

UFRRJ

**PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Identificação de zonas susceptíveis à erosão em bacia
hidrográfica do Distrito Federal a partir da EUPS**

Estéfani Jesus dos Santos

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS SUSCEPTÍVEIS À EROÇÃO EM BACIA
HIDROGRÁFICA DO DISTRITO FEDERAL A PARTIR DA EUPS

ESTÉFANI JESUS DOS SANTOS

Sob a Supervisão do(a) Professor(a)
Edileuza Dias de Queiroz

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido como requisito parcial para
obtenção do título de **Especialista** em
Geoprocessamento, Levantamento e
Interpretação de Solos.

Seropédica, RJ
Agosto de 2025



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFMG - UFV - UFRA



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com dados fornecidos pela autora

S231i Santos, Estéfani Jesus dos, 1990 –
Identificação de zonas susceptíveis à erosão em bacia hidrográfica do Distrito Federal a partir da EUPS / Estéfani Jesus dos Santos. - Seropédica, 2025. 38 f.: il.

Orientadora: Edileuza Dias de Queiroz. Monografia (Especialização). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação Lato Sensu em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, 2025.

1. EUPS. 2. Processos Erosivos. 3. Modelo Digital de Terreno. I. Queiroz, Edileuza Dias de, 1967-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós-graduação Lato Sensu em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO, LEVANTAMENTO
E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS**

Folha de aprovação

ESTÉFANI JESUS DOS SANTOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi submetido como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos.

TCC APROVADO EM 04 de AGOSTO de 2025.

Prof.(a) Edileuza Dias de Queiroz
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Prof.(a) Patrícia de Oliveira Plácido
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Prof.(a) Odilon Cavalcante de Barros Júnior
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

RESUMO

SANTOS, E. **Identificação de zonas susceptíveis à erosão em bacia hidrográfica do Distrito Federal a partir da EUPS**. 2025. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier & Smith (1978), originalmente desenvolvida para estimar quantitativamente perdas de solo em parcelas experimentais, passou a ser amplamente utilizada para avaliações qualitativas em bacias hidrográficas, com o objetivo de identificar áreas suscetíveis à erosão hídrica de forma prática e econômica. Neste estudo, têm-se como objetivo geral, mapear a suscetibilidade à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (DF), por meio da aplicação da EUPS integrada ao MDT da TOPODATA e a dados de uso e cobertura do solo. Além disso, como objetivos específicos visa fornecer subsídios técnicos e cartográficos para apoiar o manejo conservacionista, o ordenamento territorial e a gestão ambiental da região; e demonstrar a viabilidade do uso de modelos digitais gratuitos e técnicas de geoprocessamento na identificação de áreas prioritárias para ações de controle da erosão. Para isso, foram utilizados mapas temáticos e dados secundários para a obtenção dos fatores R (erosividade da chuva), K (erodibilidade do solo), LS (topografia), C (cobertura do solo) e P (práticas conservacionistas). O fator R foi obtido com base em dados pluviométricos históricos e interpolação por IDW; o fator K foi associado aos tipos de solos mapeados; o fator LS foi calculado com uso do Modelo Digital de Elevação (MDT) do TOPODATA/INPE de 2000 e da equação de Moore e Burch (1986), incorporando declividade e área de contribuição via método D-infinito. O fator C foi estimado a partir do NDVI, gerado por imagem LANDSAT do ano 2000, e convertido conforme proposta de Durigon et al. (2014). O fator P foi adotado com valor unitário (1,0) para toda a bacia, devido à ausência de dados sobre práticas conservacionistas no período analisado, mesmo em áreas agrícolas, sendo essa decisão embasada em mapeamento de uso e cobertura do solo do Geoportal/DF referente ao ano de 2001. A espacialização dos resultados permitiu identificar que a maior parte da bacia se encontra na classe de baixa suscetibilidade à erosão (fraco), com valores mais elevados ocorrendo de forma pontual em regiões de relevo acidentado. A metodologia adotada demonstrou-se eficaz para fins de diagnóstico ambiental, especialmente em estudos históricos e com limitação de dados de campo, permitindo a identificação de áreas prioritárias para conservação do solo e planejamento territorial. Recomenda-se, para estudos futuros, o uso de produtos com maior resolução espacial e a validação das estimativas por meio de observações em campo.

Palavras-chave: EUPS. Processos erosivos. MDT.

ABSTRACT

SANTOS, E. Identification of Erosion-Susceptible Zones in a Watershed of the Federal District Using the USLE. 2025. 38p. Undergraduate Thesis (Postgraduate Certificate in Geoprocessing, Soil Survey and Interpretation). Office of Extension, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

The Universal Soil Loss Equation (USLE) by Wischmeier & Smith (1978), originally developed to quantitatively estimate soil losses in experimental plots, has become widely used for qualitative assessments in watersheds, aiming to identify areas susceptible to water erosion in a practical and cost-effective manner. This study's general objective is to map erosion susceptibility in the Rio Preto Watershed (DF) by applying the USLE integrated with the TOPODATA Digital Elevation Model (DEM) and land use and land cover data. Furthermore, the specific objectives are to provide technical and cartographic input to assist conservation management, land use planning, and environmental management in the region; and to demonstrate the feasibility of using free digital models and geoprocessing techniques to identify priority areas for erosion control actions. For this purpose, thematic maps and secondary data were used to obtain the factors R (rainfall erosivity), K (soil erodibility), LS (topography), C (land cover), and P (conservation practices). The R factor was obtained based on historical rainfall data and IDW interpolation; the K factor was associated with the mapped soil types; the LS factor was calculated using the 2000 TOPODATA/INPE DEM and the Moore and Burch (1986) equation, incorporating slope and contributing area via the D-infinity method. The C factor was estimated from NDVI, generated by LANDSAT imagery from 2000 and converted as proposed by Durigon et al. (2014). The P factor was adopted at a unit value (1.0) for the entire basin due to the lack of data on conservation practices during the analyzed period, including agricultural areas. The spatial distribution of the results revealed that most of the basin falls within the low erosion susceptibility class, with higher values occurring sporadically in regions of rugged terrain. The adopted methodology proved effective for environmental diagnostic purposes, especially in historical studies with limited field data, allowing the identification of priority areas for soil conservation and territorial planning. It is recommended that future studies make use of products with higher spatial resolution and validate the estimates through field observations.

