

Aplicação de Geotecnologias na Espacialização da Perda de Solo na Bacia do Rio Gurguéia

DSc José Jeremias Fernandes de Oliveira
Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central

D.O.I.:

Resumo

A erosão hídrica constitui um dos principais processos de degradação ambiental em bacias hidrográficas submetidas à intensificação do uso agrícola do solo, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais. O presente estudo objetivou espacializar e analisar a perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia (BHRG), sul do estado do Piauí, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) integrada a geotecnologias em ambiente *Google Earth Engine* (GEE). Foram utilizados os fatores erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS) e cobertura e manejo do solo (CP), integrados por meio de álgebra de mapas. Os dados utilizados incluíram precipitação CHIRPS, modelo digital de elevação SRTM, mapas pedológicos e informações de uso e cobertura da terra do MapBiomias. Os resultados evidenciaram elevada variabilidade espacial da perda de solo na bacia, com maiores índices concentrados no Alto Gurguéia e no setor sul da BHRG, principalmente em áreas sob expansão agrícola e relevo mais dissecado. Aproximadamente 12% da área apresentou perdas superiores a $14,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, associadas à elevada erosividade pluviométrica, maior declividade e redução da cobertura vegetal. A integração da EUPS ao GEE demonstrou elevada capacidade para modelagem espacial em larga escala, permitindo identificar áreas prioritárias para conservação do solo e planejamento ambiental.

Palavras -chaves: Erosão do solo; Geoprocessamento; Planejamento ambiental.

Abstract

Water erosion is one of the main environmental degradation processes affecting watersheds subjected to agricultural expansion, compromising the sustainability of natural resources. This study aimed to spatialize and analyze soil loss in the Gurguéia River Watershed (GRW), southern Piauí State, Brazil, using the Universal Soil Loss Equation (USLE) integrated with geotechnologies in the Google Earth Engine (GEE) environment. The rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), topographic factor (LS), and cover-management factor (CP) were integrated through map algebra. The datasets included CHIRPS precipitation data, SRTM digital elevation model, pedological maps, and land use and land cover information from MapBiomias. The results revealed high spatial variability of soil loss within the watershed, with the highest rates concentrated in the Upper Gurguéia region and southern sectors of the basin, especially in agricultural expansion areas and dissected relief zones. Approximately 12% of the watershed presented soil losses exceeding $14.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, mainly associated with high rainfall erosivity, steeper slopes, and reduced vegetation cover. The integration of USLE and Google Earth Engine demonstrated high potential for large-scale spatial modeling, enabling the identification of priority areas for soil conservation and environmental planning.

Keywords: Soil erosion; Geoprocessing; Environmental planning.

INTRODUÇÃO

O processo erosivo acelerado pela ação antrópica e pelas mudanças climáticas demanda estratégias urgentes de conservação e recuperação. Como afirmam Dong e Liu (2026), o mapeamento regional é uma ferramenta essencial para ações eficazes no planejamento do uso racional do recurso solo.

Neste contexto, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é o modelo aplicado para a estimar a erosão laminar e em sulcos. A equação utiliza fatores relacionados ao clima, ao solo, à topografia e uso e cobertura do solo (Carrollo et al., 2024; kinnell 2010; Rocha, Nunes e Santos 2026). Mapas de EUPS permitem uma avaliação preliminar dos riscos de degradação do solo de uma região, subsidiando assim subsidiando a tomada de decisão quanto ao uso, práticas de manejo, conservação ou restrição do uso.

A geotecnologia na determinação da EUPS é uma ferramenta robusta para o mapeamento de áreas vulneráveis ao processo erosivo, podendo assim identificar áreas adequadas para construções urbanas e atividades agrícolas (Souza et al., 2025; Costa et al 2025). A erosão do solo pode ser estimada por meio da utilização de técnicas geoespaciais combinadas com o modelo de EUPS; (Carrola et al 2024; Yonas, Moges e Kendie 2024; Bekalo 2025; Francisco, 2025). A EUPS é uma ferramenta relevante para o planejamento e monitoramento de áreas com risco elevado de erosão, funcionando como subsídio tecnológico para a recuperação de áreas degradadas e para o uso e manejo sustentáveis do recurso natural solo. No entanto, os seus resultados devem ser analisados criteriosamente, pois, dependendo das bases de dados e da modelagem utilizadas, a EUPS pode não ser representativa da realidade.

Ao mensurar a perda de solo, diversos fatores são ponderados, os quais podem estar diretamente associados a ações antrópicas, como a cobertura e o uso da terra, além de práticas de manejo. Esses elementos geralmente são influenciados pela expansão agrícola e pela urbanização. Nesse contexto, Oliveira e Aquino (2022) destacam que, na Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia (BHRG), a antropização da paisagem reflete diretamente a expansão agrícola ocorrida nas últimas décadas. A intensificação dessa expansão no sul do Piauí, especialmente em áreas de Cerrado, tem aumentado a pressão sobre os recursos naturais, tornando necessária a identificação de áreas mais vulneráveis à degradação do solo.

Oliveira e Aquino (2021) alertaram para o grau de vulnerabilidade da BHRG a eventos erosivos de grande intensidade considerando apenas a declividade e a erodibilidade do solo. No entanto, a EUPS leva em conta, além da erodibilidade do solo e do relevo, a erosividade da precipitação, a cobertura do solo e a declividade associada ao comprimento da encosta. Embora estudos anteriores tenham analisado fatores como declividade e erodibilidade na BHRG, ainda são escassas as abordagens integradas que consideram simultaneamente os fatores climáticos, topográficos, pedológicos e de uso da terra por meio da EUPS em ambiente de processamento geoespacial de larga escala.

