípios na região, totalizando 12 erosões. O cadastramento dessas erosões foi a primeira etapa da pesquisa, seguido pela atribuição de valores dentro do sistema de classificação do nível de criticidade e finalmente a composição do sistema e a distribuição dos pesos. Os resultados mostraram que a diferença de pontuação entre a erosão mais e menos crítica foi significativa.

Palavras-chave. Erosões urbanas. Noroeste do Paraná. Criticidade.

ABSTRACT

Since the first occupations, the northwest portion of the state of Paraná has been affected by large-scale erosion that has caused social, economic and environmental problems in the region. Great efforts were used by state and federal agencies in the search for engineering solutions to stabilize its progress, however, erosions continue to bring inconvenience and damage to society today. In this scenario, the elaboration of a system that allows identifying and classifying which are the most critical erosion features and that involve greater risk to the population in its surroundings is necessary. Six municipalities in the region were analyzed, totaling 12 erosions. The registration of these erosions was the first stage of the research, followed by the attribution of values within the criticality level classification system and finally the composition of the system and the distribution of weights. The results showed that the difference in scores between more and less critical erosion was significant.

Key words. Urban erosions. Northwest of Paraná. Criticality.

RESUMEN

Desde las primeras ocupaciones, la porción noroeste del estado de Paraná se ha visto afectada por una erosión a gran escala que ha causado problemas sociales, económicos y ambientales en la región. Grandes esfuerzos fueron utilizados por agencias estatales y federales en la búsqueda de soluciones de ingeniería para estabilizar su avance, sin embargo, las erosiones continúan trayendo inconvenientes y daños a la sociedad actual. En este escenario, se hace necesaria la elaboración de un sistema que permita identificar y clasificar cuáles son los rasgos erosivos más críticos y que implican mayor riesgo para la población de su entorno. Se analizaron seis municipios de la región, totalizando 12 erosiones. El registro de estas erosiones fue la primera etapa de la investigación, seguida de la atribución de valores dentro del sistema de clasificación de niveles de criticidad y finalmente la composición del sistema y la distribución de pesos. Los resultados mostraron que la diferencia de puntuaciones entre erosión más y menos crítica fue significativa.

Palabras clave. Erosiones urbanas. Noroeste de Paraná. Criticidad.

INTRODUÇÃO

A mudança na paisagem se associa a uma ação contínua da natureza, moldada, sobretudo, pelos processos denudacionais e deposicionais. Alterações climáticas, ação tectônica ou influenciadas pelo homem, devem ser observadas na escala de tempo e espaço, e auxiliam na explicação de processos geomorfológicos que afetam as sociedades, como, por exemplo, as erosões.

Autores como Schum (1973, 1979), Campbell e Honsaker (1982), Bigarella e Mazuchowski (1985), Oliveira e Queiroz Neto (1993), Sidorchuk (1999, 2006) Chen et al. (2017), Han et al. (2021), Kathwas et al (2021) e Stefanuto et al. (2022) entendem que os processos erosivos lineares representam sinais de instabilidade geomorfológica e pedológica, seja por fatores naturais ou pela ação antrópica.

Diversos são os fatores causadores das erosões lineares, e na maioria das vezes o esse processo é resultado da retirada da cobertura vegetal natural, que pode ser seguido pela introdução de novas formas de uso e ocupação da terra, como as atividades agrícolas, construção de rodovias e ferrovias, e do surgimento/crescimento de cidades, que leva a impermeabilização do solo e a concentração das águas de escoamento superficial.

As erosões encontradas dentro das cidades não diferem daquelas situadas em ambiente sem pressão antrópica, no que diz respeito aos mecanismos que atuam para a sua evolução em diferentes escalas, temporais e espaciais. Todas derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer na superfície ou em subsuperfície (COELHO NETO, 1998).

Esses mecanismos são agravados a partir do momento em que o escoamento superficial se concentra e converge para o com mais rapidez e com maior volume de água para locais sem ou com pouca interferência antrópica.

Entende-se por processo erosivo urbano aquele deflagrado por ação das águas pluviais em áreas urbanas, ou seja, feições erosivas desencadeadas (ou aceleradas) pelo escoamento superficial provenientes dos sistemas de microdrenagem urbana, por fluxos concentrados (tubulações e galerias) ou não (IPT, 2012).

A urbanização, considerada uma das formas de uso da terra que mais acarretam alterações ambientais, causa diminuição da infiltração da água, com conseqüente concentração do fluxo e aumento da velocidade de escoamento das águas superficiais, colocando a segurança da população em alerta ao mesmo tempo que constitui em entraves para a expansão e desenvolvimento das cidades (FALCÃO e LEITE, 2018).

As erosões lineares presentes em áreas urbanas e periurbanas, ocorrem ao longo de todo o território brasileiro e afetam cidades de diferentes tamanhos. Inúmeros estudos apontam para o surgimento de novas erosões principalmente nas áreas periurbanas, principais locais de expansão das cidades (MATHIAS et al, 2020; FERREIRA, 2021; OLIVEIRA et al, 2021).

O Estado de São Paulo é o pioneiro no cadastramento de erosões urbanas e rurais no Brasil. Vários produtos voltados à caracterização do meio físico foram elaborados, com o intuito de identificar áreas com maior potencial ao desenvolvimento de processos erosivos e subsidiar ações do governo no sentido de controle do processo e gerenciamento das bacias hidrográficas.

O banco de dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) contava em 2012 com 1.398 erosões cadastradas em áreas urbanas e 39.864 em áreas rurais (IPT, 2012). Levando em consideração que essas áreas tendem a continuar a crescer esse número possivelmente seja maior atualmente.

No caso específico do noroeste do Paraná, a fragilidade dos solos tem papel preponderante no desenvolvimento dos processos erosivos, situação essa agravada pela maneira como foi implantado e ocupado os centros urbanos nessa porção do estado.

As cidades foram distribuídas sobre os divisores de águas – os espigões – e planejadas, em termos de traçado urbano, tendo o objetivo de facilitar a circulação de produtos. Inúmeras cidades do noroeste na década de 1950, menos de duas décadas após sua fundação, apresentavam graves problemas relacionados a processos erosivos em seu entorno.

