

EVALUATION OF METHODS FOR EROSION ESTIMATION USING GEOPROCESSING
IN A MICROBASINL.S. SOARES¹, P.W. BOHRER, M.A. PAIXÃO, M.C.A. SILVAUniversidade Federal do Rio Grande do Sul¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2481-7726>¹larissa.aguaesolo@gmail.com¹

Submetido 4 de novembro de 2023 - Aceito em 1 de dezembro de 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16380

ABSTRACT

Erosion represents a crucial challenge for sustainable land use planning, especially with increasing agricultural activity and changes in production methods. This process leads to higher susceptibility to soil erosion, resulting in productivity losses and environmental degradation. Therefore, assessment methods are essential. This study compares the Universal Soil Loss Equation (USLE) with the Embrapa Erosion Susceptibility Map, utilizing geospatial data and applying it at different watershed planning

scales. The objective is to assess and validate these methodologies, using satellite imagery to identify advanced erosive processes such as gullies.

The results indicate that the Susceptibility Map showed better correspondence with gully areas, while the USLE had some discrepancies, possibly due to its higher spatial resolution. However, it emphasizes the importance of on-site verification through field visits to complement model analyses.

KEYWORDS: Soil erosion, Geoprocessing, Universal Soil Loss Equation, Erosion Susceptibility Map, Satellite images.AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EROSÃO UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO EM MICROBACIA

RESUMO

A erosão representa um desafio crucial para o planejamento sustentável do uso do solo, especialmente com o aumento da atividade agrícola e mudanças nos métodos de produção. Isso leva a uma maior suscetibilidade à erosão do solo, resultando em perdas de produtividade e degradação ambiental. Portanto, métodos de avaliação dos processos erosivos são fundamentais. Este estudo compara a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) com o Mapa de Suscetibilidade à Erosão da Embrapa, ambos usando dados geoespaciais e aplicáveis em diferentes escalas de planejamento de

bacias hidrográficas. O objetivo é avaliar e validar essas metodologias, usando imagens de satélite para identificar processos erosivos avançados, como voçorocas.

Os resultados indicam que o Mapa de Suscetibilidade apresentou melhor correspondência com áreas de voçorocas, enquanto a USLE teve algumas discrepâncias, possivelmente devido à sua resolução espacial mais alta. No entanto, enfatiza-se a importância de verificar as condições no local por meio de visitas de campo para complementar as análises dos modelos.

Palavras chave: Erosão do solo, Geoprocessamento, Equação Universal de Perda de Solo, Mapa de Suscetibilidade à Erosão, Imagens de satélite

1 INTRODUÇÃO

A avaliação dos processos erosivos é essencial para um planejamento territorial adequado. A identificação de vulnerabilidades e desafios no processo de planejamento é crucial para garantir que as iniciativas futuras sejam econômica e ambientalmente sustentáveis no longo prazo. O intenso uso do solo atrelado ao desenvolvimento das práticas agrícolas, pecuária e mudanças nos métodos de produção levam ao aumento da suscetibilidade dos terrenos a sofrerem processos erosivos. Estes processos erosivos geram por consequência perda do potencial produtivo de culturas, perda de cobertura vegetal, assoreamento dos corpos hídricos além da inviabilidade de ocupação de territórios na ocorrência de processos erosivos avançados como as voçorocas.

A fim de avaliar a probabilidade de ocorrência dos processos erosivos em áreas de interesse para conservação, foram desenvolvidos modelos que diagnosticam áreas a partir de informações georreferenciadas relacionadas com as características da região. Cook (1936) foi um dos primeiros a formular um modelo de erosão, onde os fatores considerados foram erodibilidade do solo, erosividade da chuva e cobertura vegetal. Uma das metodologias mais empregadas é a USLE (Universal Soil Loss Equation), desenvolvida pelo DEA dos Estados Unidos (1954), que é aplicada a partir de interpolações de diferentes dados temáticos, muito empregada em estudos sobre perda de solo. Outra possibilidade de avaliação da erosão utilizando geoprocessamento é a partir do mapa de suscetibilidade à erosão gerado pela Embrapa Solos em 2020.

As metodologias de estimativa da erosão utilizando geoprocessamento viabilizam a realização de avaliações que não seriam possíveis na inexistência de levantamentos in loco. Ambas metodologias utilizam dados acessíveis e adquiridos nos tradicionais bancos de dados geográficos a nível nacional, possibilitando suas aplicações em diferentes escalas, se tornando assim, uma ferramenta de planejamento para a gestão territorial das bacias hidrográficas.

Este estudo tem como objetivo comparar os resultados da aplicação dessas metodologias e validá-las por meio de imagens de satélite que retratam processos erosivos avançados na bacia hidrográfica do rio Pará, Minas Gerais. O levantamento de campo foi realizado como parte do Programa de Conservação Ambiental e Produção de Água do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pará, contratado pela Agência Peixe Vivo em 2022, e realizado pela empresa Água e Solo Estudos e Projetos.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Carmo do Cajuru, em Minas Gerais, na microbacia do Ribeirão do Sapé situada na bacia hidrográfica do rio Pará. A microbacia abrange uma área de 2.600 hectares, tendo como principal rio, o Ribeirão do Sapé que deságua no reservatório artificial de Carmo do Cajuru, construído para geração hidrelétrica, formando o maior lago artificial da região Centro-Oeste de Minas Gerais. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