Keywords: USLE. Erosive processes. DEM.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1. Área de Estudo	12
2.2. Imagens Utilizadas	13
2.3. Estimativa de Erosão do Solo.....	14
2.3.1. Fator de Erosividade da Chuva (R).....	15
2.3.2. Fator de Erodibilidade do Solo (K).....	17
2.3.3. Fator Topográfico (LS).....	18
2.3.4. Fator de Uso e Manejo do Solo (C).....	21
2.3.5. Fator de Práticas Conservacionistas (P)	23
3. RESULTADOS E DISCURSSÃO	25
3.1. Resultado da Erosividade das Chuvas – Fator R	25
3.2. Resultado da Erodibilidade do Solo – Fator K.....	27
3.3. Resultados de Cobertura do Solo e Práticas Conservacionistas - Fator C e P	28
3.4. Resultados do Fator Topográfico – Fator LS	30
3.5. Áreas Suscetíveis a perda de solo (EUPS).....	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, no Distrito Federal. Fonte: A autora.	12
Figura 2 – Fluxograma metodológico para conhecimento da erosão potencial do solo usando o modelo EUPS. Fonte: A autora.	14
Figura 3 – Mapa de localização das estações pluviométricas definidas para o Fator R. Fonte: A autora.	16
Figura 4 – Esquematização do cálculo do fator LS no <i>ModelBuilder (ArcGIS Pro)</i> . Fonte: A autora.	21
Figura 5 – Mapa do fator R. Fonte: A autora.	25
Figura 6 – Demonstração da Distância Euclidiana aplicada no Fator R. Fonte: A autora.	27
Figura 7 – Mapa do fator K. Fonte: A autora.	28
Figura 8 – Mapa do NDVI e Fator C. Fonte: A autora.	29
Figura 9 – Mapa do Fator LS. Fonte: A autora.	31
Figura 10 – Mapa das áreas susceptíveis a processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Preto. Fonte: A autora.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas, com o código e localização geográfica.	15
Tabela 2 – Tipos de solo existente e seus valores atribuídos ao fator K.	18
Tabela 3 – Estações pluviométricas, com o código e localização geográfica.	26
Tabela 4 – Descrição das classes de erosão e perdas de solo. Adaptado por Souza e Sobreira (2017).	32

1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo natural da dinâmica terrestre, ocorrendo pela ação de agentes como a água e o vento, responsáveis pela desagregação, transporte e deposição das partículas do solo. Contudo, a intervenção antrópica, especialmente por meio da conversão de áreas naturais em sistemas agrícolas, pastagens e áreas urbanas, tem intensificado essa dinâmica, provocando desequilíbrios ambientais significativos. O uso inadequado do solo, associado à remoção da cobertura vegetal e sua compactação, favorece o aumento do escoamento superficial, potencializando a remoção de sedimentos e acelerando os processos erosivos.

Como forma de estimar e compreender esses processos, modelos matemáticos vêm sendo amplamente utilizados, com destaque para a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), método consolidado mundialmente por sua simplicidade e flexibilidade. A EUPS estima a perda potencial de solo a partir da interação entre cinco fatores principais: erosividade das chuvas (R), erodibilidade do solo (K), topografia (LS), uso e cobertura do solo (C) e práticas conservacionistas (P) (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Originalmente desenvolvida para áreas agrícolas, essa equação tem sido aplicada em diferentes cenários, inclusive urbanos e periurbanos, onde o uso intensivo do solo contribui para a aceleração dos processos erosivos.

Dentre esses fatores, o componente topográfico (LS) se destaca por representar a influência da declividade e do comprimento de rampa sobre o potencial erosivo, sendo o de maior complexidade dentro do método evidenciado. O avanço das técnicas de geoprocessamento e o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiram automatizar o cálculo desse fator, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Os modelos digitais possuem a capacidade de representação do relevo, sendo muito utilizados para estudos geomorfológicos, como por exemplo, na percepção dos processos erosivos em diferentes áreas e situações. Podendo ser representados por mapas topográficos ou um conjunto de dados espaciais (LU et al., 2020), bem como, gerados por óptica estereoscópica (ASTER), micro-ondas (SAR de radar de abertura sintética), *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e sistemas a laser pulsado como o LiDAR (*Light Detection and Ranging*, ou sensor remoto ativo).

Nesse contexto, o MDT da TOPODATA desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresenta-se como uma alternativa eficiente e de baixo custo, disponibilizando dados altimétricos com resolução de 30 metros e cobertura nacional. Esses dados são essenciais para caracterizar o relevo, permitindo o cálculo do fator LS e a representação espacial da suscetibilidade à erosão em áreas extensas.

Assim, este estudo considera exclusivamente dados do ano de 2000. O uso de imagens LANDSAT, MDT do TOPODATA e informações sobre uso do solo desta época, foi adotado para garantir coerência temporal entre as variáveis ambientais aplicadas no modelo EUPS. Ressalta-se que os resultados refletem o cenário daquela época e não podem ser diretamente extrapolados para a situação atual sem atualização dos dados.

No Distrito Federal, região marcada pela coexistência de áreas agrícolas e urbanas em expansão, os processos erosivos se apresentam como um desafio ambiental. A Bacia Hidrográfica do Rio Preto, importante polo agrícola, caracteriza-se pelo uso intensivo do solo e adoção da irrigação por pivôs centrais, o que reforça a necessidade de monitoramento e controle da erosão do solo. Neste cenário, o mapeamento da suscetibilidade à erosão torna-se fundamental para subsidiar ações de planejamento territorial, conservação do solo e uso sustentável da água.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo geral mapear a suscetibilidade à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (DF), por meio da aplicação da EUPS integrada ao MDT da TOPODATA e a dados de uso e cobertura do solo. E como objetivos específicos: a) Fornecer subsídios técnicos e cartográficos para apoiar o manejo conservacionista, o ordenamento territorial e a gestão ambiental da região; b) Demonstrar a viabilidade do uso de modelos digitais gratuitos e técnicas de geoprocessamento na identificação de áreas prioritárias para ações de controle da erosão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A presente metodologia será aplicada em um segmento da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, que abrange parte do território das Regiões Administrativas de Planaltina (RA-VI) e Paranoá (RA-VII), no Distrito Federal (Figura 2). A bacia possui uma área total de aproximadamente 1.329 km² e integra a Bacia do Rio São Francisco, por meio do Rio Paracatu, seu principal curso de contribuição.

A Bacia do Rio Preto no DF é caracterizada por importantes cursos d'água, como os ribeirões Santa Rita, Jacaré, Extrema, Jardim e o córrego São Bernardo, além de abrigar áreas de produção agropecuária, especialmente com uso de irrigação, e fragmentos significativos de vegetação nativa do Cerrado. Sua presença nas regiões de Planaltina e Paranoá destaca a importância estratégica da bacia tanto para o abastecimento hídrico quanto para a conservação ambiental na porção norte do Distrito Federal.