A partir da década de 1960, teve início pelo governo do estado do Paraná, em parceria com os municípios, as primeiras políticas públicas de combate à erosão. Essas políticas envolveram desde estudos relacionados ao risco de erosão dos solos, até a elaboração, planejamento e execução de projetos técnicos com a finalidade de combater e controlar as erosões.

Apesar dos esforços empregados na tentativa de conter as erosões urbanas, algumas obras não obtiveram êxito, principalmente porque as feições erosivas eram mais complexas, envolvendo não apenas questões técnicas, mas também compreensão da dinâmica dos processos, que permitissem indicar a tipologia de obras mais adequadas.

Diante desse quadro, pode-se encontrar ainda hoje erosões ativas que datam da década de 1970, ou até mesmo erosões recentes dentro do perímetro urbano que ainda preocupam e demandam dos órgãos públicos constantes obras de reparo e contenção.

Nesse cenário, a elaboração de um sistema que permita identificar e classificar quais são as feições erosivas mais críticas e que envolvam maior risco a população no seu entorno se mostra necessário e premente.

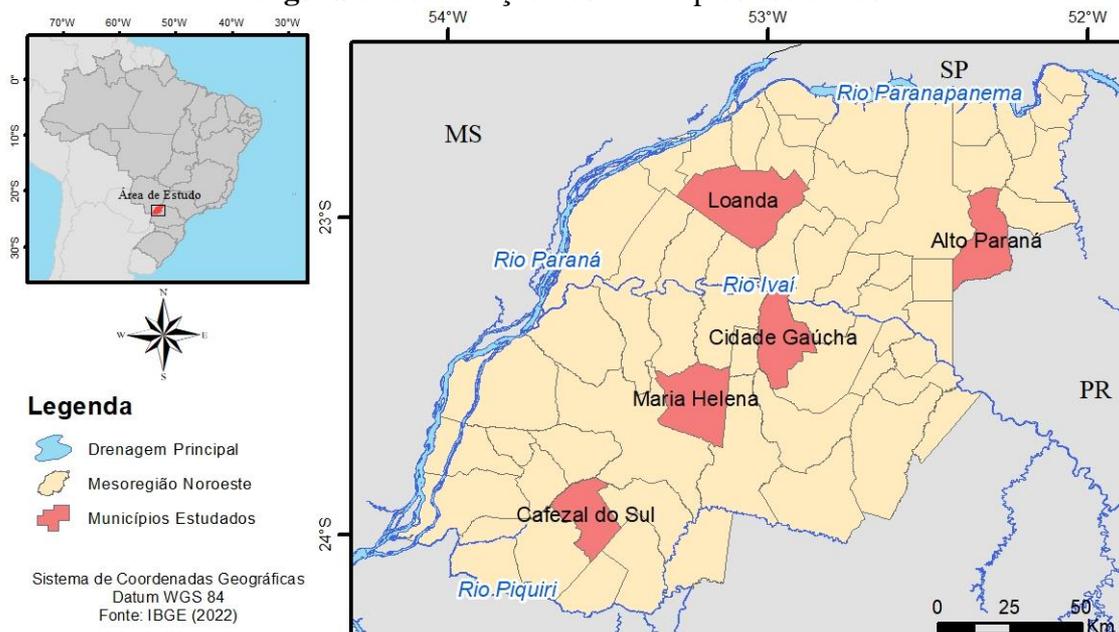
No presente estudo, criticidade foi considerada como sinônimo de risco instalado, conforme inicialmente apresentado pelo IPT/SP, onde se é avaliado o grau de perda e a probabilidade de ocorrência com base em evidências de campo. De acordo com a metodologia, a criticidade ou risco instalado representa uma possibilidade de ocorrência do processo erosivo passível de avaliação pelo histórico de casos ou evidências, o que possibilita extrapolação para previsão de eventos futuros com uma confiabilidade prática aceitável (BRESSANI e COSTA, 2015).

Foi usada como base para o presente estudo o sistema de classificação de Rubio (2014), adaptando seus parâmetros - e incluindo novos - para o enquadramento dos processos erosivos, por se tratar de um método especificamente utilizado para erosões em margens de reservatório.

No noroeste do Paraná, as erosões lineares continuam trazendo prejuízo a sociedade a ao meio ambiente. Sendo assim, uma classificação da criticidade das erosões encontradas nas áreas urbanas constitui ferramenta de grande importância para a gestão dos municípios. Assim, o objetivo geral da pesquisa foi propor uma classificação para definir o nível de criticidade dos processos erosivos lineares urbanos e periurbanos da região noroeste do Paraná.

As erosões selecionadas para o presente estudo se localizam nas cidades de Paranavaí, Loanda, Cidade Gaúcha, Alto Paraná, Cafezal do Sul e Maria Helena (FIGURA 1). Estas cidades se destacam pela presença constante de erosões lineares, em especial as voçorocas, que mesmo após obras para controlar seu avanço, continuam ativas.

Figura 1. Localização dos municípios estudados



Fonte: IBGE (2022)

Elaboração: os autores (2023)

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo apresenta formações sedimentares que integram a bacia Bauru (Cretáceo Superior). Segundo Fernandes et al, (2012), essa bacia foi formada por depressão desenvolvida por termomecânica, após a ruptura do continente gondwânico e a abertura do Oceânico Atlântico.

O relevo é caracterizado por planaltos escalonados, inclinados levemente em direção ao vale do rio Paraná, onde seus principais afluentes são os rios Paranapanema, Ivaí e Piquiri. As altitudes variam de 600 metros nas áreas próximas ao contato com o domínio da Formação Serra Geral até 300 metros nas margens do rio Paranapanema.