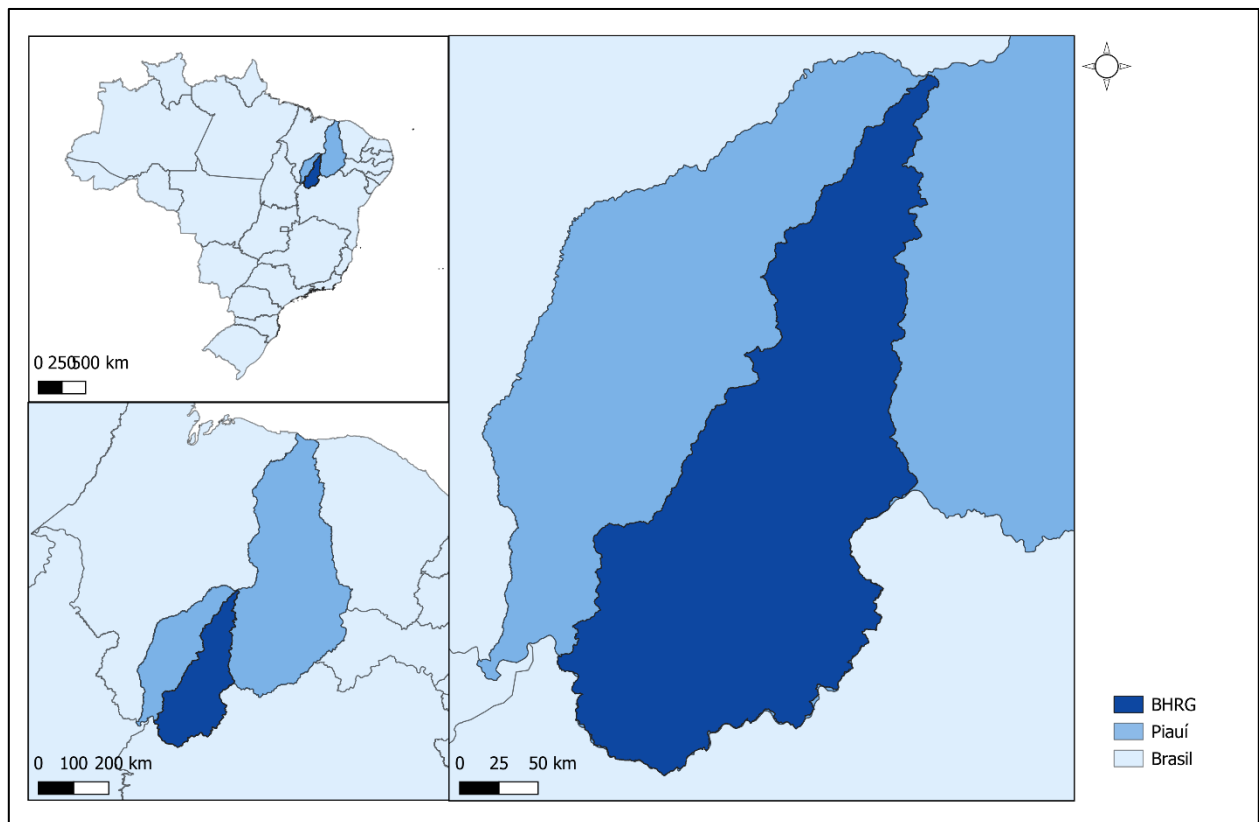
Por conseguinte, este estudo objetivou espacializar e analisar a dinâmica da perda de solo na BHRG por meio da integração dos fatores R, K, LS e CP da EUPS em ambiente Google Earth Engine, visando identificar áreas prioritárias para a conservação do solo e o planejamento ambiental. Diante da ausência de estudos integrados sobre perda de solo na BHRG utilizando modelagem espacial em larga escala, torna-se necessária uma abordagem que integre múltiplos

fatores ambientais e antrópicos para subsidiar estratégias de planejamento territorial e conservação do solo.

METODOLOGIA

O estudo abrangeu a BHRG (Figura 01), situada no sul do Estado do Piauí, contemplando 27 municípios em uma área total de 48.305 km². A região está delimitada pelas coordenadas latitude 06° 45' e 10° 55' sul e longitude 43° 10' e 45° 35' oeste. O clima é classificado como tropical quente, com estação seca definida no inverno e verão chuvoso (Aw, segundo Köppen), e a hidrografia é integrada pela bacia do rio Parnaíba.

Figura 01. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gurguéia.



A estimativa da perda de solo foi realizada por meio da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), conforme proposta por Wischmeier & Smith (1978). A modelagem foi executada na plataforma *Google Earth Engine*, o que permitiu o processamento de longas séries temporais de dados climáticos e topográficos.

A perda média anual de solo por unidade de área é calculada pela seguinte equação:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Onde:

A: perda média anual de solo anual média ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);

R: fator de erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

K: fator de erodibilidade do solo ($\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$).

LS: fator topográfico (adimensional);

CP: fator combinado de uso, manejo e práticas conservacionistas (adimensional).

2.1 Fator R (Erosividade da Chuva).

Utilizou-se o produto CHIRPS *Pentad* (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) para o período de 1991 a 2021. A erosividade foi estimada por meio do Índice de Fournier Modificado (MFI) proposto por Arnoldus (1977), e adaptado à realidade brasileira (Lombardi Neto & Moldenhauer, 1980):

I. Fournier Modificado (MFI)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

II. Adaptado para a realidade brasileira (Lombardi Neto & Moldenhauer, 1980)

$$R = 6,866 \times \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right)^{0,85}$$

Onde:

p_i = precipitação média mensal (mm)

P = precipitação média anual (mm)

1.1 Fator K (Erodibilidade do solo).

O fator K foi atribuído por meio de referência taxonômica, incluindo valores de suscetibilidade à erosão dos tipos de solo presentes na BHRG

Tabela 01. Coeficientes de erodibilidade (Fator K) e níveis de suscetibilidade para as classes de solo.