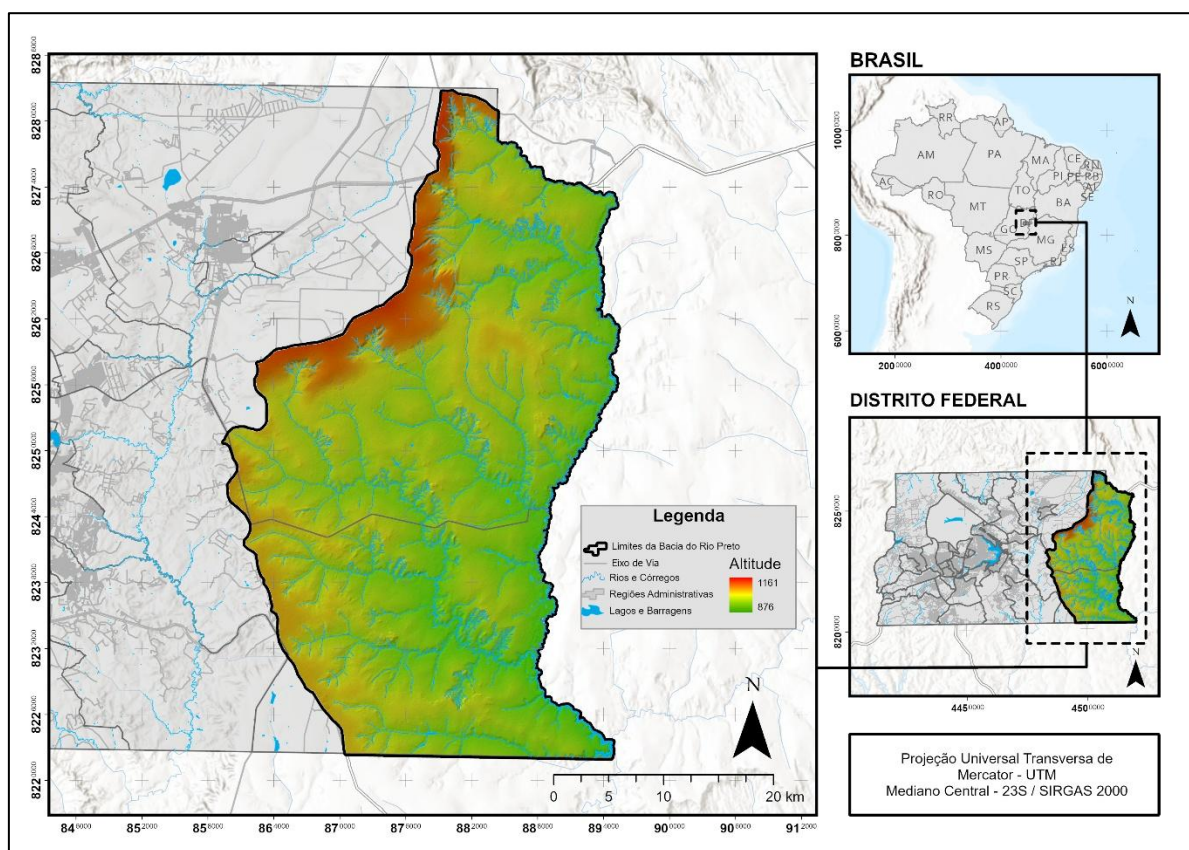


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, no Distrito Federal. Fonte: A autora.

De acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT (Lei Complementar n.º 803/2009), a bacia do Rio Preto está inserida na Zona Rural de Uso Diversificado. Nesta região, a atividade rural encontra-se consolidada, caracterizando-se por uma matriz produtiva alinhada às exigências do agronegócio. Observa-se a especialização de culturas, a adoção de tecnologias avançadas, como irrigação mecanizada, correção e manejo de solos, além do uso de insumos de alta performance, e a produção em larga escala, voltada tanto para o mercado interno quanto para a exportação.

A escolha da Bacia do Rio Preto para a aplicação da metodologia EUPS justifica-se por fatores ambientais e socioeconômicos que refletem a complexidade da região. A área apresenta uma diversidade significativa de uso e ocupação do solo, incluindo agricultura irrigada em larga escala, expansão rural e fragmentos de vegetação nativa do Cerrado. Essa configuração influencia diretamente os processos erosivos e a dinâmica da cobertura vegetal, com efeitos sobre a infiltração, o escoamento superficial e a recarga hídrica.

Além de seu papel na produção agropecuária, a bacia possui importância estratégica para a segurança hídrica do Distrito Federal, abrigando diversas nascentes e cursos d'água de relevância local e regional. Entretanto, a elevada demanda por recursos hídricos, especialmente para irrigação agrícola, somada à ocorrência de períodos críticos de escassez, tem intensificado os desafios de gestão da água. Estudos indicam que a crise hídrica na região não se deve apenas a fatores climáticos, mas também a políticas inadequadas de uso do solo e à gestão ineficiente dos recursos hídricos, o que acentua a vulnerabilidade climática e aumenta o risco de degradação das áreas de recarga e assoreamento de corpos d'água (MESQUITA et al., 2021).

2.2. Imagens Utilizadas

Foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) oriundo do projeto TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros, gerado a partir de dados da missão SRTM e refinado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As imagens utilizadas para a construção do MDT são referentes ao ano de 2000 e foram obtidas por meio do Catálogo de Dados Geomorfométricos do INPE (<https://www.dsr.inpe.br/topodata>).

Para a análise da cobertura do solo, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros nas bandas multiespectrais. A imagem selecionada foi adquirida em 09 de junho de 2000, garantindo

compatibilidade temporal com o MDT utilizado. As bandas 3 (vermelha) e 4 (infravermelha próxima) foram empregadas para o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). As imagens foram obtidas por meio do Catálogo de Imagens do INPE (<https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>).

2.3. Estimativa de Erosão do Solo

O EUPS é um modelo de previsão da erosão, que avalia de forma quantitativa apenas as perdas por erosão de sulcos e ravinas. O modelo é adequado para estimar a erosão média anual de perda do solo para uma determinada área usando a seguinte equação empírica (WISCHMEIER e SMITH, 1978):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P, \quad (1)$$

Onde, o A equivale à perda de solo (ton/ha.ano); R se refere ao fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano); K é o fator de erodibilidade do solo (ton.ha.h./ha MJ.mm); LS corresponde ao fator de comprimento de rampa e o ângulo de inclinação (adimensional); C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional); por fim, o P se refere ao fator de práticas conservacionistas. A Figura 2 mostra o fluxograma da modelagem da erosão do solo utilizando o modelo EUPS.