De acordo com o Mapeamento Geomorfológico do estado do Paraná (SANTOS et al, 2006), a região noroeste se caracteriza pela presença da unidade Planalto de Paranavaí, com baixa dissecação, topos aplainados, predomínio de vertentes convexas e vales em “V” aberto. As altitudes variam de 240 a 580 metros, com amplitude de 340 metros e declividades de 6% e da unidade Planalto de Umuarama, com média dissecação, com topos alongados e aplainados, predomínio de vertentes convexas e vales em “V”. Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 380 metros com altitudes variando entre 240 e 620 e declividades de 6%

Em relação às precipitações, estas são regularmente distribuídas, aumentando no sentido norte-sul, principalmente nas estações de inverno, outono e primavera. Os totais pluviiais anuais variam de 1300 a 1650 mm, com as maiores concentrações nos meses de verão, em que os valores oscilam entre 450 e 530 mm, em média.

Predominam solos de textura arenosa, entretanto, apesar dessa relativa homogeneidade textural, há distinção de duas classes de solos que se destacam na região: os Latossolos Vermelhos e os Argissolos Vermelhos. É possível encontrar Latossolos Vermelhos nos interflúvios, nos espigões longos e aplainados e vertentes com baixa declividade. Já os

Argissolos Vermelhos aparecem nas vertentes de média declividade, ou mesmo nos pequenos topos arredondados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estabelecer o nível de criticidade das erosões urbanas analisadas, foram definidos os procedimentos metodológicos da pesquisa, que podem ser divididos nas etapas apresentadas no fluxograma da figura 2.



Fonte. Os autores (2022).

A primeira fase do trabalho contou com a análise das imagens do banco de dados do Google Earth, disponíveis no período de 2002 a 2015. Foram avaliados todos os municípios da região noroeste do Paraná e identificados inicialmente 34 municípios com erosões urbanas, num total de 102 erosões. Deste total de municípios, 06 foram escolhidos para a presente pesquisa, tendo como critérios de seleção a dimensão das erosões e a sua proximidade com as casa e/ou equipamentos urbanos.

Na segunda etapa foram realizados trabalhos de campos e cadastramento das erosões selecionadas na etapa inicial. A terceira etapa se baseou na análise das fichas de cadastros das erosões e o seu enquadramento no sistema de classificação do nível de criticidade, por meio de atribuição de valores determinados.

Finalmente, foi analisada a correlação entre os valores obtidos dentro do sistema de classificação e a criticidade da feição. Quando o resultado foi positivo, o processo seguiu e a erosão foi classificada segundo seu nível de criticidade, do contrário, a terceira etapa foi refeita.

Cadastramento das erosões

O cadastramento das erosões urbanas possibilitou o estabelecimento de um plano preventivo e de obras de correção. O objetivo do cadastramento foi levantar informações mais precisas das erosões, a fim de permitir a determinação de suas possíveis causas, seu estado atual e de ações corretivas, sobretudo obras de engenharia, fornecendo também informações sobre o comportamento das feições erosivas urbanas, principalmente em relação à dinâmica do processo, dados estes fundamentais para a definição de critérios técnicos que possam subsidiar projetos para a sua contenção.

Nessa fase, foi realizado um levantamento das informações do meio físico existentes para a área pesquisada. Foram usadas imagens do banco de dados do Google Earth, disponíveis para a região, associada à análise das características do relevo e da drenagem disponíveis nas cartas topográficas do Instituto Água e Terra (IAT), na escala 1:50.000.

As imagens foram interpretadas buscando padrões geomorfológicos potencializadores de processos erosivos, principalmente as cabeceiras de drenagem. Esses são locais favoráveis para a existência de processos erosivos, pela tendência natural de concentração do fluxo superficial das águas pluviais e subsuperficial por meio de pelos lançamentos concentrados da água em tubulações que comumente chegam até à linha de drenagem.

As informações das erosões identificadas foram organizadas em uma ficha de cadastro, a fim de caracterizar os processos quanto à origem e forma de ocorrência, bem como relacioná-las aos principais condicionantes do meio físico. A Ficha Cadastral de Erosões Urbanas foi adaptada a região, levando em consideração propostas já utilizadas por outros autores e instituições de pesquisa (CETAE e LARA, 2010; SOPCHAKI e SANTOS, 2012; IPT, 2012).

Os dados quantitativos e qualitativos foram adquiridos nas etapas de gabinete e de campo. A ficha cadastral elaborada foi dividida em 6 partes: identificação e localização da erosão (foi preenchida com dados na etapa de gabinete e campo); dados regionais (etapa prioritariamente de gabinete pré campo, utilizando dados secundários); dados geométricos (etapa de campo); interação da erosão com a área urbana (etapa de campo, com o reconhecimento do entorno); previsões de evolução e nível de criticidade (etapa de gabinete pós campo, utilizando todas as informações coletadas); sugestões de medidas preventivas e corretivas (etapa de gabinete pós campo).

Para auxiliar o cadastro das erosões em campo, foi elaborado um croqui do uso do solo existente no entorno da erosão, cujo objetivo foi auxiliar no detalhamento da forma de ocupação e na visualização dos padrões de arruamento próximos as feições.

Esses detalhamentos, juntamente com as observações de campo, foram preponderantes para a análise da interação da erosão com a área urbana e possibilitar previsões de evolução e sugestões de medidas preventivas. Além disso, foi definido um ponto para cada feição erosiva no Google Earth Pro com o intuito de coletar o par de coordenadas UTM e transferi-las para um GPS de navegação e assim facilitar sua checagem em campo.

Atribuição de valores dentro do sistema de classificação do nível de criticidade

Para o presente trabalho foi usada como base o sistema de classificação de Rubio (2014), adaptando seus parâmetros - e incluindo novos - para o enquadramento de processos erosivos dentro de cidades do noroeste do estado do Paraná, por se tratar de um método especificamente utilizado para erosões em margens de reservatório.

Para a composição do sistema de classificação das erosões, foi elaborada uma matriz de análise dos critérios (fatores) de interferência na criticidade dos processos. Essa matriz foi composta por diferentes níveis de análise, cada qual com um grau de detalhamento diferente. Os pesos atribuídos a cada fator foram se decompondo à medida que os níveis de análise aumentavam. No último nível foram atribuídas notas para os parâmetros analisados em cada erosão cadastrada e aplicada a combinação ponderada linear, que indicam um ranking final.