Classe de Solo	Fator K ($\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	Susceptibilidade à Erosão
NEOSSOLO	0,040	Muito Alta
PLANOSSOLO	0,035	Alta
LUVISSOLO	0,032	Alta
CAMBISSOLO	0,028	Média

VERTISSOLO	0,026	Média
PLINTOSSOLO	0,025	Média
ARGISSOLO	0,024	Média
GLEISSOLO	0,020	Média
NITOSSOLO	0,015	Baixa
LATOSSOLO	0,013	Muito Baixa

A espacialização do Fator K foi realizada por meio da reclassificação do mapa de solos utilizando o método de substituição por valores de referência taxonômica (Wischmeier & Smith, 1978).

2.3. Fator LS (Fator Topográfico).

O fator LS foi calculado a partir do DEM (*Digital Elevation Model*) com resolução de 30 m. Utilizou-se o algoritmo de Moore & Burch (1986), que considera a área de contribuição de fluxo e a declividade:

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3}$$

Onde:

A_s = Área de contribuição unitária

θ = Ângulo de declividade

2.4. Fator CP (Uso e Manejo da Terra).

No modelo, o fator CP foi atribuído com base nos valores de reclassificação da Coleção 9 do MapBiomias (2022), conforme a proteção da cobertura vegetal.

Tabela 02. Atribuição dos fatores de uso e manejo da terra (Fator CP) baseada nas classes de cobertura do MapBiomias.

ID MapBiomias	Classe de Cobertura/Uso	Valor CP Atribuído	Grau de Proteção
3	Formação Florestal	0,01	Muito Alto
4	Formação Savânica	0,01	Muito Alto
12	Formação Campestre	0,20	Médio-Alto
15	Pastagem	0,20	Médio-Alto
18	Agricultura	0,70	Baixo

21	Mosaico de Uso (Agropastoril)	0,50	Médio-Baixo
25	Outras Áreas Não Vegetadas	0,60	Baixo

O processamento foi realizado via interface de programação de aplicações de *JavaScript* do *Google Earth Engine*. O procedimento iniciou-se com a importação das coleções de dados dos *datasets* SRTM V3, MapBiomias Coleção 8 e CHIRPS. Na etapa seguinte, realizou-se a padronização espacial por meio da reamostragem de todos os dados para uma resolução comum de 30 metros, aplicando-se a técnica de interpolação bilinear para as variáveis contínuas (clima e terreno) e do vizinho mais próximo para as variáveis categóricas (uso do solo). Posteriormente, foram aplicadas funções matemáticas de álgebra de mapas para o cálculo individual de cada fator da EUPS. Por fim, realizou-se a multiplicação matricial desses fatores para a obtenção da perda de solo anual média, utilizando a equação $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$.

Após o processamento primário e a álgebra de mapas realizados na plataforma *Google Earth Engine*, os arquivos *raster* resultantes (fatores da EUPS e o mapa final de perda de solo final) foram exportados em formato GeoTIFF para o *software* QGIS 3.36.2, para a etapa de pós-processamento e composição cartográfica. No ambiente QGIS, as camadas foram organizadas em um banco de dados geoespacial sob o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG:31983), garantindo a precisão métrica das áreas calculadas.

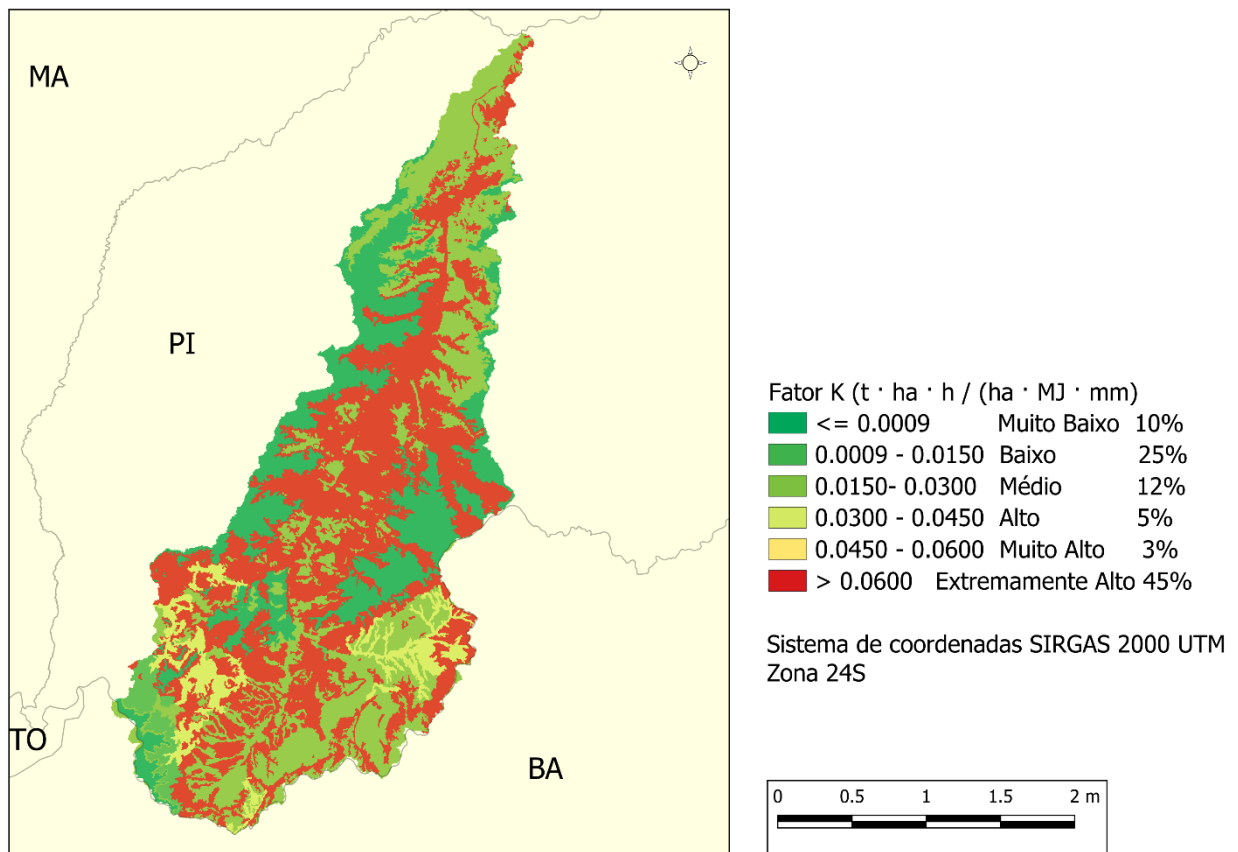
A análise de sensibilidade e validação do modelo foi realizada por meio da consistência cruzada entre as taxas de erosão estimadas e os dados da literatura regional para solos e climas semelhantes no Piauí. Adicionalmente, conduziu-se uma validação visual de fidelidade espacial, confrontando as áreas de alta vulnerabilidade identificadas pelo modelo com imagens de satélite de alta resolução (*Google Earth*), verificando a correspondência entre as zonas críticas e a presença real de solo exposto ou processos erosivos ativos na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A erodibilidade do solo pode ser definida como o grau de vulnerabilidade do mesmo quanto ao impacto das gotas de chuva, à erosão por escoamento superficial e aos efeitos combinados de ambos (Ma et al., 2025). Para Zhu et al. (2025), o fator erodibilidade do solo, quando bem inferido, é essencial para o desenvolvimento de um modelo preciso de erosão do solo.