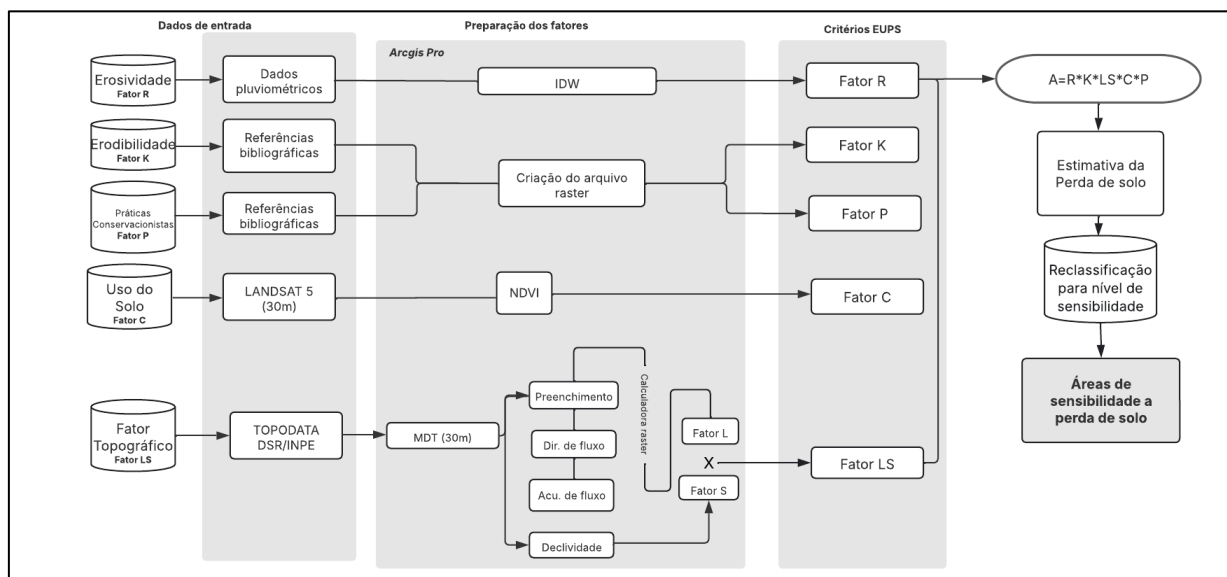


Figura 2 – Fluxograma metodológico para conhecimento da erosão potencial do solo usando o modelo EUPS.
Fonte: A autora.

2.3.1. Fator de Erosividade da Chuva (R)

O fator de erosividade da chuva (R) representa o potencial da precipitação em causar desagregação e transporte de partículas do solo em superfícies desprovidas de cobertura vegetal ou manejo conservacionista. Para Xu et al. (2008) esse fator reflete a quantidade e a taxa de escoamento associada a eventos de precipitação. Com isso, o fator R foi calculado seguindo a fórmula proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

$$EI_i = 67,355 \left(\frac{r_i^2}{P_i} \right)^{0,85} \quad (2)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m (EI_i)_j \right] \quad (3)$$

Em que: EI_i é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm ha-1.h.ano; r_i é a precipitação média mensal, em mm; e P_i é a precipitação média anual, em mm. Já o fator R, correspondente ao somatório dos índices mensais de erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A avaliação da erosividade das chuvas foi realizada a partir dos dados de precipitação coletados em 10 estações pluviométricas (Tabela 1 e Figura 3), sendo algumas monitoradas pela Companhia de Saneamento de Brasília (CAESB) e outras pela Agência Nacional de Águas (ANA). Essas estações estão localizadas próximas à área em estudo e apresentam períodos históricos de monitoramento que variam entre 19 e 40 anos, considerando que algumas estações da ANA possuem registros mais recentes e, portanto, períodos históricos mais curtos.

Tabela 1 – Estações pluviométricas, com o código e localização geográfica.

Código	Monitoramento	Nome da Estação	Localização	
			Latitude	Longitude
1547021	CAESB	Barreiro	-15.83833	-47.62694
1547012	CAESB	Papuda	-15.95917	-47.66083
1547078	CAESB	ETE Vale do Amanhecer	-15.68194	-47.66306
1547022	CAESB	Rio Preto	-15.79194	-47.43278
1547040	ANA	Ribeirão Jacaré	-15.64110	-47.35610

Código	Monitoramento	Nome da Estação	Localização	
			Latitude	Longitude
1547041	ANA	Ribeirão Extrema	-15.82860	-47.41140
1547042	ANA	Rio Jardim	-15.90080	-47.45780
1547043	ANA	Córrego Lamarão	-15.96750	-47.47640
1647009	ANA	Rio São Bernardo	-16.03580	-47.41500
1547013	CAESB	Taquara	-15.63220	-47.52030