Fatores de composição do sistema e distribuição de pesos

Para adequar o sistema de classificação foi necessário identificar os grupos de fatores que influenciam na análise da criticidade dos processos. O primeiro grupo foi denominado de “dificuldades de gestão”, relacionado às condições de localização da erosão e às dificuldades de implementação de medidas de controle ou recuperação da área degradada.

O segundo grupo foi denominado “características do processo”, em que se considerou as dimensões das erosões e o avanço delas.

Destaca-se que, diferentemente da metodologia original, onde os aspectos de gestão são os mais enfatizados, nesse trabalho optou-se por priorizar as características do processo. A escolha se deve à finalidade do sistema, em hierarquizar as erosões levando em consideração principalmente seus aspectos físicos. Por essa razão, o grupo “Características dos processos” recebeu peso de 60% enquanto o grupo “Dificuldades de gestão” recebeu peso de 40% (QUADRO 1).

Quadro 1. Apresentação dos fatores de influência considerados na análise de criticidade dos processos

Grupos de influência na criticidade	Pesos	Descrição
Características do processo	60%	Análise das características intrínsecas do processo que indiquem a magnitude do dano atual e a possibilidade de dano futuro, pela sua evolução.
Dificuldades de gestão	40%	Dificuldades de gestão do(s) processo(s) erosivo(s), pela iniciativa pública, decorrentes dos tratamentos internamente na prefeitura e na relação com os proprietários afetados por este impacto

Fonte. Adaptado de RUBIO (2014).

Cada grupo referente ao grau de influência na criticidade é composto por subgrupos. O QUADRO 2 descreve as características de cada subgrupo analisado bem como os pesos dentro do sistema de classificação. São apresentados dois pesos: o primeiro refere-se à distribuição do subgrupo dentro do seu grupo de análise (peso 1); o segundo refere-se à distribuição do subgrupo dentro de todo o sistema de classificação, incluindo os demais grupos (peso 2).

Quadro 2. Apresentação dos subgrupos de fatores de influência considerados na análise de criticidade dos processos

Grupos de Influência na criticidade	Subgrupos de interferência	Peso 1	Peso 2	Descrição
Dificuldades de gestão	Riscos ambientais ¹	35%	14%	Identifica possibilidade de desdobramentos em um novo impacto ambiental.
	Monitoramento do processo	25%	10%	Indica o nível de monitoramento do processo erosivo e se o mesmo se encontra em propriedade da prefeitura ou de terceiros.

¹ Neste trabalho, risco ambiental é entendido como o resultado entre os riscos naturais e os riscos de processos naturais serem agravados pela atividade humana e pela ocupação do território (DAGNINO e CARPI, 2007).

Grupos de Influência na criticidade	Subgrupos de interferência	Peso 1	Peso 2	Descrição
	Dificuldades no controle do processo/recuperação da área degradada	25%	10%	Com base nas ações identificadas, analisa as dificuldades de implantação das ações de controle dos processos e recuperação da área degradada.
	Ocorrência em área sensível	15%	6%	Identifica a ocorrência do processo em área sensível (unidades de conservação, faixas de servidão de obras públicas, áreas de lazer coletivas, estradas de ligação.) que exija a adoção de medidas específicas.
Características do processo	Taxa de evolução	40%	24%	Valoração da velocidade de evolução do processo erosivo.
	Dimensões do talude	20%	12%	Valoração das dimensões do talude (altura x extensão) de cada processo, com base nos dados do cadastramento realizado.
	Suscetibilidade a fatores instabilizadores	40%	24%	Análise da inclusão de cada processo nos aspectos ambientais identificados como fatores mais susceptíveis à instabilização.

Fonte. Adaptado de RUBIO (2014).

Após a conclusão da primeira etapa, foi construída a matriz para a atribuição de valores às erosões cadastradas (TABELA 1). Essa matriz apresenta os parâmetros de ponderação, que são os elementos considerados para avaliar a criticidade dos processos em seu último nível de análise, os pesos a serem atribuídos e as notas possíveis de atribuição para cada elemento de análise.

Tabela 1. Matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade

GRUPOS DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE		SUBGRUPOS DE INTERFERÊNCIA		PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO DOS FATORES DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE DOS PROCESSOS				
Dificuldades de gestão	40%	Riscos ambientais	35%	14%	Existe risco do processo denudacional, ou de suas consequências, ocasionar outro dano ambiental?	100%	0,14	1 – Risco não analisado 2 – Risco baixo 3 – Risco moderado 4 – Risco alto
					A erosão é objeto de monitoramento?	10%	0,010	0 – Não 2 – Sim
		Monitoramento do processo	25%	10%	O processo já afetou áreas de terceiros?	90%	0,090	1 – Não identificado 2 – Não, encontra-se em área da prefeitura 3 – Sim, já afeta áreas de terceiros
		Dificuldades no controle do processo/recuperação da área degradada	25%	10%	Há exigência de adoção de medida de controle específica?	100%	0,10	0 – Não 1 – Sim, por parte do demandante 2 – Sim, por exigência legal 3 – Sim, por restrições
		Ocorrência em área sensível	15%	6%	A erosão está localizada em alguma área sensível para a cidade?	100%	0,06	0 – Não 1 – Sim, porém não requer nenhuma medida técnica específica 2 – Sim, requerendo a adoção de medidas técnicas específicas
Características do processo	60%	Taxa de evolução	40%	25%	Qual a taxa média de evolução do processo?	100%	0,24	1 – Classe I 2 – Classe II 3 – Classe III 4 – Classe IV 5 – Classe V
		Dimensões do talude	20%	10%	Classificação das dimensões bidimensionais do talude originado pelo processo.	100%	0,12	1 – Classe I 2 – Classe II 3 – Classe III 4 – Classe IV 5 – Classe V
		Susceptibilidade à fatores instabilizadores	40%	25%	Classificação de enquadramento nas condições ambientais instabilizadoras (fatores de desenvolvimento) dos processos.	100%	0,24	1 – Classe I 2 – Classe II 3 – Classe III 4 – Classe IV

Fonte. Os autores (2022).