A figura 02 demonstra que aproximadamente 45% da área da BHRG apresenta classe de erodibilidade classificada como extremamente alta, 3% como muito alta e 5% como alta. A BHRG apresenta um total de 53% da superfície com vulnerabilidade ao processo erosivo, em relação ao tipo de solo. Essa alta vulnerabilidade dos solos da BHRG está relacionada às classes de solos comuns na região, como Neossolos, Plintossolos e Argissolos.

Figura 02. Fator K da bacia hidrográfica do rio Gurguéia.

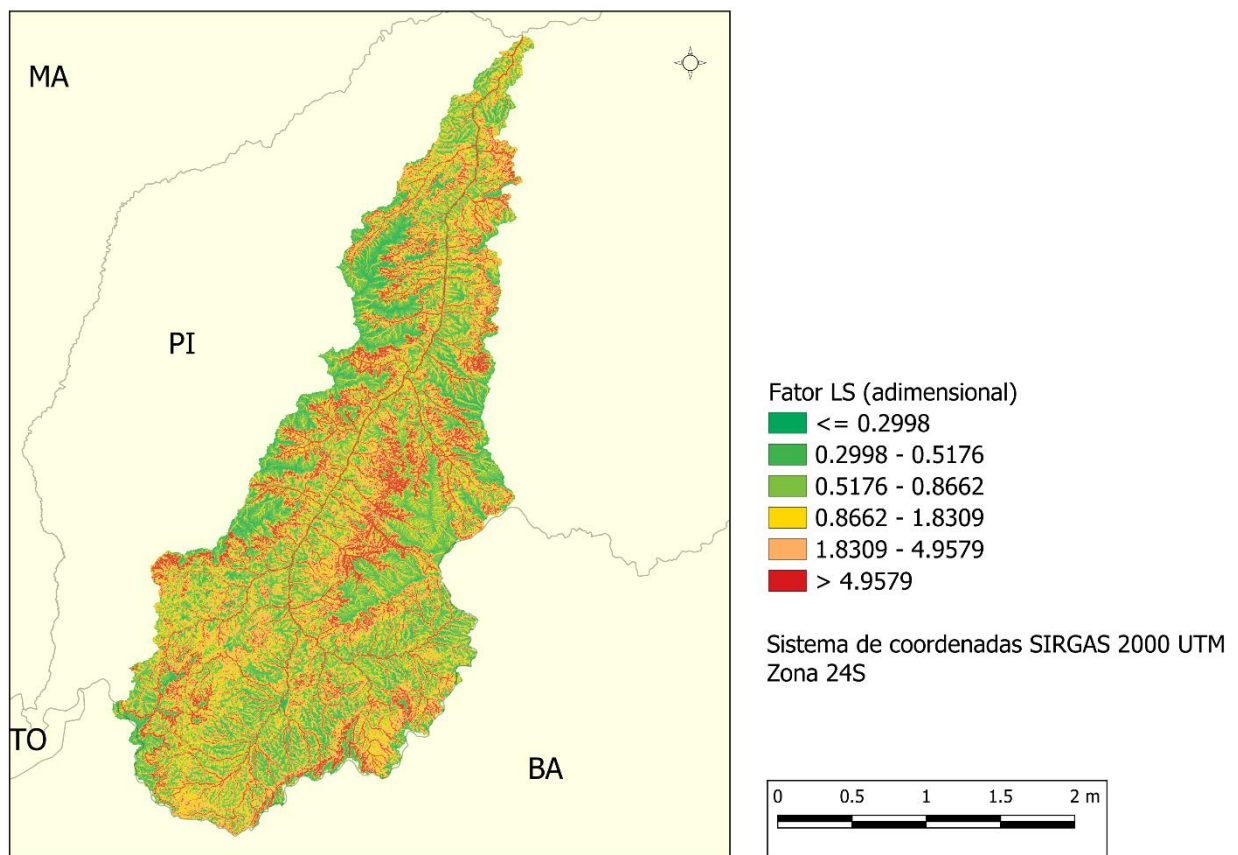


Estas classes de solo apresentam características intrínsecas em suas camadas ou horizontes que comprometem a infiltração. Solos com problemas de má drenagem favorecem o processo de erosão, pois o volume de água acumulada na superfície do solo tende a se mover, promovendo o transporte de partículas. Oliveira e Aquino (2021) ratificam a ocorrência de áreas com elevada erodibilidade do solo na BHRG. A suscetibilidade pedológica intrínseca da BHRG, caracterizada por 53% de solos com elevada erodibilidade, constitui uma vulnerabilidade estrutural ao processo erosivo. Essa condição é potencializada dinamicamente pela sazonalidade da erosividade das chuvas e pelas variações espaciais do fator de uso e manejo da terra, que determinam a magnitude da perda efetiva de solo efetiva.