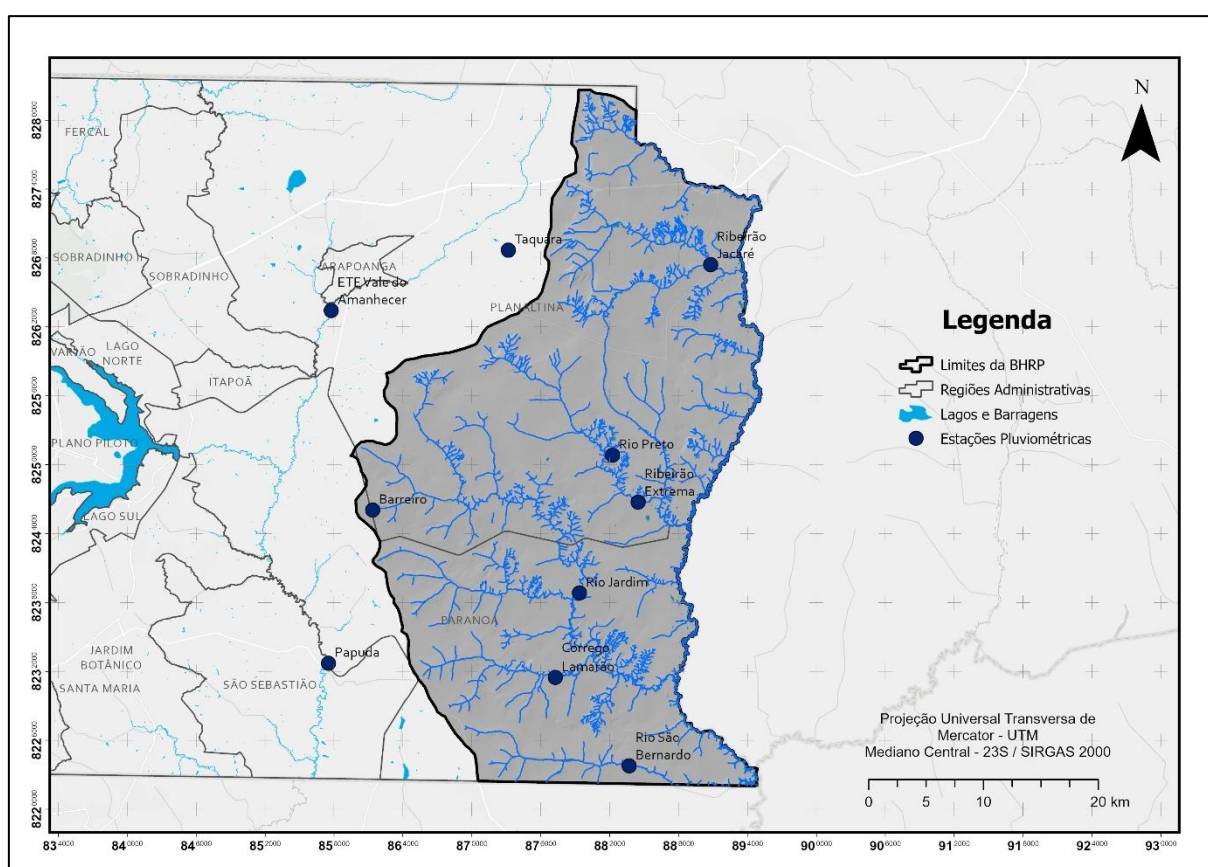


Figura 3 – Mapa de localização das estações pluviométricas definidas para o Fator R. Fonte: A autora.

As informações pluviométricas foram convertidas em valores do fator R e interpoladas pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW) no software ArcGIS Pro. Esse método foi selecionado por sua praticidade, abordagem direta e ampla aceitação na análise amostral, estimando valores a partir dos dados dos vizinhos mais próximos, ponderados pelo inverso da distância elevada a uma potência (AZPURUA e DOS RAMOS, 2010; CARUSO e QUARTA, 1998). Estudos indicam que o IDW é adequado para a modelagem da erosividade, apresentando

boa precisão e não exigindo pressupostos rigorosos sobre os parâmetros do modelo (LI e HEAP, 2008; ELBASTI et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015).

2.3.2. Fator de Erodibilidade do Solo (K)

O fator de erodibilidade do solo (K) representa a influência das propriedades físicas e químicas do solo na suscetibilidade à perda por erosão. Esse fator está diretamente relacionado às características texturais, ao teor de matéria orgânica e à composição granulométrica do solo, refletindo também na interação com a erosividade da chuva (PARVEEN e KUMAR, 2012).

Diferenças nas propriedades físicas dos solos podem fazer com que determinadas áreas sejam mais vulneráveis à erosão do que outras, mesmo que as variáveis externas, como declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas, permaneçam constantes (PHAM et al., 2018).

As fórmulas para cálculo do fator K tradicionalmente consideram parâmetros como a textura do solo, os teores relativos de areia, silte e argila, além da quantidade de matéria orgânica presente (MILLWARD; MERSEY, 1999). Entretanto, como apontam Panagos et al. (2015), a maior limitação para a modelagem da erosão em escalas espaciais amplas é a falta de dados detalhados sobre os atributos do solo.

Devido à complexidade e aos desafios logísticos para o levantamento detalhado dos tipos de solo em campo, a caracterização pedológica da bacia do Rio Preto foi realizada com base em dados espaciais obtidos por meio do Catálogo de Dados Espaciais do Distrito Federal (<https://catalogo.ipe.df.gov.br/>). Os valores atribuídos ao fator de erodibilidade do solo (K) foram extraídos de estudos científicos voltados às condições edáficas do bioma Cerrado, garantindo maior representatividade às características da região.

A Tabela 2 apresenta os principais tipos de solo identificados na área de estudo e os respectivos valores do fator K, conforme estabelecido na literatura especializada.

Tabela 2 – Tipos de solo existente e seus valores atribuídos ao fator K.

Tipo de Solo	Fator K (t h MJ⁻¹ mm⁻¹)	Referências
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,014	Chaves (2012)
Latossolo Vermelho	0,025	Chaves (2012)
Neossolo Quartzarênico	0,041	Farinasso et al. (2006)
Cambissolo Háplico	0,0237	Bloise et al. (2001)
Neossolo Flúvico	0,0197	Bloise et al. (2001)
Gleissolo Háplico	0,0355	Reatto et al. (2000)
Plintossolo Háplico	0,012	Chaves (2012)
Argissolos Vermelho-Amarelo	0,051	Farinasso et al. (2006)

2.3.3. Fator Topográfico (LS)

O fator LS representa o produto de dois subfatores principais: o comprimento do talude (L) e sua inclinação (S), ambos com influência direta no processo erosivo (SIMMS, 2003; RENARD et al., 1997). Dentre as variáveis utilizadas nos modelos de estimativa de perda de solo, o fator L é considerado um dos mais complexos de ser estimado em ambiente computacional, especialmente em áreas com morfologia irregular (FARINASSO et al., 2006; BOURENANNE et al., 2000).

Tradicionalmente, a estimativa do comprimento do declive era feita por meio de medições em campo, o que demandava tempo e custos elevados. Com o avanço dos estudos em áreas extensas e o desenvolvimento de novas metodologias, tornou-se possível aplicar e aprimorar tecnologias de geoprocessamento para esse fim, especialmente por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e MDEs (DONG et al., 2022; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; MONTGOMERY e DIETRICH, 1994).

A parametrização do fator topográfico LS pode ser realizada a partir de diferentes abordagens e algoritmos baseados na proposta clássica de Wischmeier e Smith (1978). Considerando as limitações do conceito original de comprimento da rampa, Moore e Burch (1986) propuseram uma adaptação utilizando a área de contribuição unitária, que permite

representar com maior precisão os processos erosivos sobre superfícies tridimensionais, principalmente em fluxos laminares sobre encostas (FARINASSO et al., 2006; ZHANG et al., 2013; AZIZIAN e KOOHI, 2021; MERTZ et al., 2017).

Segundo Moore e Burch (1986), processos de erosão ou deposição ocorrem geralmente em áreas de convergência de escoamento dentro de uma bacia hidrográfica. O modelo desenvolvido pelos autores considera o comprimento da inclinação como a distância entre o ponto de origem do fluxo superficial e o ponto onde o gradiente de declive se reduz suficientemente para permitir a deposição, ou onde o escoamento entra em um canal bem definido, natural ou artificial (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

De acordo com essa abordagem, entende-se que o fluxo laminar possui baixa capacidade de transporte de sedimentos e que a convergência ou divergência topográfica de uma bacia influencia diretamente a potência do fluxo e sua capacidade de deslocar partículas. Em terrenos tridimensionais, a perda de solo deixa de depender exclusivamente da distância entre os pontos de origem e destino do fluxo, sendo mais representativamente estimada com base na área de contribuição unitária (DESMET e GOVERS, 1996; MOORE e BURCH, 1986; BOURENANNE et al., 2000).