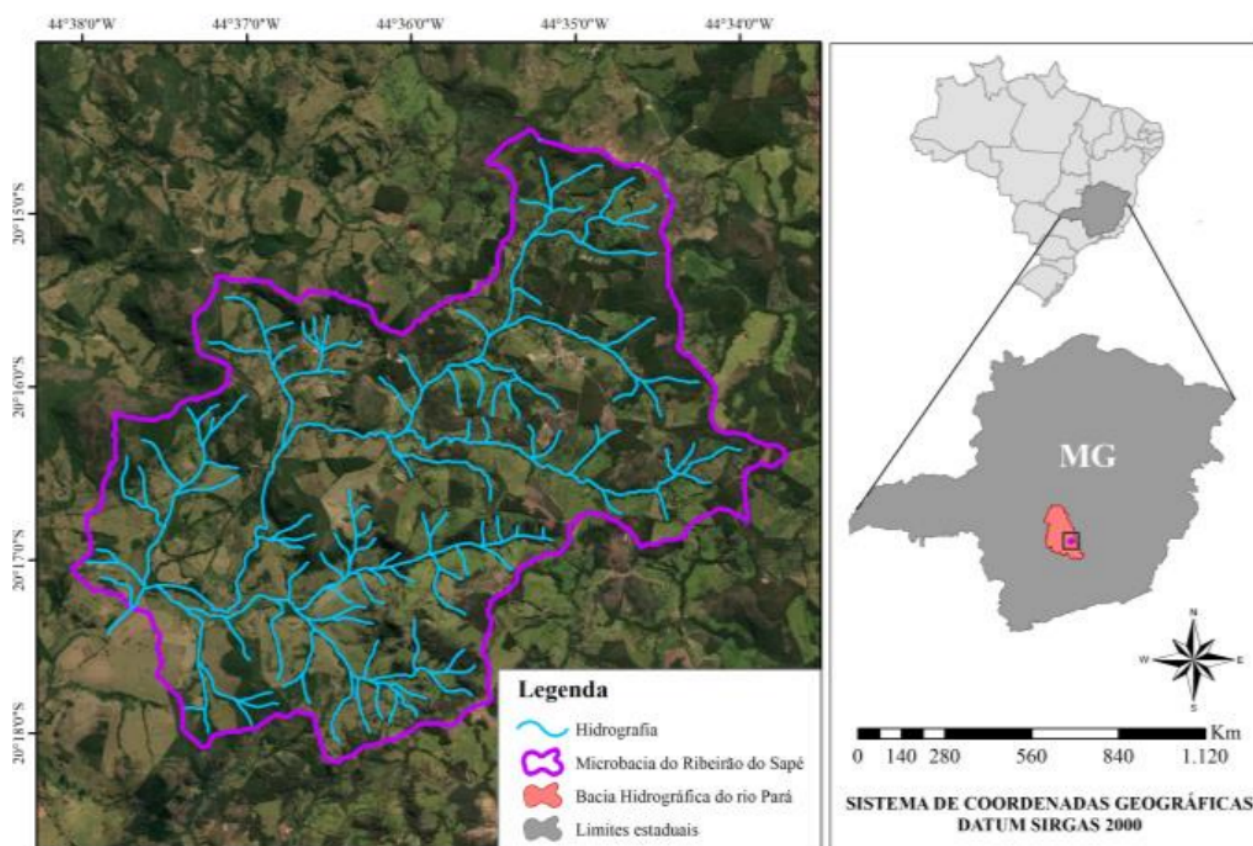


Figura 1: Localização da área de estudo.

2.2 USLE

A USLE constitui um modelo empírico criado para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar, fornecendo informações cruciais para o desenvolvimento do planejamento urbano e ambiental de planos de manejo de bacias hidrográficas (Silva, 2009). A equação USLE considera fatores naturais e antrópicos, que podem ser estimados e especializados em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo a otimização da interpolação dos dados e resultados espaciais mais precisos. Para obtenção de dados referenciais como a erodibilidade foram utilizados estudos em regiões com características similares à área de estudo. A equação de perda de solo USLE é apresentada a seguir. Após a introdução da equação, os fatores ambientais que a compõem serão discutidos individualmente.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

A = Perda de solo (ton/ha/ano);

R = Erosividade, índice de erosão pluviométrica (MJmm/ha/ano);

K = Erodibilidade, em ton ha.h/ha. (MJmm);

L = Comprimento da inclinação (m);

S = Gradiente de inclinação (%);

C = Adimensional, relacionado à cobertura superficial ou ao uso/manejo do solo;

P = Adimensional, referindo-se a práticas conservacionistas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados da aplicação da USLE e do Mapa de Suscetibilidade à Erosão da Embrapa.

3.1 USLE

Para a USLE, cada fator que compõe a equação de perda de solo será discutido, começando pelo fator erosividade da chuva.

O fator de erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva em um determinado local de erodir o solo desprotegido (WISCHMEIER, 1959). Portanto, quantificar esse fator é essencial para determinar usos adequados do solo e práticas de manejo (Bazzano et al., 2010). Avaliar a evolução da erosividade ao longo do ano também é uma ferramenta interessante para o planejamento da cultura. Ao identificar os meses com maior erosividade pluviométrica, os agricultores podem planejar a aplicação mais efetiva das práticas conservacionistas durante esses períodos críticos (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Os dados de precipitação foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). Após a avaliação dos dados disponíveis, 12 estações pluviométricas ao redor da microbacia foram selecionadas para interpolação dos dados. A série histórica considerada incluiu o período de 2000 a 2021. Assim, a estimativa do índice de erosividade mensal foi obtida e calculada por meio da equação desenvolvida por Val (1986) para a cidade de Lavras (MG):

$$R = 125,92 \times \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,603} \quad (2)$$

R = Fator de erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{milímetros} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

Pm = Precipitação média mensal (mm);

Pa = Precipitação total anual (mm).

Várias equações estimam a erosividade da chuva. Para este estudo, foi selecionada uma equação desenvolvida em uma região com características semelhantes à microbacia avaliada. A Figura 2 apresenta o mapa gerado após a interpolação da erosividade da chuva na microbacia.