A inclinação da encosta e o comprimento da encosta são fatores que potencializam o processo erosivo do solo (Yaun et al., 2024). De acordo com Zahabnazouri et al. (2026), ao analisar a topografia de uma área, é possível identificar pontos críticos de erosão, pois ela é um fator preponderante na EUPS.

A figura 03 demonstra que aproximadamente 22% da área da BHRG apresenta condição topográfica crítica, favorável ao processo de erosão. Isso decorre da presença de relevos fortemente ondulados (com declividade entre 20% e 45%), montanhosos (com declividade entre 45% e 75%) e escarpados (com declividade superior a 75%), todos associados ao comprimento da encosta.

Figura 03. Fator LS da bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



Segundo Duarte, Ferreira e Vitali (2023) e Almeida et al. (2024), declividades elevadas e extensas elevam o risco de erosão, especialmente quando associadas a cabeceiras de drenagem ou áreas de alto escoamento superficial. Ao analisar os fatores de erodibilidade e declividade na BHRG, Oliveira e Aquino (2021) consideraram o mapeamento da declividade foi considerado como uma ferramenta relevante para identificar áreas mais vulneráveis à erosão em função do relevo.

Na BHRG, o uso e a cobertura da terra configuram-se como variáveis de controle determinantes nos processos erosivos, principalmente em setores de topografia acentuada, pois a

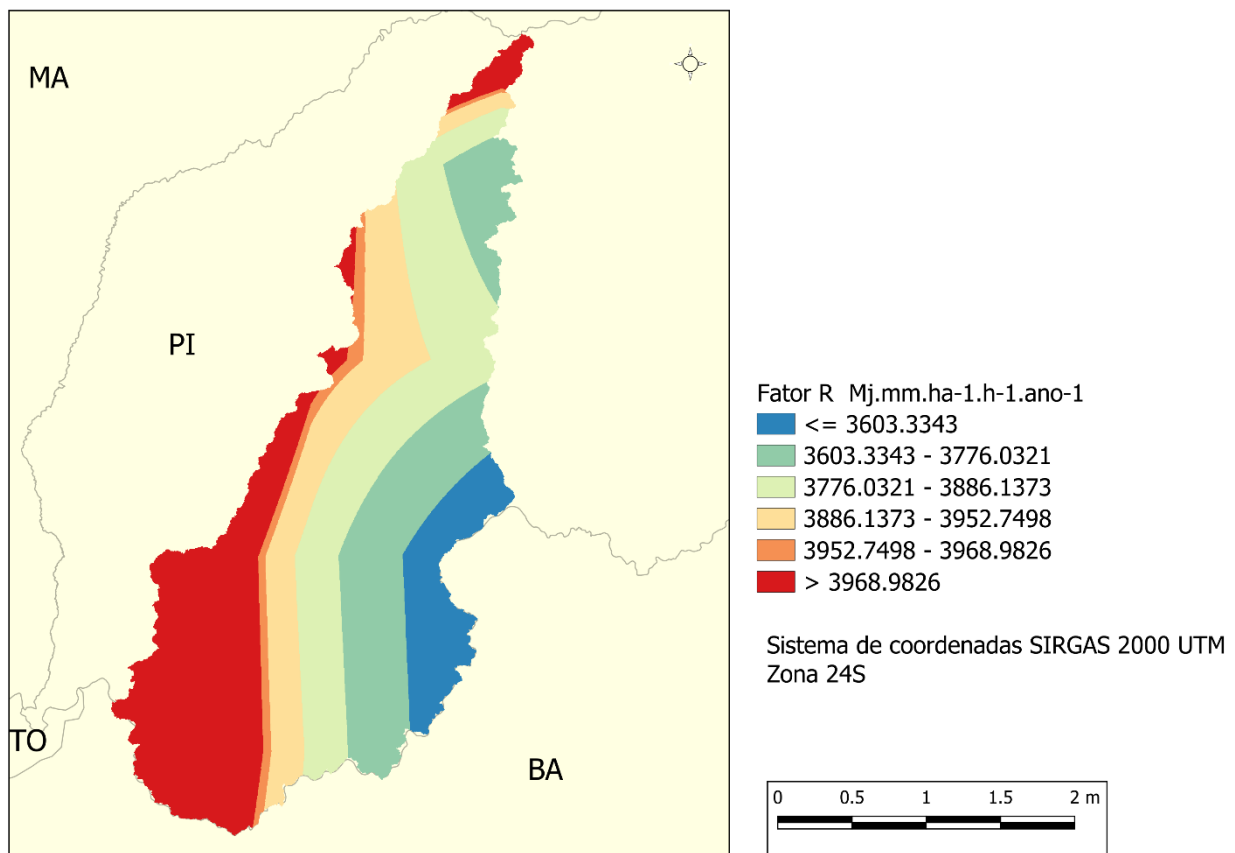
integridade da cobertura vegetal nativa atua como um mecanismo de dissipação da energia cinética das chuvas, neutralizando o potencial erosivo.

O fator erosividade determina o potencial erosivo da chuva, ou seja, o grau de severidade da condição climática no processo erosivo do solo (Hamouch, Chaaouan e Bouis, 2025; Thomaz, Marcatto e Antoneli, 2022). Dito isso, esse fator tem uma relevância mais significativa, na perda de solos, em regiões de climas tropicais, pois as precipitações tendem a ser intensas e concentradas. Embora o CHIRPS tenha ampla aplicação em estudos hidrológicos, sua resolução espacial e a dependência de interpolação pluviométrica podem introduzir incertezas na estimativa da erosividade em áreas com baixa densidade de estações meteorológicas.