Com base nesse princípio, o modelo de Moore e Burch (1986) utiliza a área de contribuição e a declividade local para a geração do fator LS, conforme expressa a equação:

$$LS = \left(\frac{As}{22,13} \right)^m \left(\frac{\text{Sen}\beta}{0,0896} \right)^n \quad (4)$$

Em que, As (m^2/m) representa a área de contribuição de drenagem por unidade de largura, β é a declividade expressa em radianos, 22,13 e 0,0896 são os valores padrão de comprimento e inclinação utilizados na EUPS, e os expoentes m e n refletem a interação entre os tipos de fluxo e os processos de transporte e desprendimento do solo.

Neste trabalho, foram adotados os valores $m = 0,4$ e $n = 1,3$, conforme sugerido por Moore e Wilson (1992, 1994). Para terrenos com declives mais acentuados, Liu et al. (2013) indicam que o valor de m pode ser ajustado para 0,5, a fim de melhor representar a intensificação do transporte de sedimentos associada ao aumento da declividade.

A obtenção do comprimento linear do talude depende da definição da direção e da acumulação de fluxo, parâmetros que foram estimados com base em Modelos Digitais de Elevação (MDEs) por meio de ferramentas do *software ArcGIS Pro*. Para o cálculo desses parâmetros, destacam-se dois métodos determinísticos: o D8 (O'CALLAGHAN e MARK, 1984) e o D-infinito (TARBOTON, 1997).

O método D8 direciona o fluxo de cada célula para o vizinho com o maior declive, considerando apenas uma direção principal. Já o método D-infinito permite a distribuição do escoamento entre células adjacentes com base no gradiente mais acentuado, representando de forma mais realista situações de relevo complexo e múltiplas direções de fluxo (FREITAS et al., 2007; TURCOTTE et al., 2001).

Embora ambos os métodos gerem resultados válidos, optou-se neste estudo pela aplicação do método D-infinito para a estimativa da área de contribuição, considerando que esse método proporciona melhor desempenho na modelagem do fator L em comparação ao D8, como demonstrado por Farinasso et al. (2006), Nourani et al. (2011) e Pérez-Rodríguez et al. (2019). Zhang e Chu (2015) também observaram que o D-infinito resulta em uma representação mais detalhada das direções de fluxo e da conectividade hidrológica da bacia.

A equação de Moore e Burch (1986) foi implementada no *ModelBuilder* do *software ArcGIS Pro*, permitindo a automatização da sequência de operações necessárias à obtenção do fator LS. O fluxo de trabalho foi estruturado com base em funções raster e teve como insumos o MDE corrigido, a declividade, direção de fluxo e a acumulação de fluxo, além dos parâmetros fixos da equação.

As etapas executadas no ambiente *ModelBuilder* incluíram a conversão da declividade de graus para radianos, o cálculo da área de contribuição (obtida pela multiplicação da acumulação de fluxo pelo tamanho da célula), a aplicação dos expoentes m e n aos respectivos termos da equação e a multiplicação dos dois componentes para a obtenção do raster final do fator LS. A Figura 4 apresenta o diagrama do processo realizado no *ModelBuilder*.

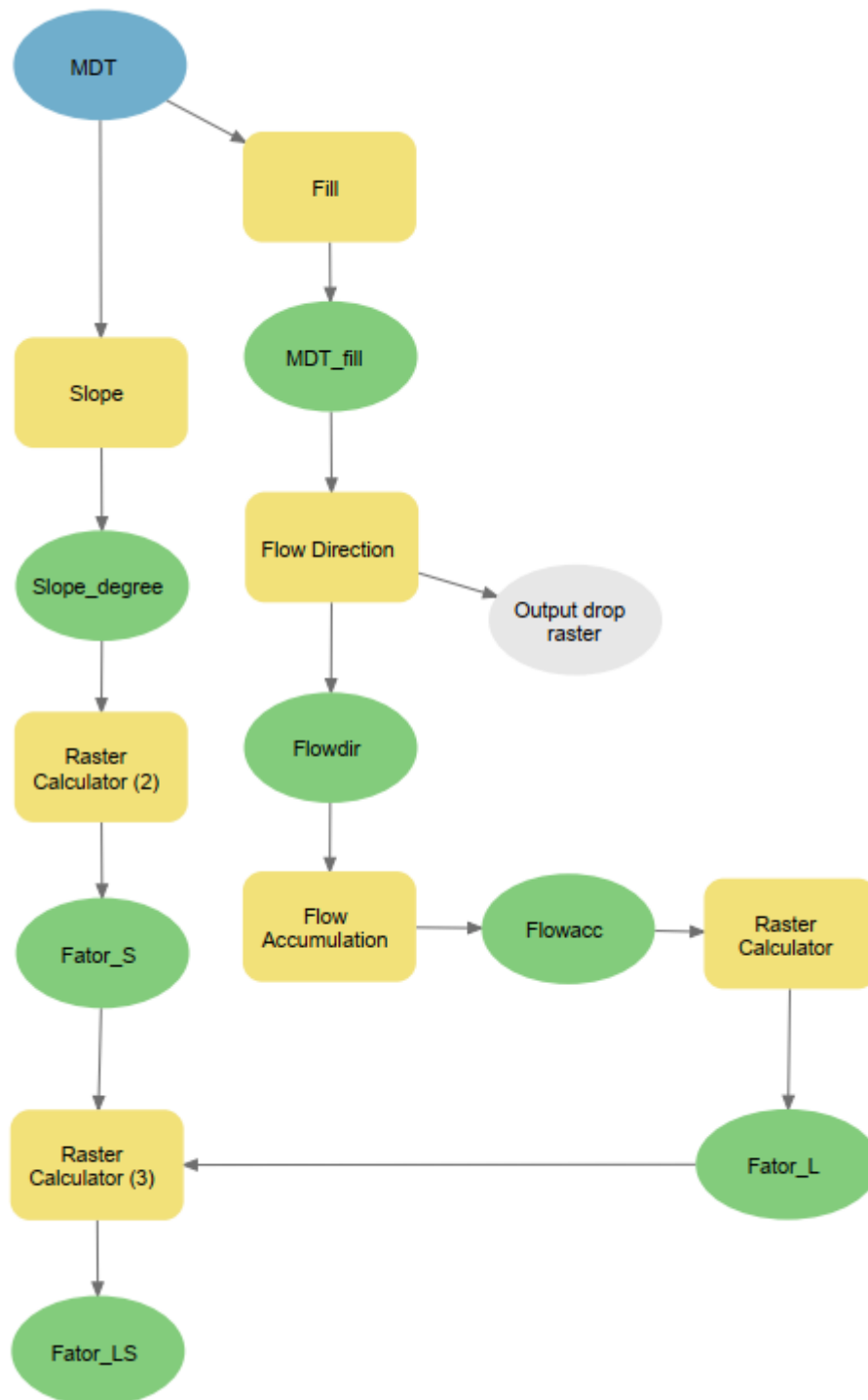


Figura 4 – Esquematização do cálculo do fator LS no *ModelBuilder* (*ArcGIS Pro*). Fonte: A autora.