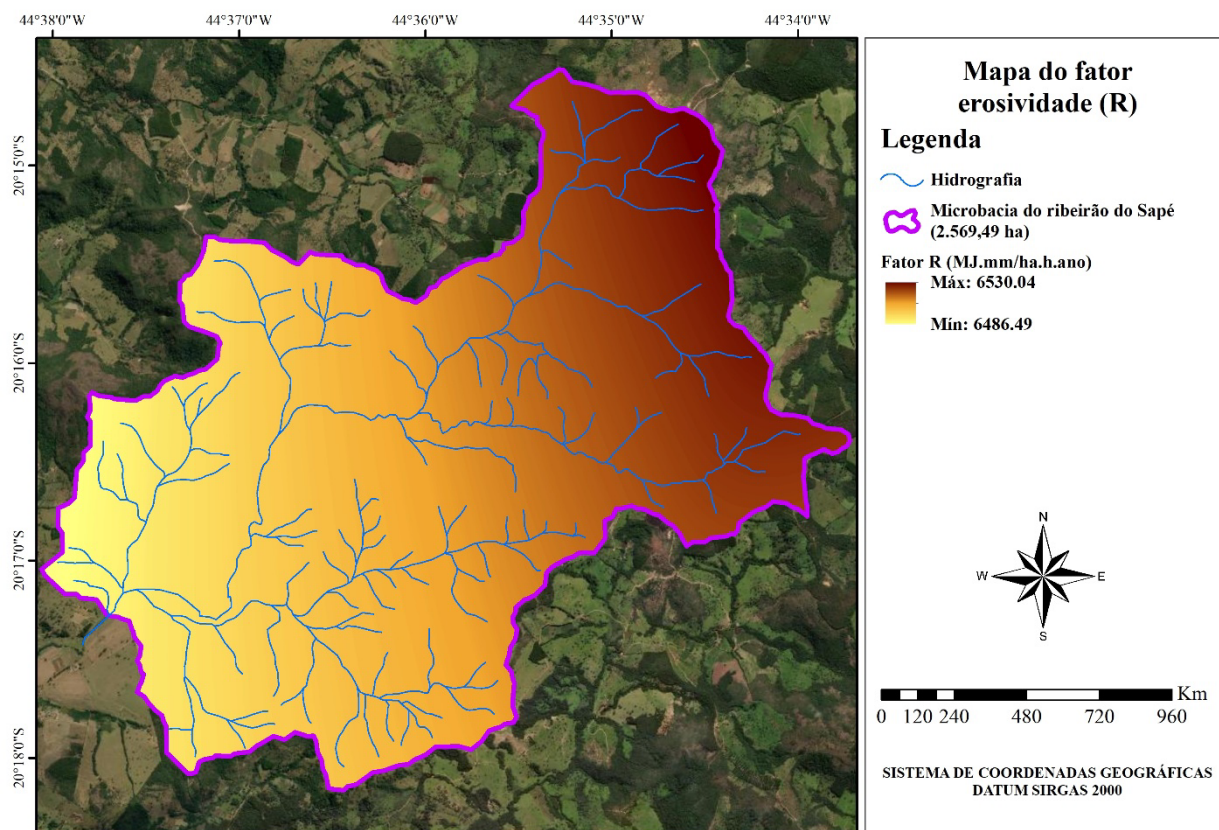


Figura 2: Fator de erosividade da chuva (R).

O cálculo do fator topográfico (LS) permite a análise da erosão hídrica em uma área, levando em consideração a distância em que ocorre o escoamento superficial (L) e a declividade do terreno (S). Assim, experimentalmente, esse fator expressa a relação entre a perda de solo por unidade de área em qualquer declividade em comparação a uma parcela de 22 metros de comprimento e uma declividade de 9% (Wischmeier e Smith, 1978). Portanto, quanto maior e mais íngreme a inclinação, maior a erosão. A metodologia proposta por MOORE e BURCH (1986) foi utilizada para determinar o fator topográfico da microbacia, que utiliza o Modelo Digital de Elevação (MDE) para o cálculo da vazão acumulada e da declividade. O DEM utilizado tem resolução de 12,5 metros, derivada do reprocessamento do Modelo Digital de Elevação com resolução de 30 metros disponível através do SRTM, conforme equação abaixo.

$$LS = \left(\frac{FA \times CS}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right)^{0,3} \quad (3)$$

FA = vazão acumulada;

CS = tamanho da célula do DEM (m) (comprimento do fluxo);

S = inclinação (graus).

A Figura 3 representa o resultado gerado para a área de estudo. Os valores gerados estão diretamente associados à topografia da área.

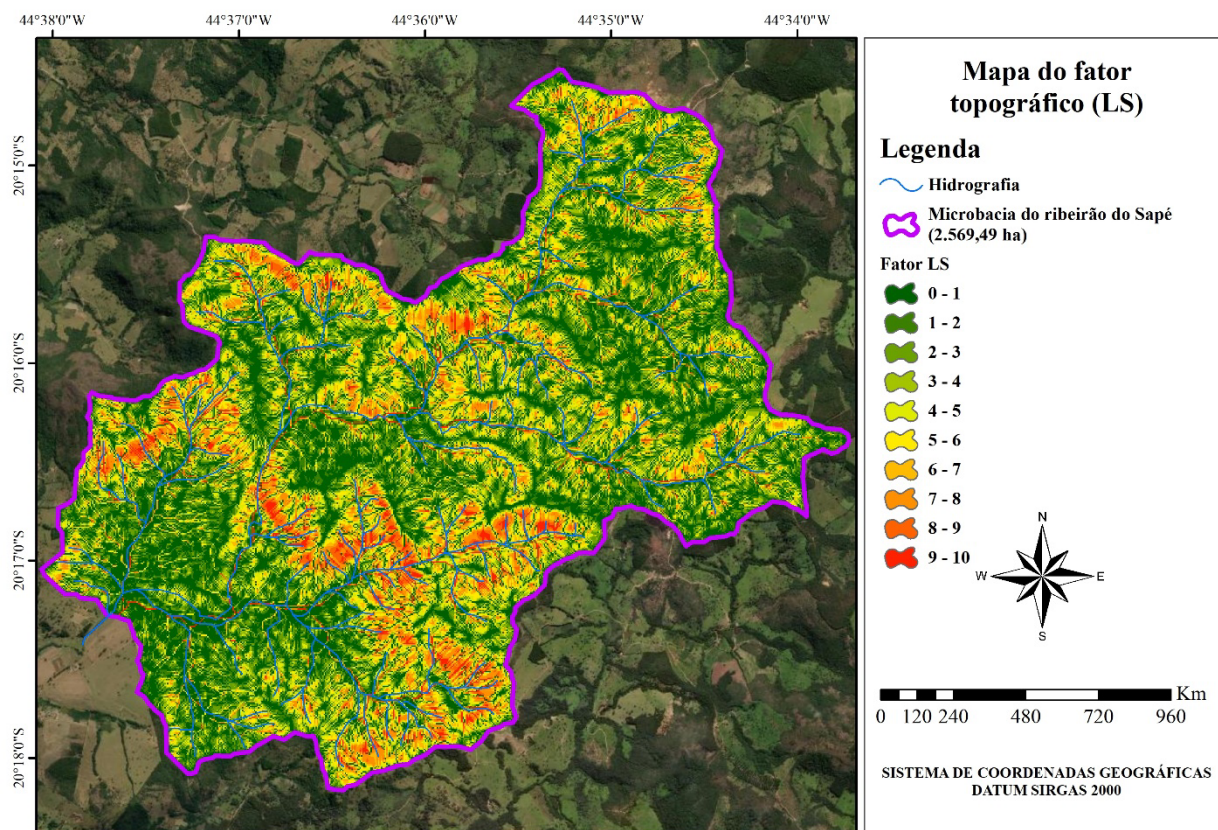


Figura 3: Fator topográfico (LS).

Segundo Carvalho et al. (2009), as propriedades físicas, químicas e biológicas intrínsecas a cada tipo de solo caracterizam diferentes comportamentos relacionados à perda de solo por erosão hídrica. A erodibilidade, representada na USLE como fator K, está relacionada a propriedades como textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. Solos caracterizados por maiores valores de erodibilidade experimentam perdas de solo mais significativas por processos erosivos, indicando menor capacidade de controle da infiltração de água no solo, menor resistência ao transporte por escoamento superficial e maior desintegração devido ao impacto das gotas de chuva.