Os subgrupos de taxa de evolução e dimensões do talude, pertencentes ao grupo de características do processo e que são parâmetros de valoração objetiva, merecem atenção especial. Suas classes foram definidas baseadas nos valores levantados por Vanmaercke et al. (2016) na análise realizada em erosões hídricas lineares.

Os autores compilaram informações individuais das taxas de recuo de cabeceira de erosão – um dos principais parâmetros usados para o entendimento da sua evolução – de 933 erosões, representando 25 países em 6 continentes. Foram utilizados 68 estudos de fontes diferentes, onde a taxa de recuo de cabeceira de erosão foi estudada durante um determinado período. Um resultado direto desse estudo é que ele reflete uma ampla variedade de condições de ambientes ao redor do mundo (clima, uso da terra, relevo, litologia, vegetação, entre outros).

Para o parâmetro de taxa de evolução dentro do sistema de classificação, foram usados os valores correspondentes ao estudo de Vanmaercke et al. (2016) chamados de *linear retreat rates*, traduzido como taxa linear de retração, que mede a distância ao longo da encosta (m) sobre a qual a cabeceira da erosão retrai por unidade de tempo.

Para o parâmetro da dimensão do talude, foram empregados os valores chamados de *areal retreat rates*, traduzido como taxa de retração por área, que mede a expansão (m²) da cabeceira da erosão por unidade de tempo.

Com as informações organizadas em banco de dados, foram escolhidas as erosões com características semelhantes às encontradas nos municípios paranaenses analisados, ou seja, dentro de áreas urbanas, com pressão antrópica direta, solos arenosos e condições climáticas principalmente no que se refere ao regime de chuvas.

Com esses dados organizados, foram delimitadas cinco classes representativas das taxas de retração – tanto para a retração linear quanto para área, e aplicadas para os parâmetros de taxa de evolução e dimensão do talude respectivamente. Os valores foram mensurados a partir das fichas de cadastro e atrelados à classe correspondente.

Critérios de atribuição de valores

A matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade é apresentada até o nível de atribuição de pesos e valores (TABELA 1), porém, não ilustra os critérios para atribuir valor as cada erosões. Optou-se, então, em complementar a matriz com os critérios para o enquadramento do processo erosivo para todo valor atribuído aos parâmetros analisados (QUADRO 3).

Além dos critérios de valoração, o quadro também informa se o parâmetro analisado é de valoração objetiva ou subjetiva. Poderá ser verificado no quadro a definição de como enquadrar cada processo e a forma de obtenção das informações.

Esse quadro, portanto, é o último passo antes da classificação final da erosão e o seu enquadramento no nível de criticidade. O valor mínimo que uma erosão pode receber varia de 0,035 até 0,480.

Quadro 3. Apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos

PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO DOS FATORES DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE DOS PROCESSOS					
Fator de Interferência na Criticidade: Dificuldades de Gestão					
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Riscos ambientais					
Existe risco do processo erosivo, ou de suas consequências, ocasionar outro dano ambiental?	100%	0,00	1 – Risco não analisado		<ul style="list-style-type: none"> - Critério subjetivo. - Entende-se como dano ambiental decorrente dos processos geomorfológicos em análise o assoreamento de rios, o avanço da erosão sobre áreas de fragilidade e/ou uso especial. - Nesta análise são considerados os danos de ordem socioeconômica. - Para este caso não se trabalha com possibilidade de não existência do risco, dada a dificuldade de se identificar esta condição no ambiente.
		0,02	2 – Risco baixo	Quando não se verifica sinais de desencadeamento dos possíveis danos ambientais	
		0,05	3 – Risco moderado	Quando se verifica sinais de desencadeamento dos possíveis danos ambientais	
		0,07	4 – Risco Alto	Quando se verifica ocorrência consumada dos danos ambientais	
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Monitoramento do processo					
A erosão é objeto de monitoramento?	10%	0,01	0 – Não		<ul style="list-style-type: none"> - Critério objetivo - Entende-se como ações de monitoramento o cadastro do processo contendo, no mínimo: o registro do processo por meio de levantamento topográfico, fotografia aérea, imagem de satélite, imageamento laser por scanner, VANTS, ou outras formas de registro cartográfico; a análise da evolução do processo por meio de registros de diferentes períodos.
		0,00	1 – Sim		
O processo já afetou áreas de terceiros?	90%	0,00	1 – Não identificado		<ul style="list-style-type: none"> - Critério objetivo - O dado deve ser levantado na própria prefeitura da cidade afetada.
		0,03	2 – Não, encontra-se em área da prefeitura		
		0,06	3 – Sim, já afeta áreas de terceiros		
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Dificuldades no controle do processo / recuperação da área degradada					
Há exigência de adoção de medida de controle específica?	100%	0,00	0 – Não		<ul style="list-style-type: none"> - Critério objetivo / subjetivo - Quando há exigência do demandante ou exigência legal o critério é objetivo. - Quando as restrições são de ordem técnica trata-se de um critério subjetivo (disponibilidade de materiais para a execução da obra, custos de implantação e manutenção)
		0,02	1 – Sim, por restrições		
		0,03	2 – Sim, por parte da prefeitura		
		0,05	3 – Sim, por exigência legal		
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Ocorrência em área sensível					
A erosão está localizada em alguma área sensível para a cidade?	100%	0,00	0 – Não		<ul style="list-style-type: none"> - Critério objetivo / subjetivo - Medida extraída de dados cartográficos. - Entende-se por áreas sensíveis unidades de conservação, faixas de servidão de obras públicas, áreas de lazer coletivas, estradas de ligação.
		0,02	1 – Sim, porém não requer nenhuma medida técnica específica		
		0,04	2 – Sim, requerendo a adoção de medidas técnicas específicas		
Fator de Interferência na Criticidade: Características do processo					
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Taxa de evolução					
Qual a taxa média de evolução do processo?	100%	0,01	1 – Classe I	0 – 0,50 m/ano	<ul style="list-style-type: none"> - Critério objetivo - Classes estabelecidas a partir dos valores de GHR (VANMAERCKE, 2016).
		0,03	2 – Classe II	0,50 – 2,50 m/ano	
		0,04	3 – Classe III	2,51 – 4,00 m/ano	