2.3.4. Fator de Uso e Manejo do Solo (C)

O fator de uso e manejo do solo (fator C) expressa o efeito da cobertura vegetal na proteção do solo contra a ação erosiva da água das chuvas, conforme previsto na EUPS. Esse

fator representa a razão entre a perda de solo em uma área com cobertura e manejo específicos e a perda em uma área sem cobertura, com solo exposto ou arado (WISCHMEIER e SMITH, 1978; DURIGON et al., 2014).

A estimativa do fator C pode ser desafiadora, pois exige a integração de informações sobre a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra, além do conhecimento das práticas agrícolas locais (GABRIELS et al., 2003; ALEWELL Et al., 2019). Para áreas extensas, o monitoramento contínuo e direto no campo torna-se impraticável em função do tempo, custo e logística. Por isso, ao longo do tempo, surgiram métodos alternativos baseados em sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, permitindo uma abordagem mais ágil e padronizada.

Atualmente, é comum a adoção de valores de fator C atribuídos com base na literatura especializada, aplicados a mapas de uso e cobertura da terra derivados de imagens de satélite (BENAVIDEZ et al., 2018; ALMAGRO et al., 2019). Uma das técnicas mais utilizadas é a aplicação de índices de vegetação, especialmente o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que permite estimar a densidade e distribuição da vegetação com base nas respostas espectrais da superfície terrestre (KARABURUN, 2010; PATIL e SHARMA, 2014).

O índice NDVI, proposto por Tucker (1979), é calculado pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), conforme a equação:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (5)$$

Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Valores próximos de zero ou negativos indicam superfícies sem vegetação, como solo exposto, áreas urbanas ou corpos d'água. Valores entre 0,2 e 0,5 estão associados a vegetação esparsa, como pastagens e arbustos, enquanto valores entre 0,6 e 0,9 indicam vegetação densa, típica de florestas (AYALEW et al., 2020; GWAPEDZA et al., 2021).

Vale destacar que o NDVI é sensível à época do ano em que a imagem é adquirida, já que a vegetação responde diretamente à variação na precipitação e disponibilidade hídrica. Assim, a seleção de imagens para esse tipo de análise deve considerar a sazonalidade local (DURIGON et al., 2014). Por esse motivo, neste estudo foi utilizada uma imagem do satélite do LANDSAT 5, com resolução espacial de 30 metros, referente ao período seco do ano 2000.

Essa escolha visou garantir maior compatibilidade temporal com o MDT empregado na estimativa do fator LS, também gerado no ano de 2000, proporcionando maior coerência e confiabilidade aos dados.

Após a geração do mapa de NDVI, foi aplicada a metodologia proposta por Durigon et al. (2014) para estimar o fator C a partir dos valores do índice de vegetação. A equação utilizada foi:

$$C_r = \frac{-NDVI+1}{2} \quad (6)$$

Esse método estabelece uma correspondência direta entre a densidade de cobertura vegetal e o valor do fator C. Quanto menor o valor de C, maior a proteção do solo contra erosão; por outro lado, valores próximos de 1 indicam superfícies com baixa cobertura e alta suscetibilidade à perda de solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978; DONZELLI et al., 1987).

Diversos autores aplicaram o NDVI como base para estimativa do fator C em áreas extensas. Ayalew et al. (2020) quantificaram o fator C exclusivamente com base no NDVI em uma paisagem agrícola. Patil e Sharma (2014) e Karaburun (2010) utilizaram análises de regressão com valores de NDVI para modelar o fator C em diferentes tipos de uso do solo. Já Almagro et al. (2019) compararam três métodos diferentes baseados em NDVI para cálculo do fator C, no contexto de avaliação de perdas de solo com a EUPS.

2.3.5. Fator de Práticas Conservacionistas (P)

O fator P representa o efeito relativo das práticas de manejo implementadas para reduzir a erosão hídrica, principalmente em áreas agrícolas. Tais práticas visam alterar a direção e a velocidade do escoamento superficial ou dissipar a energia das águas pluviais, contribuindo para a conservação do solo ao reduzir sua desagregação e transporte (RENARD et al., 1997).

Na formulação EUPS, Wischmeier e Smith (1978) e Renard et al. (1997) associaram o fator P a práticas conservacionistas como o cultivo em contorno (aração e plantio seguindo as curvas de nível), o plantio em faixas, a construção de terraços e a drenagem subterrânea. Os valores atribuídos ao fator P derivam de experimentos de campo, que quantificaram a redução da perda de solo em relação ao cultivo convencional no sentido da declividade.

A aplicação do fator P em escalas territoriais amplas, como bacias hidrográficas, apresenta limitações práticas e metodológicas, principalmente pela ausência de dados precisos sobre o tipo, a intensidade e a localização das práticas conservacionistas adotadas. Diante disso, é comum que estudos recorram à atribuição de valores de P com base no uso e cobertura do solo, definidos a partir de dados de sensoriamento remoto.

Neste estudo, os valores do fator P foram atribuídos com base na classificação de uso e cobertura do solo disponibilizada pelo Geoportal/DF, referente ao ano de 2001, elaborada a partir de imagens do satélite LANDSAT adquiridas no período seco. As áreas com vegetação nativa preservada ou em processo de regeneração foram atribuídas com valor unitário ($P = 1,0$), visto que, nesses locais, não se aplicam práticas conservacionistas antrópicas. Nessas áreas, o efeito de proteção contra a erosão está contemplado de forma mais adequada pelo fator C.

Já para as áreas agrícolas, embora avaliações em campo mais recentes indiquem a presença de práticas de manejo conservacionista, não foi possível identificar, de forma sistemática e retroativa, quais práticas estavam efetivamente implementadas no momento correspondente à imagem utilizada. Como medida conservadora, e considerando a incerteza quanto à existência dessas práticas no período analisado, optou-se pela atribuição de $P = 1,0$ também para as áreas cultivadas.