A Tabela 1 apresenta as classes de solos encontradas na área de estudo. Para atribuir valores de erodibilidade aos tipos de solo da área, foram consideradas fontes da literatura que estimaram esse fator com base em experimentos. Um valor de K igual a 0,0171 (Baixo) foi atribuído ao Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVA), um valor de K igual a 0,0338 (Alto) foi atribuído ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVA) e um valor de K igual a 0,0255 (Médio) foi definido para o Neossolo Litólico Eutrófico Típico (R). A Figura 4 mostra a distribuição espacial do fator K na microbacia avaliada.

Tabela 1: Fator K.

Solo	Fator K	Porcentagem da microbacia	Classe de risco de erodibilidade	Referência
AVE	0.071	25.29%	Baixo	Reatlo el al, 2000
PVA	0.0338	45.86%	Alto	Chaves. 1994
R	0.0255	28.85%	Média	Francisco, 2010

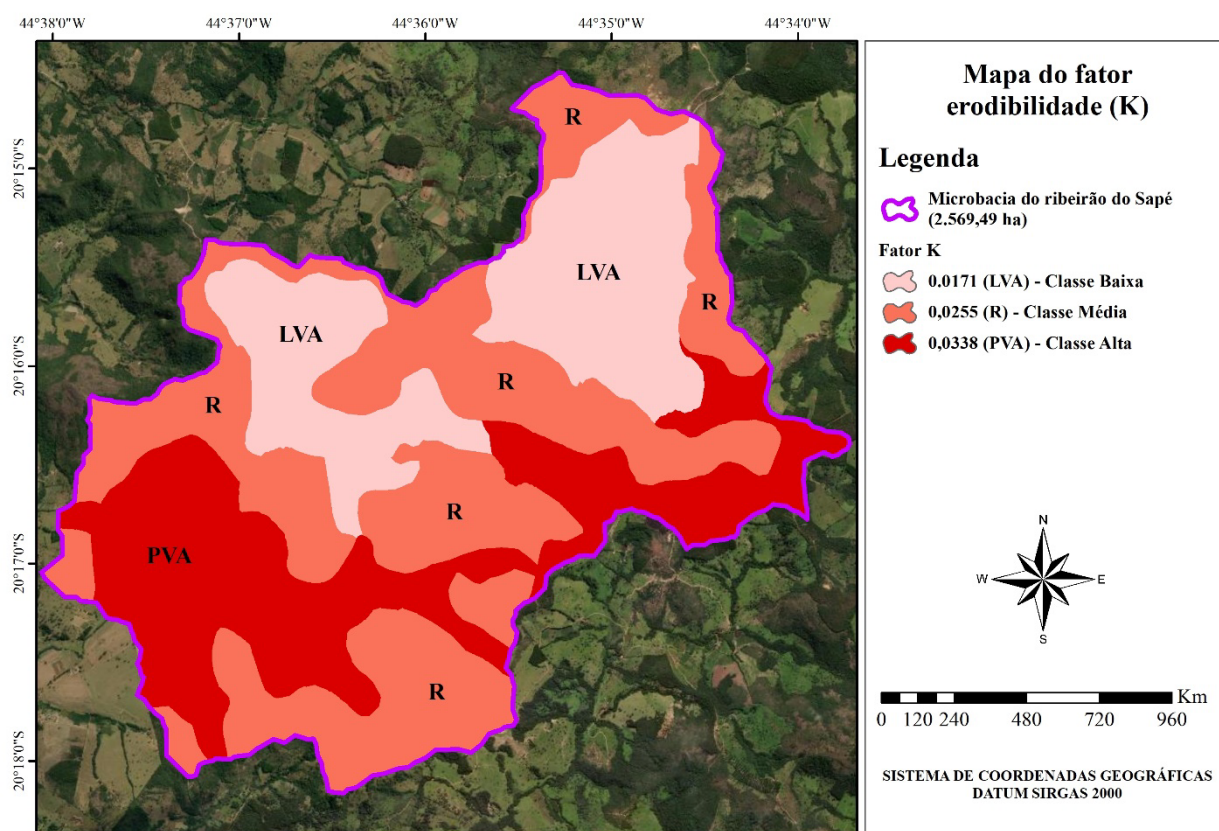


Figura 4: Erodibilidade do solo (K).

O fator manejo e cobertura do solo expressa a relação entre a perda de solo e o manejo em uma determinada área. Diferentes usos da terra e cobertura vegetal correspondem a diferentes comportamentos de perda de solo, tornando as áreas mais ou menos vulneráveis à erosão hídrica (MOTA, 2021). Considera-se que os usos do solo com menor tendência à perda de solo (menor valor para o fator C) são encontrados quando não há processos de desagregação de partículas e transporte de materiais sólidos, como em cursos d'água e áreas urbanas. (2005), os maiores valores de fator C estão associados a classes com pouca ou nenhuma cobertura do solo, caracterizando alta suscetibilidade à erosão. Os valores máximo e mínimo variam de 1 a 0. A Tabela 2 apresenta os valores de C encontrados para a microbacia, enquanto a Figura 5 apresenta os resultados geoespaciais.

Imagens de satélite foram utilizadas para a obtenção do mapa de uso do solo. A escolha da imagem de satélite para processamento considera a resolução espacial e temporal. Após avaliação das imagens disponíveis, optou-se pelas imagens de satélite do CBERS-4A, datadas de junho de 2022. Após compor as bandas para gerar a imagem em cores verdadeiras, foi realizado o processamento de Pansharpening para aumentar a resolução espacial da banda pancromática de 8m para 2m na composição RGB (cor verdadeira). Assim, a imagem resultante teve resolução espacial de 2m. Com a imagem de satélite processada foi realizada operação de classificação utilizando ferramenta de geoprocessamento para identificar as classes de uso do solo de acordo com a coloração das imagens, gerando assim o mapa de uso do solo para a microbacia com resolução de 2 m, qualidade superior ao MapBiomias (30 m), por exemplo.

Tabela 2: Fator C.