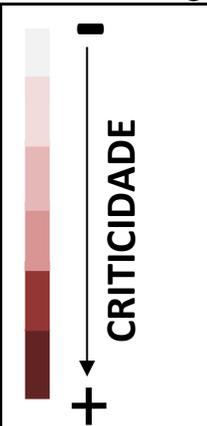
		0,06	4 – Classe IV	4,01 – 10,5 m/ano	
		0,10	5 – Classe V	>10,51 m/ano	
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Dimensões do talude					
Classificação das dimensões bidimensionais do talude originado pelo processo	100%	0,005	1 – Classe I	0 – 10 m ²	- Critério objetivo - Classes estabelecidas a partir dos valores de GHR (VANMAERCKE, 2016).
		0,010	2 – Classe II	11 – 100 m ²	
		0,025	3 – Classe III	101 – 550 m ²	
		0,030	4 – Classe IV	551 - 1000 m ²	
		0,050	5 – Classe V	> 1001 m ²	
Subgrupo do fator de interferência na criticidade: Susceptibilidade à fatores instabilizadores					
Classificação de enquadramento nas condições ambientais instabilizadoras (fatores de desenvolvimento) dos processos	100%	0,02	1 – Classe I	Nenhum enquadramento	- Critério objetivo - Refere-se ao enquadramento do processo em relação aos parâmetros que indicam maior predisposição de evolução da feição erosiva. - Esta análise deverá considerar para os parâmetros analisados os processos que se inserem na classe de maior predisposição à instabilização. - Fatores analisados: o processo se encontra em região com solos mais susceptíveis ao seu desenvolvimento rápido? Há presença de feições indicativas de avanço erosivo? Apresenta vegetação ao redor da cabeceira ou no seu interior? O sistema viário é adequado a terrenos de alta suscetibilidade à erosão? (IWASA e FENDRICH, 1998; OLIVEIRA, 1999).
		0,05	2 – Classe II	Enquadramento em um parâmetro crítico	
		0,07	3 – Classe III	Enquadramento em dois ou três parâmetros críticos	
		0,10	4 – Classe IV	Enquadramento em quatro parâmetros críticos	

Fonte. Os autores (2022).

RESULTADOS

As doze erosões urbanas objetos desse estudo foram classificadas conforme a matriz de ponderação do sistema de classificação do nível de criticidade e hierarquizadas, conforme o QUADRO 3 e as FIGURA 3 (A, B e C).

Quadro 3. Classificação das erosões conforme sua criticidade

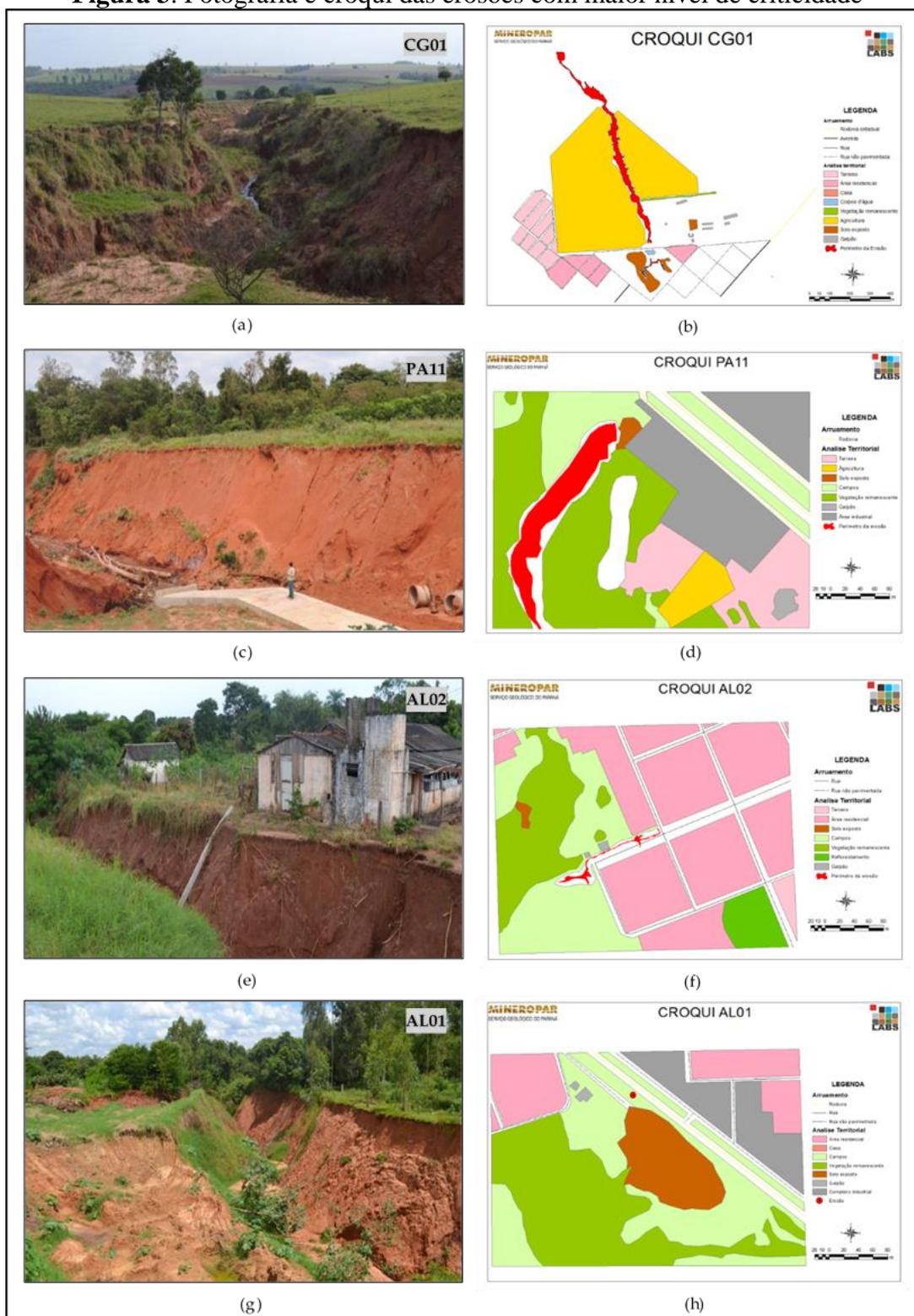
	Código da Erosão	Localidade	Soma Total
	LO03	Loanda	0,150
	MH03	Maria Helena	0,185
	CG02	Cidade Gaúcha	0,190
	MH02	Maria Helena	0,255
	CS02	Cafezal do Sul	0,275
	CS01	Cafezal do Sul	0,280
	LO02	Loanda	0,285
	PA05	Paranavaí	0,300
	CG01	Cidade Gaúcha	0,330
	PA11	Paranavaí	0,365
	AL02	Alto Paraná	0,370
	AL01	Alto Paraná	0,450