Na figura 04, nota-se uma prevalência de valores intensos de erosividade na região do divisor de águas, extremo sul e oeste da BHRG. Morais e Salis (2017), ao estimarem o Potencial Natural de erosão dos solos no Alto Gurguéia, apresentam valores superiores a $5.171 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ratificando o potencial erosivo das chuvas na parte sul do BHRG. Já a leste e na parte do Baixo Gurguéia, o fator erosividade é de intensidade moderada a baixa.

Não obstante, ressalta-se que a BHRG está situada em dois biomas: o Cerrado (sul e oeste da BHRG), onde a erosividade é preponderantemente superior a $3,7 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a Caatinga (leste), em que o fator erosividade é moderadamente inferior.

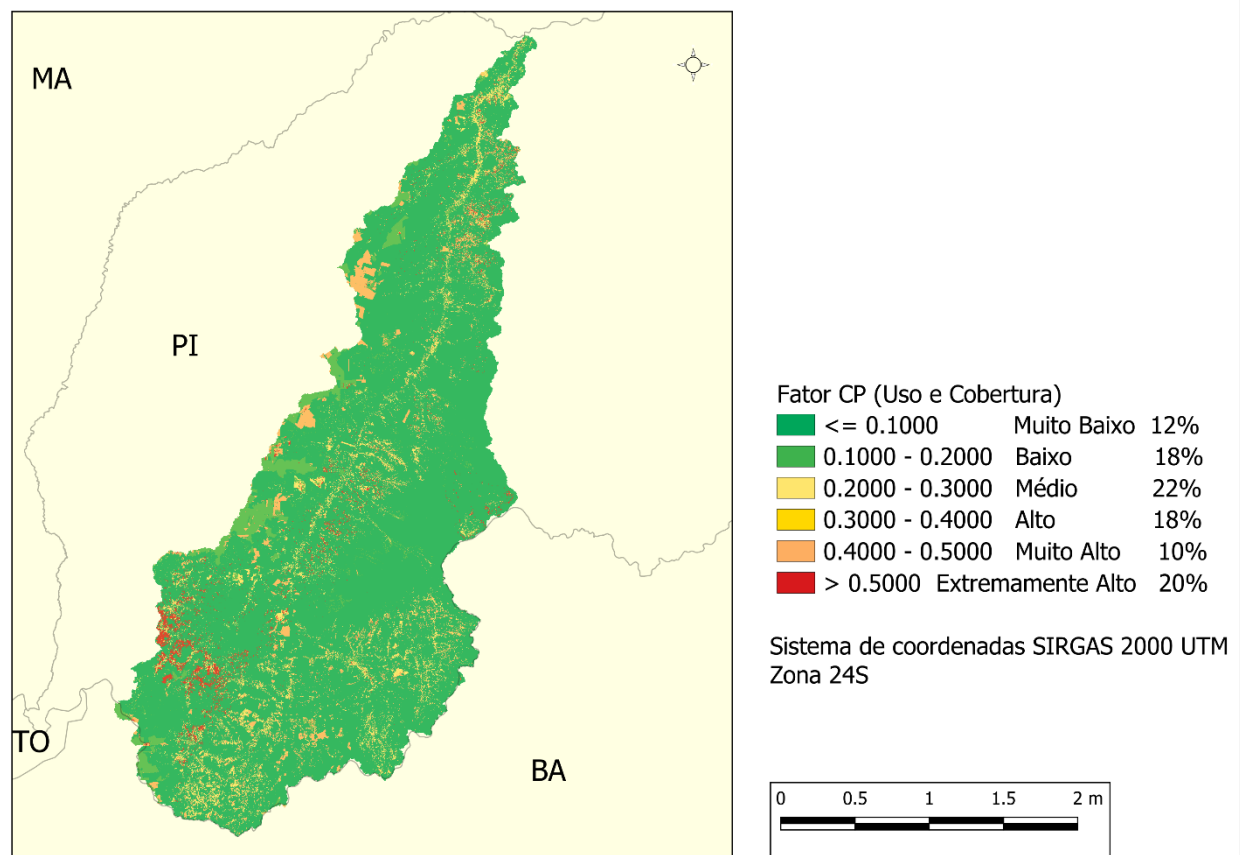
Figura 04. Fator R da bacia hidrográfica do rio Gurguéia



O componente vegetal é crucial no processo erosivo, pois regula a hidrologia da superfície, podendo evitar ou reduzir o escoamento superficial (Huai et al., 2026; Ali et al., 2026). Toledo (2023) ratifica a importância do fator uso e manejo da terra no processo erosivo como mecanismo de conservação e controle da erosão hídrica, especialmente em regiões tropicais. Esse fator possui abrangência expressiva na área da BHRG, já que 48% dela apresenta uso de intensidade de alta a extremamente alta.

Observa-se, na figura 05, uma predominância do uso mais intenso nas regiões Sul, Oeste e Exutório da BHRG, assim como na parte da BHRG presente no bioma Cerrado. Segundo Moura Neto et al. (2022), a vegetação nativa foi significativamente substituída por áreas de monocultura. As mudanças na paisagem natural pelo uso agrícola do solo têm corroborado para a ocorrência de níveis elevados do fator uso e cobertura do solo, o que tende a intensificar o processo erosivo.