Solo	Fator C	Referência
Zona urbana	0	Stein et al., 1987
Corpos d'água	0	Stein et al., 1987
Vegetação Nativa	0.01	Beskow 2009
Pasto	0.025	Bertoni e Lonbardi Neto 2005
Campo	0.042	Silva, 2004;
Silvicultura	0.047	Silva et al., 2010
Agricultura	0.29	Beskow 2009
Solo Exposto	1	Stein et al., 1987

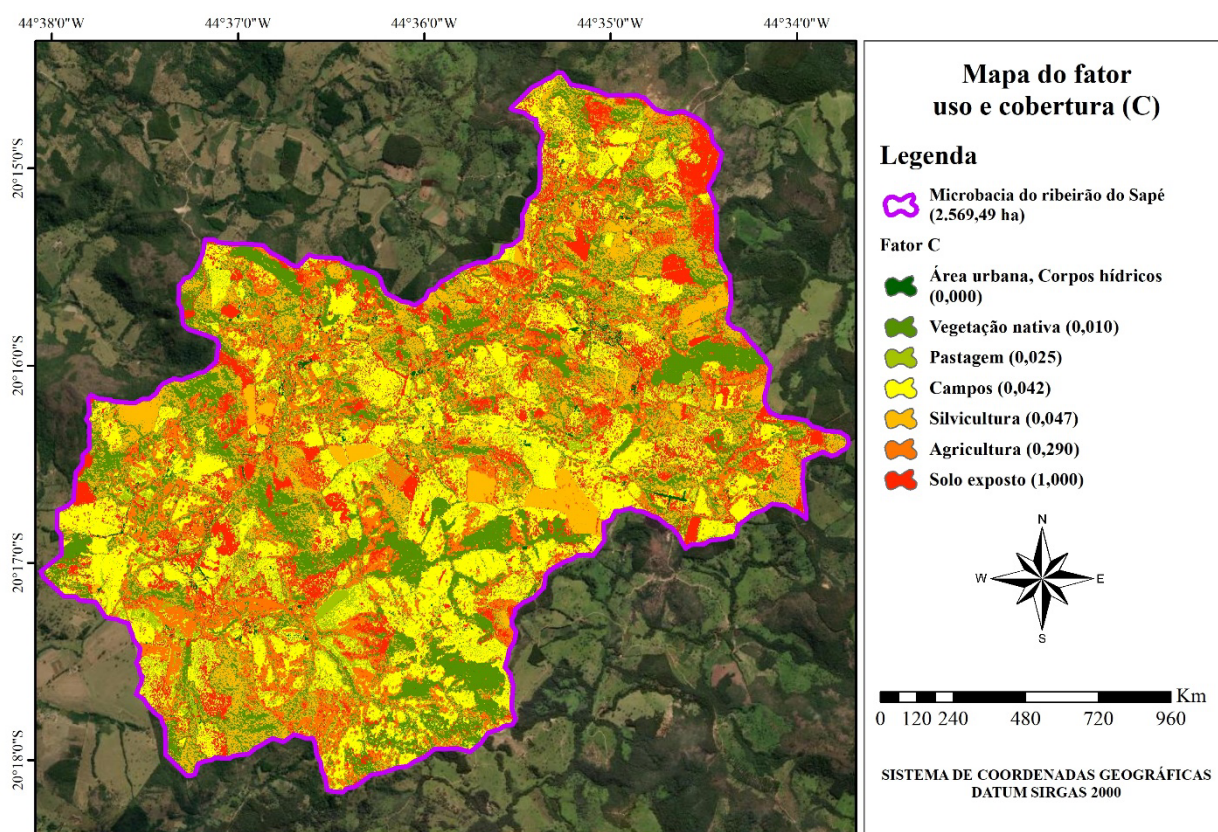


Figura 5: Manejo e cobertura do solo (C).

O fator P relaciona a intensidade de perda de solo às práticas conservacionistas empregadas na área de estudo (Silva et al., 2010). As práticas conservacionistas do solo reduzem os processos erosivos e, consequentemente, os valores de perda de solo. As práticas mais comuns são o plantio em contorno, o cultivo em faixa, o terraceamento e as alternâncias de controle de ervas daninhas. Bertoni e Lombardi Neto (1992) trabalham com os dois fatores separadamente: fator C como "uso e manejo da terra" e fator P como "práticas conservacionistas" (MATA et al., 2007). Entretanto, para Wischmeier e Smith (1978), os fatores C e P estão significativamente relacionados e não devem ser analisados separadamente. O fator CP representa o efeito combinado das variáveis de cobertura da terra e manejo do solo. Para a área de estudo, os valores do fator P foram assumidos como sendo 1,0 devido à falta de práticas conservacionistas do solo identificadas, adotados por Beskow et al (2009). Nenhum mapa temático será apresentado, pois é um valor único para a área de estudo.

3.2 Mapa de Suscetibilidade à Erosão (Embrapa, 2020)

Em 2022, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por meio de sua divisão Embrapa Solos, desenvolveu o Mapa de Suscetibilidade à Erosão do Solo do Brasil na escala 1:250.000. O mapa classificou as áreas com base em sua suscetibilidade à erosão hídrica em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Para a criação desse mapa, foram utilizados os seguintes dados de entrada: (a) Mapa de Erodibilidade do Solo do Brasil (Embrapa, 2020); (b) Mapa de Erosividade das Chuvas do Brasil (Embrapa, 2020); e (c) um Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 30 metros (SRTM/NASA). A Figura 6 mostra o mapa criado para o Brasil. Esse mapa está disponível para acesso na plataforma Geoinfo, que contém informações geográficas geradas pela Embrapa.

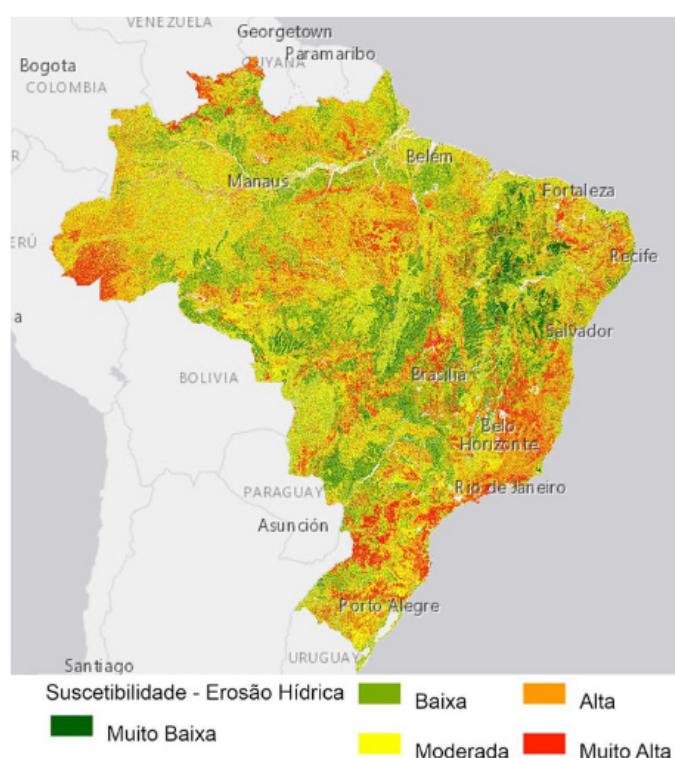


Figura 6: Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica no Brasil.