Fonte. Os autores (2022).

As duas erosões que receberam a maior pontuação dentro do sistema de classificação se encontram localizadas na cidade de Alto Paraná. A erosão AL01 chegou perto do limite da maior pontuação possível (0,450 de 0,480 pontos possíveis) e recebeu pontuação alta em todos os subgrupos de Dificuldade de Gestão. Sua taxa de evolução e dimensão do talude também receberam notas máximas.

As erosões AL01, AL02, PA11 e CG01 estão próximas ou afetaram diretamente áreas de terceiros (FIGURA 3). A observação no local evidenciou danos não apenas nos imóveis, mas também na infraestrutura urbana representada pelas obras de rede de esgoto, drenagem pluvial e pavimentação no entorno das erosões (FIGURA 3 C e D). Além dessas consequências, podem também ser citadas a redução patrimonial pela depreciação imobiliária e desestímulos a novos investimentos nas regiões afetadas. A erosão CG01, embora se desenvolva em área de agricultura, apresenta sua cabeceira próxima as áreas residenciais e de solo exposto, o que a coloca também como fator de risco a infraestrutura urbana.

Figura 3. Fotografia e croqui das erosões com maior nível de criticidade



Legenda: a) Fotografia erosão CG01; b) Croqui erosão CG0; c) Fotografia erosão PA 11; d) Croqui erosão PA 11; e) Fotografia erosão AL02; f) Croqui erosão AL02; g) Fotografia erosão AL 01; h) Croqui erosão AL01

Elaboração. Os autores (2023).

As erosões AL02, CG01, PA05, LO02, MH02, CG02 e LO03 ocorrem no terço médio das vertentes. Nesses setores os arruamentos são perpendiculares as curvas de nível provocando o escoamento mais rápido das águas das chuvas para a cabeceira das erosões. Dentre elas, as erosões PA05, MH02 e CG02 apresentam obras de dissipação pluvial destruídas ou em péssimo estado de conservação, enquanto as erosões AL02, CG01, LO02 e LO03 têm o agravante de se encontrarem ao final de vias longas e perpendiculares às curvas de nível, acelerando e concentrando o escoamento superficial das águas para a cabeceira de drenagem dessas erosões.

Quanto à localização, observou-se que AL01, PA11, CS02 e CS01 se situam na borda das estradas principais de acesso às cidades. As duas primeiras citadas, inclusive, nas margens da BR 376, rodovia federal pedagiada que é a principal ligação entre o Noroeste com o restante do estado e por onde ocorre grande parte do escoamento de produção da região com destino à capital ou à região portuária.

Essas erosões têm como principal característica a influência das obras realizadas pelas concessionárias que administram essas rodovias ou pelas secretarias de estrada e rodagem responsáveis por essas estradas.

As obras, na maior parte dos casos, são executadas de maneira correta, respeitando a topografia do local, entretanto, a falta de manutenção acaba por fragilizar essas construções, não sendo possível seu reparo quando o problema ainda é de fácil solução. Rachaduras, acúmulo de materiais dentro dos dutos e coletores, somados aos altos índices pluviométricos no período do verão, são responsáveis pela destruição das obras realizadas e surgimento ou agravamento de erosões ao longo das rodovias.

Ainda analisando as erosões do ponto de vista da localização, as erosões PA11, CG01, PA05, LO02, MH02, CG02, MH03 e LO03 estão nas áreas periurbanas das cidades.

Quando foram planejadas e implantadas no terço superior das vertentes, as cidades deveriam estabelecer áreas com vegetação densa, se possível ainda original, circundando a área urbana, protegendo as nascentes.

Essa proteção vegetal, chamada de cinturão verde, ajudou várias cidades a controlar o intenso processo erosivo desencadeado pela retirada total da vegetação – podemos citar as cidades de Nova Esperança e Cianorte que mantiveram seus cinturões verdes. Entretanto, a maior parte das cidades que implementaram o cinturão verde nas décadas de 1950 e 1960, o suprimiram, totalmente ou a maior parte dele, nas décadas seguintes, para expansão dos centros urbanos.

As obras para o escoamento das águas pluviais dos centros das cidades, foram instaladas após essa porção do relevo, protegidas anteriormente pelos cinturões verdes. Nessa nova conformação, as águas pluviais chegam nas galerias de dissipação e encontram um solo sem vegetação e suscetível à erosão.

CONCLUSÃO

A proposta de classificação do nível de criticidade para as erosões do noroeste do Paraná se mostrou válida e possível, e as adequações necessárias para a sua aplicação dependem do tipo de erosão a ser estudada e da quantidade de informações disponíveis.

Para alguns parâmetros analisados, a realização de levantamentos de campo é fundamental, como por exemplo, para checar se a erosão já atingiu áreas de terceiros ou se está em áreas da prefeitura. Outro fator que necessita de visita em campo é a análise de parâmetros críticos ao desenvolvimento da erosão. Por essa razão, a implementação da proposta em escala regional apresenta um custo financeiro alto, devido a necessidade do levantamento de informações em campo.