Figura 05. Fator CP da bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



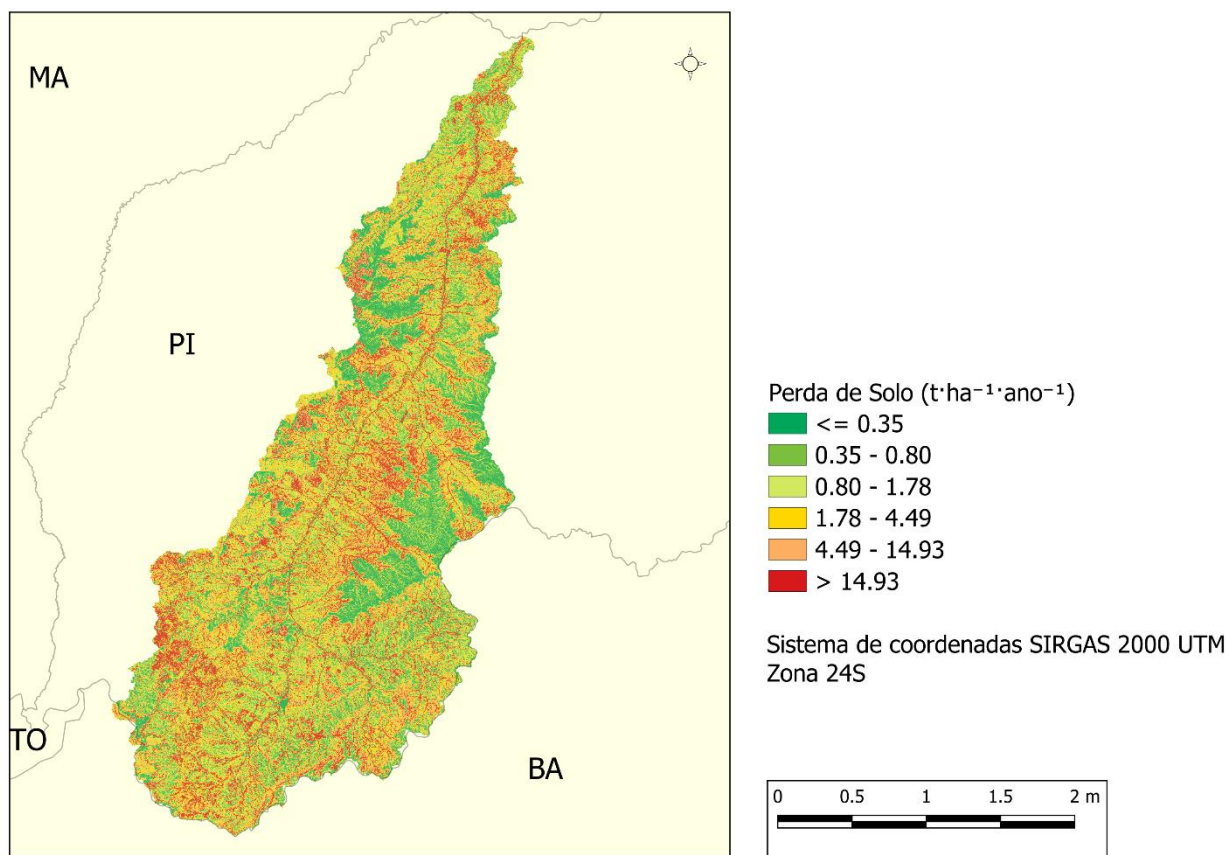
Estimou-se que 12% da BHRG tenha perda de solo superior a $14,9285 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e 30% tenham perdas superiores a $4,4902 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Figura 06). A perda de solo mais intensa ocorre de modo difuso em toda a BHRG; no entanto, há pontos críticos de perda de solo no Alto Gurguéia, no sul da BHRG e em seus afluentes. As perdas mais intensas decorrem da interação entre elevada

erosividade pluviométrica, expansão agrícola intensiva e relevo mais dissecado, indicando forte sinergia entre os fatores R, LS e CP.

Na região do Alto Gurguéia e no sul da BHRG, ocorre uma atuação mais intensa dos fatores erosividade e uso e manejo da terra, podendo ser atribuída à expansão agrícola, que atua como o principal gatilho para que fatores naturais resultem em taxas superiores a $14,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Nesta região verificam-se cultivos intensivos de culturas temporárias, os quais tornam o solo mais suscetível ao processo erosivo, logo sendo necessário o monitoramento e estudos quanto ao manejo adequado e à adoção de práticas conservacionistas do solo (Rocha e Magri 2022, Melo et al. 2023, Felipe 2023, Boroko et al. 2026).

Figura 06. Perda de solo na bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



Já ao longo dos afluentes nota-se maior intensidade dos fatores de erodibilidade do solo e da topografia. De acordo com Oliveira e Aquino (2021), isso deve-se à associação de classes de solos com suscetibilidade à erosão muito alta e à predominância de relevo do tipo suave ondulado (42,1%).

Ao confrontar os resultados com outras áreas do Cerrado, observa-se que os índices de perda de solo reportados por Rocha, Nunes e Santos (2026) e Alves et al. (2022) são superiores aos encontrados na BHRG, tanto em intensidade quanto em abrangência espacial. Essa discrepância justifica-se, primordialmente, por dois fatores: a maior agressividade climática nas áreas estudadas pelos referidos autores, onde a erosividade oscila entre 7.647 e 8.413 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹, e a consolidação mais antiga de monoculturas, que resultou em uma substituição mais severa da vegetação nativa em comparação com a dinâmica atual da Bacia do Rio Gurguéia.

A disparidade entre as taxas de perda de solo reflete o peso diferenciado dos componentes da EUPS em cada região. Na BHRG, a perda é condicionada pela suscetibilidade pedológica (erodibilidade), ao passo que, no estudo de Rocha, Nunes e Santos (2026), o potencial erosivo é maximizado pela interação entre erosividade severa e um fator de uso e manejo mais impactante.

Essa análise espacial permite identificar a BHRG em uma fase de risco ascendente, exigindo políticas de manejo preventivo para evitar a evolução aos estágios de degradação acelerada já observados nas bacias de comparação. Contudo, os resultados representam estimativas potenciais de perda de solo e devem ser interpretados considerando as simplificações inerentes à EUPS, especialmente no que diz respeito à representação exclusiva da erosão laminar.