Os modelos de Erosividade das Chuvas e o Modelo Digital do Terreno foram originalmente gerados em raster, enquanto o de Erodibilidade dos Solos, originalmente, gerado em formato vetor, foi transformado para o formato raster. Todos os modelos foram processados em matrizes com pixels de 30x 30m. O processamento ocorreu na plataforma do Google Earth Engine. O método foi desenvolvido por uma equipe de pesquisadores e analistas da Embrapa Solos (RJ), formada por especialistas em ciência do solo, agrometeorologia, planejamento regional e agricultura digital.

3.3 Imagens de satélite

Durante a execução do Programa de Conservação de Solo e Água na bacia do Rio Pará, foram realizadas visitas de campo para identificar questões relacionadas aos aspectos do programa. Um dos problemas identificados foi a presença de voçorocas na microbacia. A visita ocorreu em meados de 2022. Uma das três grandes voçorocas da área de estudo foi identificada

durante a pesquisa. A voçoroca visitada ocupa uma área de aproximadamente 52.518,50 metros quadrados e tem uma profundidade de mais de 30 metros.

Por meio de imagens de satélite, é possível identificar mais duas voçorocas dentro do limite da microbacia. Essas voçorocas já estão em estágio avançado de desenvolvimento com significativa cobertura vegetal em seu interior. Analisando a evolução temporal das voçorocas, fica evidente que os processos começaram antes de 2003, ano da primeira aquisição de imagens de satélite disponíveis. A voçoroca 1 possui maior cobertura vegetal do que as voçorocas 2 e 3, que podem ter sofrido processos de deslizamento de taludes, explicando a redução da cobertura vegetal ao longo do período avaliado. A Tabela 3 fornece algumas informações sobre as voçorocas identificadas que serão objeto de análise neste estudo. A Figura 7 mostra a localização das voçorocas na microbacia.

Tabela 3: Informações das voçorocas identificadas.

Identificação	Localização	Área de Extensão
Voçoroca 1	20°16'22,45"S; 44°34'25.48"O	52.518,50 m ²
Voçoroca 2	20°16'14.59"S; 44°35'22.84"O	9.121,31 m ²
Voçoroca 3	20°15'52,90"S; 44°36'6.83"O	10.426,30 m ²

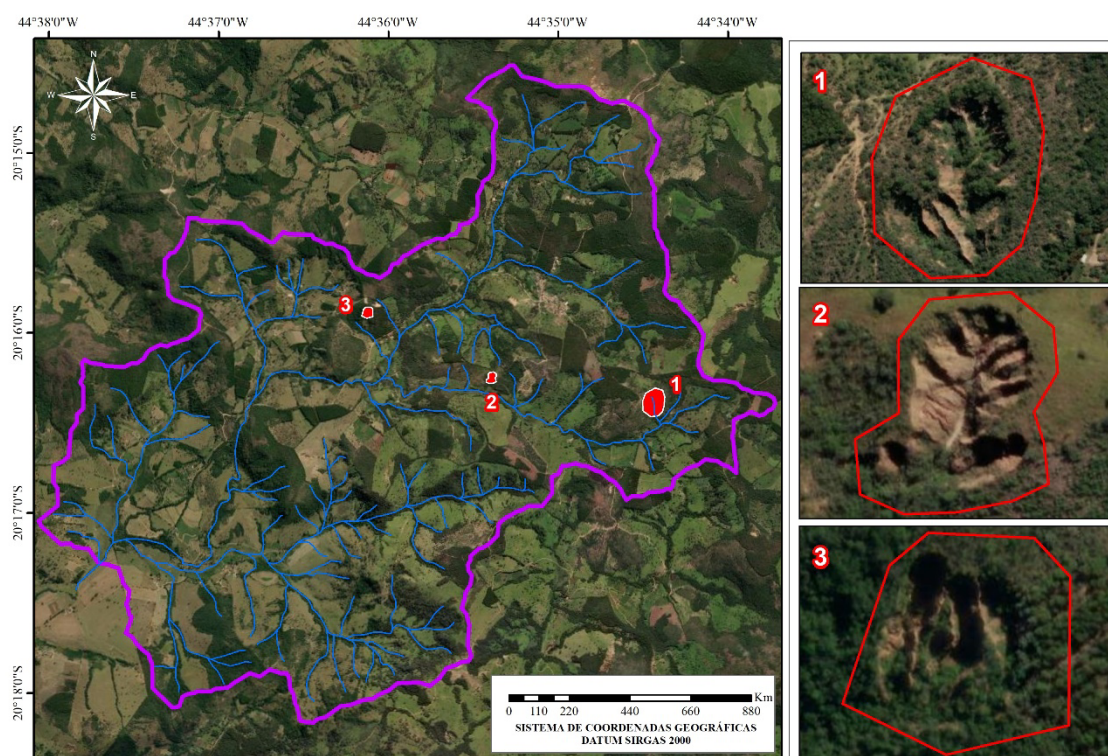


Figura 7: Localização das voçorocas.

A seguir, são apresentadas algumas fotografias tiradas pela equipe de inspeção de campo.



Figura 8: Voçoroca 1 visitada em campo.

As duas metodologias de estimativa de erosão, USLE e mapa de suscetibilidade da Embrapa Solos, foram comparadas para avaliar os resultados. Como validação, foram selecionadas as áreas onde as voçorocas foram identificadas em imagens de satélite. Foram consideradas para avaliação as classes de maior potencial erosivo (USLE) e de maior suscetibilidade à erosão (Embrapa) dentro das áreas com voçorocas identificadas. As tabelas a seguir apresentam os resultados encontrados para cada uma das metodologias avaliadas.

A Figura 9 mostra o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica na área de estudo. A Figura 10 apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia USLE em ambiente SIG, tomando como base os fatores apresentados na seção anterior. Uma diferença visível na resolução das informações é evidente ao analisar os mapas gerados. O mapa USLE tem uma resolução de 2 metros, enquanto o mapa de suscetibilidade à erosão tem uma resolução espacial de 30 metros.