O modelo matricial para a análise da criticidade mostrou-se satisfatório e o sistema de pesos estabelecidos possibilitou uma análise hierárquica das erosões mais críticas. A matriz como está estruturada possibilita uma inclusão mais rápida dos dados e maior facilidade no processamento deles.

A diferença de pontuação entre a erosão mais crítica para a menos crítica é significativa, porém o enquadramento aos fatores instabilizadores que desencadeiam o crescimento dela – as feições indicativas de avanço – foi pontuada para todas as erosões analisadas. Evidencia-se, portanto, a necessidade de monitoramento para essas erosões e adequação das obras de engenharia realizadas com os propósitos paliativos aos condicionantes físicos do ambiente, a fim de evitar com que as erosões menos críticas evoluem ao ponto de se tornarem reais problemas ao município (gerando maior custo e dificuldade de controle e estabilização).

AGRADECIMENTOS

O trabalho foi desenvolvido com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado da terceira autora e do Governo do Estado do Paraná, financiador do projeto intitulado “Mapeamento dos processos erosivos em municípios do noroeste do Paraná: subsídios para um plano de gerenciamento de riscos”

REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: III Simpósio Nacional de Controle da Erosão, 1985, Curitiba. Anais.... Curitiba: ADEA/ABGE,1985.

BRESSANI, L. A.; COSTA, Eli Antonio da. Cartas Geotécnicas aplicadas ao planejamento territorial - alguns ajustes no instrumento. In: 15o.Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2015, Bento Gonçalves. Anais do 15o. CBGE. SÃO PAULO: ABGE, 2015.

CAMPBELL, I.A.; HONSAKER, J.L. Variability in badlands erosion; problems of scale and threshold identifications. In: THORN, C.E. (Ed). **Space and Time in Geomorphology**. London: George Allen & Unwin, p.59-79, 1982.

CHEN X. Y.; HUANG, Y. H.; ZHAO, Y.; MO, B.; MI, H. X.; HUANG, C. H. Analytical method for determining rill detachment rate of purple soil as compared with that of loess soil. **Journal of Hydrology**, v. 549, p. 236-243, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.065>

COELHO NETO, A.L. Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. (eds.) **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 3ª edição, 1998, p.93-148.

DAGNINO, R.; CARPI, S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. In: CLIMEP: **Climatologia e estudos da paisagem**, v. 2, p. 50-87, 2007.

FALCÃO, K. dos S.; LEITE, E. F. Avaliação do potencial natural à erosão hídrica na bacia do rio Nioaque. **Revista Georaguia**, [S. l.], v. 8, n. 3, 2018. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/7792>. Acesso em: 3 mar. 2022.

FERNANDES, L.A.; COUTO, E.V.; SANTOS, L.J.C. Três Morrinhos, Terra Rica, PR - Arenitos silicificados de dunas do Deserto Caiuá testemunham nível de superfície de aplainamento K-T. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S.; Berbert-Born, M.; Sallun filho, W.; Queiroz, E.T.; (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, Brasília, v. 2. p.69-84, 05 dezembro 2012.

FERREIRA, João Carlos Porcel. Evolução espaço-temporal de erosões lineares no município de Rio Claro/SP. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.7.2606. 2014. República Democrática do Congo. Acesso em: 26/01/2017.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.7.2606. 2014. Cidade Gaúcha - PR. Acesso em: 26/01/2017.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.7.2606. 2014. Romênia. Acesso em: 26/01/2017.

HAN, J.; LI, B.; LAN, G.; DONG, Y.; GE, W.; WANG, F. Mechanistic understanding of linear erosion under concentrated flow based on laboratory simulations. **Catena**, v. 207, 105708. p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105708>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2012 (Relatório Técnico nº 131.057-205).

KATHWAS, A. K.; PATEL, N. Geomorphic Control on Soil Erosion – a Case Study in the Subarnarekha Basin, India. **Polish Journal of Soil Science**, v. 54, n. 1, p. 1-24, 2021. DOI: 10.17951/pjss/2021.54.1.1

MATHIAS, D.N; LUPINACCI, C.M.; NUNES, J.O.R. Identificação dos fluxos de escoamento superficial em área de relevo tecnogênico a partir do uso de modelos hidrológicos em SIG. **Sociedade & natureza (UFU. ONLINE)**, v. 32, p. 820-831, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-49431>

OLIVEIRA, A.M.S.; QUEIROZ NETO, J.P. Erosão acelerada no Planalto Ocidental Paulista: desequilíbrio, descontinuidade e epiciclo. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: Departamento de Geografia – USP, 1993, p.461-463.

OLIVEIRA, A.K.M; ALVES, E.C; CARNEIRO, V.A. Evolução de processo erosivo linear em área urbana - o caso dos bairros shangri-lá e vila formosa (Anápolis/GO). **Revista Mirante**, Goiás, v. 14, n. 1, p. 87-102, 21 jan. 2021.

RUBIO, M.F. **Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios: Pesquisa e Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema,**

SP/PR). 255f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, L. J. C.; FIORI, C. O.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 7, p. 3-11, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>

SCHUM, S.A. Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. In: MORISAWA, M. (Ed). **Fluvial Geomorphology**. New York: State University of New York, p.299-310, 1973.

SCHUMM, S. A. (1979). Geomorphic thresholds: the concept and its applications. **Transactions of the Institute of British Geographers**, 485-515. <https://doi.org/10.2307/622211>

SIDORCHUK, A. Dynamic and static models of gully erosion. **Catena**, v.37, p.401-414, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00029-6)

SIDORCHUK, A. Stages in gully evolution and self-organized criticality. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.31, p.1329-1344, 2006. <https://doi.org/10.1002/esp.1334>

SOPCHAKI, C. H.; SANTOS, L. J. C. Metodologia de cadastro de erosões na Bacia do Rio do Meio, Pinhais-PR. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 147-161, maio/ago. 2012. <https://doi.org/10.5902/223649947341>

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M.; CARVALHO, F. FRANCOS, M. ÚBEDA, X. An evaluation of erosion in cuesta relief: São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, v. 398, 108049, P. 1-13, 2022: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108049>