CONCLUSÕES

A espacialização da perda de solo na BHRG evidenciou que os maiores níveis de vulnerabilidade erosiva se concentram em áreas de intensa expansão agrícola, especialmente no Alto Gurguéia e no setor sul da bacia, onde a interação entre elevada erosividade pluviométrica, relevo dissecado, suscetibilidade pedológica e redução da cobertura vegetal potencializa os processos erosivos. Os resultados indicam tendência de intensificação da degradação ambiental nas áreas de avanço da fronteira agrícola do MATOPIBA, reforçando a necessidade de estratégias integradas de manejo conservacionista e ordenamento territorial.

Os produtos gerados possuem aplicabilidade direta no planejamento ambiental regional, subsidiando ações de recuperação de áreas degradadas, definição de zonas prioritárias para conservação do solo e implementação de práticas agrícolas sustentáveis. Entretanto, as estimativas devem ser interpretadas considerando as limitações inerentes à EUPS, especialmente quanto à representação exclusiva da erosão laminar, à ausência de validação direta em campo e às incertezas associadas às bases cartográficas e climáticas utilizadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. et al. Geospatial analysis and revised universal soil loss equation (RUSLE) modeling for soil erosion assessment in tropical watersheds. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 30, 100788, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100788>.

BESKOW, S. et al. Soil erosion risk assessment in Sub-Saharan Africa: a systematic review. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 12, n. 1, p. 15-31, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.005>.

COSTA, R. M. et al. Aplicação da EUPS na análise da vulnerabilidade erosiva em áreas agrícolas do Cerrado brasileiro. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 3, p. 1-15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n3-041>.

DONG, J.; LIU, Y. Improving regional soil erosion assessment accuracy by integrating the oblique cross-slope tillage subfactor. *Geography and Sustainability*, v. 7, n. 1, p. 100454, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2026.100454>.

DUARTE, A. C.; FERREIRA, C.; VITALI, G. Modelação da topografia do terreno e simulação da erosão hídrica numa pequena bacia hidrográfica com uso agroflorestal. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 46, n. 4, p. 343-354, 2023. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.33350>.

FELIPE, A. J. B. The agricultural, environmental, and rehabilitation impacts of soil erosion in the Philippine economy: a walkaround review. *Soil Security*, v. 21, p. 100213, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100213>.

FRANCISCO, A. B. Estimativa de perdas de solo na bacia do rio Xingu. *Revista Ambientale*, v. 17, n. 2, p. 1-15, 2025. DOI: <https://doi.org/10.48180/ambientale.v17i2.635>.

HAMOUCHE, C.; CHAAOUAN, J.; BOUISS, C. E. Spatial-temporal assessment of soil erosion using the RUSLE model in the upstream Inaouène watershed, Northern Morocco. *Natural Hazards Research*, v. 5, p. 148-156, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.08.002>.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. *Journal of Hydrology*, v. 385, n. 1-4, p. 384-394, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 4, p. 95-99, 1980.

MA, J. et al. A study on soil erodibility and the applicability of estimation methods in Robinia pseudoacacia L. mixed forests on the Loess Plateau, China. *Catena*, v. 261, p. 109580, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109580>.

MAPBIOMAS BRASIL. Coleção 9: notas metodológicas e códigos de legenda. Projeto MapBiomass, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 maio 2026.

MARCIANO, A. G. et al. Curva-chave de vazões e sedimentos como ferramenta para a sustentabilidade hídrica do rio Sapucaí. *Revista Aproveito MG*, 2025.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 50, n. 5, p. 1294-1298, 1986. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de sistema de informação geográfica. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. esp. 1, p. 84-105, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Análise dos fatores de erodibilidade e declividade na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí, Brasil. *Terr@Plural*, v. 15, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.15.2116655.011>.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice de resiliência natural como recurso para planejamento e gestão na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia – Piauí. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 8, e202222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18764/2446-6549.e202222>.

REDA, Y.; MOGES, A.; KENDIE, H. Application of the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) for the prediction of sediment yield in Agewmaria experimental watershed, Tekeze River Basin, Northern Ethiopia. *Heliyon*, v. 10, n. 1, e35052, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35052>.

RENDANA, M. et al. Relationship between drought and soil erosion based on the normalized differential water index (NDWI) and revised universal soil loss equation (RUSLE) model. *Regional Sustainability*, v. 5, n. 4, p. 100183, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2024.100183>.

ROCHA, G. M.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. Modelagem da perda de solos no município de Silvânia – Goiás. *Para Onde!?*, v. 20, n. 1, p. 82-106, 2026.

ROCHA, L. B. O.; MAGRI, R. A. F. Predição da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos-MG. *Caminhos de Geografia*, v. 23, n. 87, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG238759130>.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de dados pedológicos e avaliação do fator K da USLE para o Brasil. 2005.

SOUZA, J. P. S. et al. Spatial modeling of forest fire risks in a watershed using remote sensing. *RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 19, n. 1, e08115, 2025. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-033>.

SOUSA, J. S. et al. Geotechnologies in the identification of areas suitable for the construction of underground dams in the Brazilian semiarid region. *Journal of Hydrology*, v. 662, p. 134017, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134017>.

STEINMETZ, A. A. et al. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica: fatores C e P. 2018.

THOMAZ, E. L.; MARCATTO, F. S.; ANTONELI, V. Soil erosion on the Brazilian sugarcane cropping system: an overview. *Geography and Sustainability*, v. 3, p. 129-138, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.05.001>.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: USDA, 1978. (Agriculture Handbook, 537).

YUAN, S. et al. Dynamic analyses of soil erosion and improved potential combining topography and socio-economic factors on the Loess Plateau. *Ecological Indicators*, v. 160, p. 111814, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111814>.



ZAHABNAZOURI, S. et al. Geomorphic impacts of wildfire on soil erosion: pre- and post-fire RUSLE modeling in Bosco Difesa Grande, Southern Italy, using Google Earth Engine. *Geomorphology*, v. 494, p. 110109, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.110109>.

ZHU, P. et al. Divergent driving mechanism of land uses on soil erodibility between different soil types in the ecological zone of Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Environmental Management*, v. 393, p. 127026, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127026>.