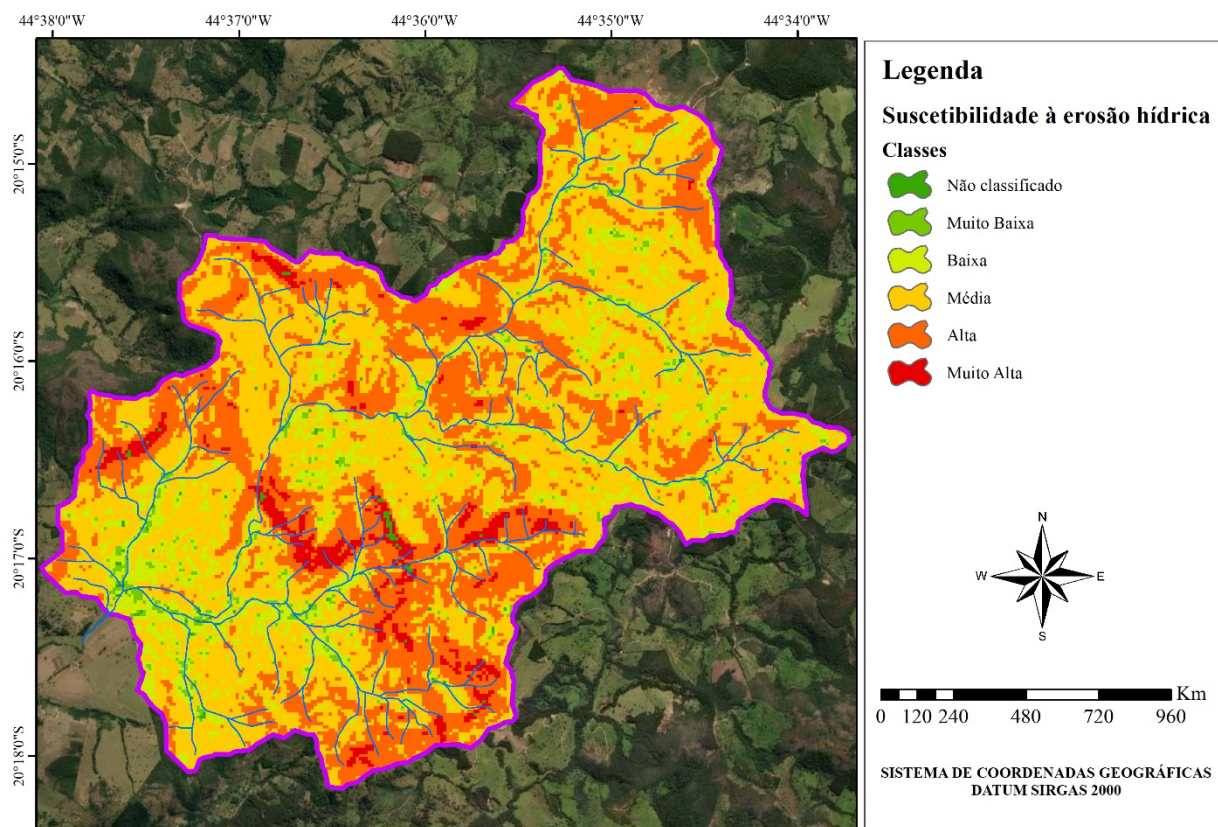


Figura 9: Mapa de suscetibilidade à erosão (Embrapa Solos, 2020) da área de estudo.

Tabela 4: Resultados do mapa de suscetibilidade à erosão da Embrapa Solos na área de estudo.

Voçorocas	Zero	Muito baixo	Baixo	Significar	Alto	Muito Alto
1	0%	0%	8%	43%	47%	1%
2	0%	0%	0%	22%	78%	0%
3	0%	0%	0%	9%	91%	0%

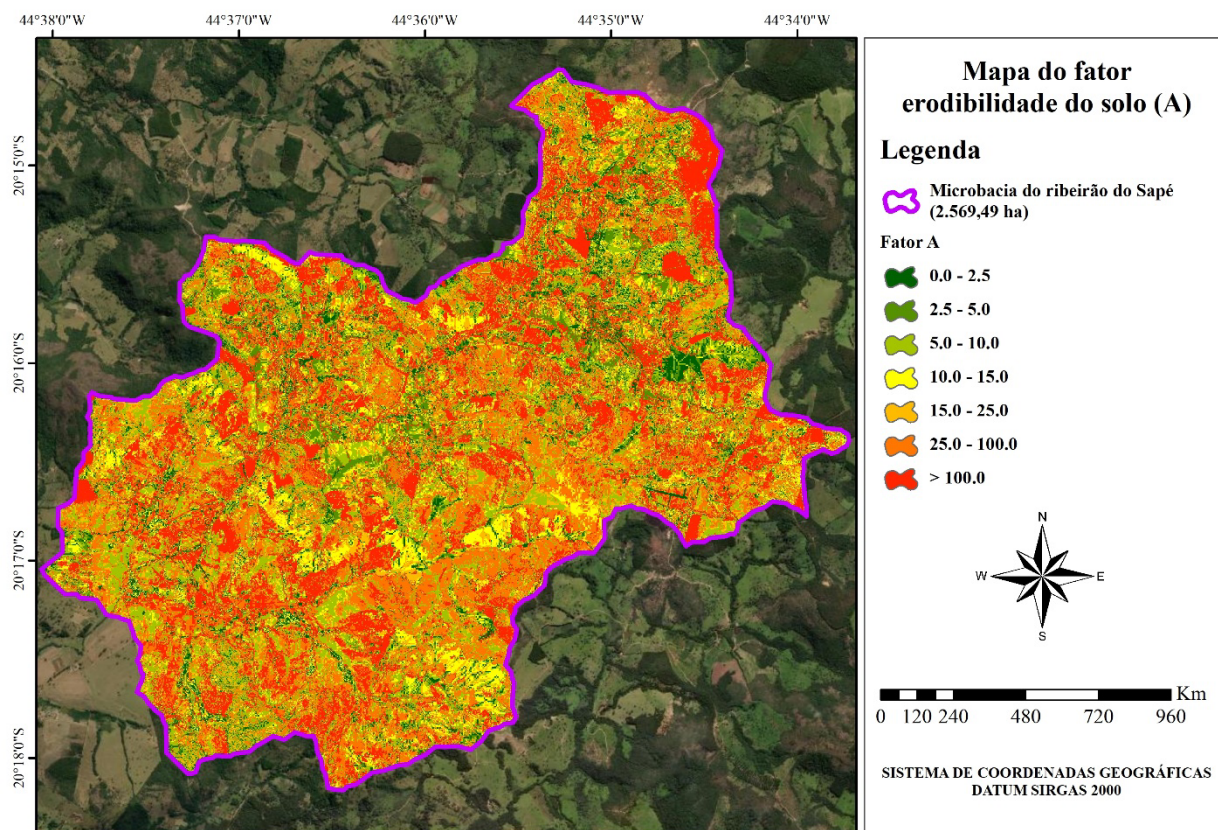


Figura 10: Mapa de perdas de solo (USLE) da área de estudo.

Tabela 5: Resultados da USLE na área de estudo.

Voçorocas	Moderada	Leve a moderado	Moderado	Média e Alta	Alto	Muito Alto	Extremamente alto
1	6%	6%	18%	14%	5%	19%	32%
2	3%	1%	12%	7%	1%	11%	65%
3	2%	1%	26%	14%	1%	21%	34%

A Tabela 6 mostra a correspondência entre a área onde existem as três voçorocas identificadas na microbacia e as classes de maior criticidade. Considerou-se para composição da correspondência a soma das classes de média (susceptibilidade) ou moderada (USLE) até muito alta (susceptibilidade) ou extremamente alta (USLE).

Tabela 6: Comparação dos Resultados.

Voçorocas	Correspondência nas classes mais críticas	
	Susceptibilidade	USLE
1	92%	70%
2	100%	85%
3	100%	71%

Considerando essa avaliação, o mapa de susceptibilidade apresentou melhores resultados. O fato de a USLE estar em uma resolução espacial de 2 metros faz com que alguns resultados locais

pareçam fora da realidade. No geral, fornece bons resultados, mas a metodologia precisa ser aprimorada em detalhes. Por outro lado, o mapa da Embrapa Solos tem uma resolução espacial de 30 metros e, por isso, classificou a maioria das áreas na mesma classe justamente por haver poucos pixels dentro das áreas de voçorocas. No caso deste estudo, a classificação foi mais precisa. Ainda assim, se houvesse um único erro de classificação, toda a área da voçoroca poderia ser classificada erroneamente, afetando o planejamento das ações de conservação do solo na bacia.

4 CONCLUSÃO

Considerando os melhores resultados como aqueles com maior correspondência com as áreas onde existem voçorocas, o mapa de suscetibilidade da Embrapa mostrou-se mais satisfatório do que a aplicação da USLE. No entanto, vale ressaltar que a USLE proporciona bons resultados na escala utilizada, com alguns outliers que podem ser devidos a efeitos de escala em sua análise. Recomenda-se sempre verificar as condições in loco, ou seja, através de visitas em campo

5 REFERÊNCIAS

- Bertolini, D., & Lombardi Neto, F., & Drugowich, M. I. (1993). Programa estadual de microbacias hidrográficas.
https://www.cati.sp.gov.br/Cati/_tecnologias/manejo_conservacao_solo/manualAguaSolo.pdf
- Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do solo*. (7. ed.). Editora Ícone.
- Beshow, S., Mello, C. R., & Norton, L. D., & Curi, N., & Viola, M. R., & Avanzi, J. C. (2009). Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>.
- Carvalho, D., Da Cruz, E., Pinto, M., Silva, L., & Guerra, J. (2009). Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo 1.
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xHTQ47KsrGTjM7LShQHMhcr/?format=pdf>.
- Chaves, H. M. L. (1994). Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco: relatório final de consultoria.
- Cook, H. L. (1937). *The nature and controlling variables of the water erosion process*.
- EMBRAPA., (2000), Levantamento semidetalhado dos solos na bacia do Olaria - DF, escala 1:30.000. (2000). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/564735/1/bolpd15.pdf>
- Francisco, P. R. M. (2010). Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas.
<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/572883/2/CLASSIFICA%20E%20MAPEAMENTO%20DAS%20TERRAS.pdf>.
- Guadagnin, J. C., & Bertol, I., & Cassol, P. C., & Amaral, A. J. (2005). Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 29(2), 277–286.
<https://doi.org/10.1590/s0100-06832005000200013>.
- Linhares, J. M. S., et al. (2014). Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica do córrego Hermes Rondônia. *HOLOS* 1 41-59.
- MAPBIOMAS, Projeto. (2022). Coleção v7. 1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível: <http://mapbiomas.org>. Acesso, v. 22.

Mata, C. L., & Carvalho Júnior, O. A., & Carvalho, A. P. F., & Gomes, R. A. T., & Martins, É. de S., & Guimarães, R. F. (2007). Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) Por Meio da Equação Universal de Perda de Solos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 8(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i2.94>.

Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624–1630. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>.

Mota, J. R. et al. 2021. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio das Mortes (MG). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(1). 1-14. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n1e007659 e-ISSN: 2176-9168.

Silva, A. Ci, & Solo. (2009). Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. 33, 1811–1820. http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/41961/1/ARTIGO_Erosividade%20da%20chuva%20e%20erodibilidade%20de%20Cambissolo%20e%20Latossolo%20na%20regiao%20de%20Lavras%20sul%20de%20Minas%20Gerais.pdf.

Silva, F. D. G., & Minotti, F., & Lombardi Neto, F., & Primavesi, O., & Crestana, S., O., (2009). Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D EESC/USP. <https://www.scielo.br/j/esa/a/HNysBh6J3NmGVMH9xysnFj/?format=pdf&lang=pt>.

Silva, Paula Juliana. (2015). Uso e ocupação do solo urbano: uma análise dos impactos ambientais nas áreas de dunas no bairro de Felipe Camarão/Natal-RN. *Holos* 5 91-103.

Stein, D. P., & Donzeli, A. F., & Gimenez, A. F., & Ponçano, W. L., & Lombardi Neto, F. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe Paranapanema. *Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE/DAEE*.

Universidade de Perdue (1964). *National Runoff and Soil Loss Data Center. Universal Soil Loss Equation (USLE)*.

Val, L. A., (1986). Erosividade das chuvas em Lavras-MG. *Ciência e prática*, 10, 2, 199-209.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook*. USDA. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_537.pdf.

Wischmeier, W. H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Soares, L., Wainberg Bohrer, P., Andrades Paixão, M. ., & de Almeida Silva, M. C. Avaliação de métodos para estimativa da erosão utilizando geoprocessamento em microbacias do rio Pará/MG. *HOLOS*. Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/16380>

ABOUT THE AUTHORS

L. S. SOARES

Master's student Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Profágua (UFRGS) Environmental Engineering at the Federal University of Rio Grande do Sul.
E-mail: larissa.aguaesolo@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2481-7726>

P. W. BOHRER

Graduating in Environmental Engineering at the Federal University of Rio Grande do Sul.



E-mail: pedrowainberg@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2460-2984>

M. C. A. SILVA

Degree in Bioprocess Engineering and Biotechnology, from the State University of Rio Grande do Sul, with an emphasis on Environmental Engineering. Master and PhD in Water Resources and Environmental Sanitation, from the Institute of Hydraulic Research, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil. Professor at the Hydraulic Research Institute, Federal University of Rio Grande do Sul.

E-mail: maria.almeida@ufrgs.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2936-7047>

M. A. PAIXÃO

Master and doctor in water resources and environmental sanitation from PPGRHSA/IPH/UFRGS Assistant Professor at the Department of Hydraulic works at the ufrgs Hydraulic Research Institute Environmental Engineering at the Federal University of Rio Grande do Sul.

E-mail: mauricio.paixao@ufrgs.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2936-7047>

Editor: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Ad Hoc Reviewer: Álvaro José Back e Edson Campanhola Bortoluzzi



Submitted: November 4, 2023

Accepted: December 1, 2023

Published: December 18, 2023