Essa abordagem busca evitar a superestimação da eficiência das práticas de manejo, mantendo a coerência metodológica com os dados históricos disponíveis e assegurando maior confiabilidade aos resultados da estimativa de perda de solo.

3. RESULTADOS E DISCURSSÃO

3.1. Resultado da Erosividade das Chuvas – Fator R

Para estimar a erosividade da chuva na área de estudo, foi elaborado um mapa do Fator R, a partir da interpolação dos dados de 10 pontos amostrais, utilizando o método IDW. O mapa resultante apresentou valores de Fator R variando entre 5.239,52 e 7.474,82 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (Tabela 3), com destaque para a porção centro-sul da bacia, onde se concentram os maiores valores de erosividade, representados por tons mais escuros. Já as áreas com valores mais baixos estão localizadas, principalmente, ao norte e oeste da bacia. Essa distribuição espacial reflete as variações na intensidade e frequência das chuvas, influenciadas por fatores locais de relevo e dinâmica climática.

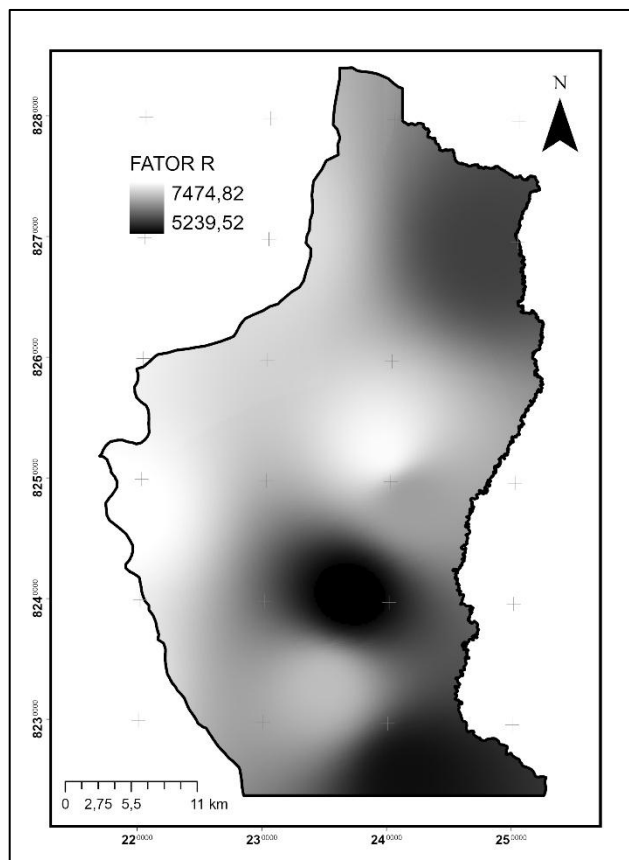


Figura 5 – Mapa do fator R. Fonte: A autora.

Tabela 3 – Estações pluviométricas, com o código e localização geográfica.

Nome da Estação	Localização		EI30ano
	Latitude	Longitude	
Barreiro	-15.83833	-47.62694	7.474,82
Papuda	-15.95917	-47.66083	7.400,82
ETE Vale do Amanhecer	-15.68194	-47.66306	7.417,64
Rio Preto	-15.79194	-47.43278	7.413,41
Ribeirão Jacaré	-15.64110	-47.35610	5.847,09
Ribeirão Extrema	-15.82860	-47.41140	6.639,33
Rio Jardim	-15.90080	-47.45780	5.239,52
Córrego Lamarão	-15.96750	-47.47640	6.896,00
Rio São Bernardo	-16.03580	-47.41500	5.431,61
Taquara	-15.63220	-47.52030	7.193,05

Como forma de avaliar o espaçamento efetivo entre os pontos amostrais utilizados na interpolação IDW, foi utilizada a Distância Euclidiana no *Arcgis Pro*. A Figura 6 demonstra que a maior parte da bacia apresenta distâncias inferiores a 1,03km, indicando que os pontos estão razoavelmente distribuídos ao longo da área de estudo. As regiões centrais da bacia, representadas pelas cores verdes, estão mais próximas dos pontos de coleta, o que garante maior confiabilidade nos valores interpolados. Em contrapartida, nas áreas mais periféricas, com coloração mais amarelada, a distância até o ponto mais próximo é maior, indicando maior extrapolação e, portanto, maior incerteza nos valores estimados para o Fator R. Essa análise espacial reforça a importância de considerar a distribuição amostral na interpretação dos resultados e na tomada de decisão para o planejamento ambiental da bacia.

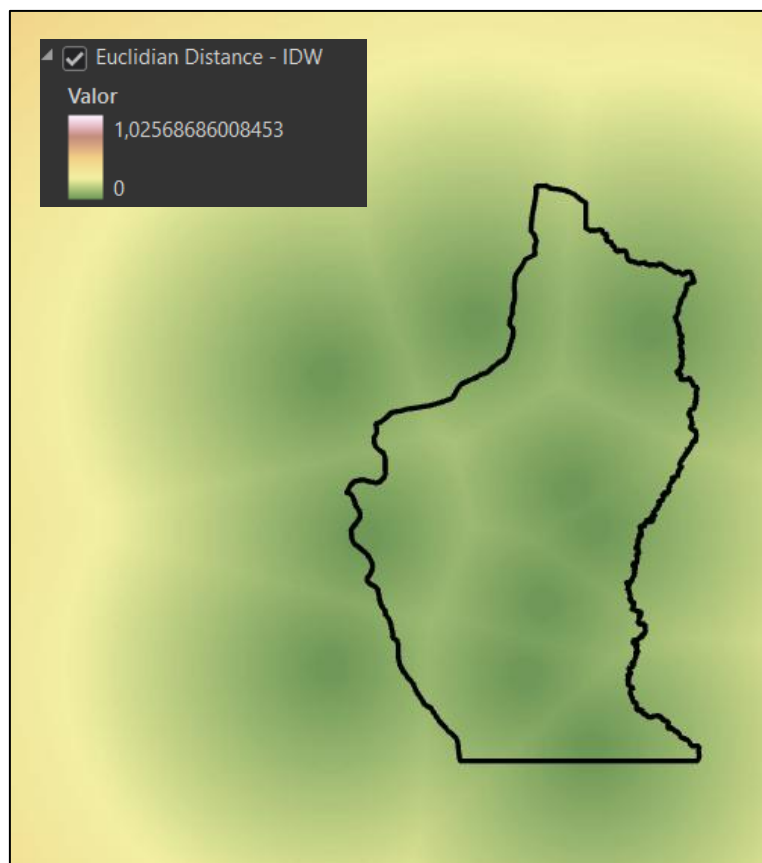


Figura 6 – Demonstração da Distância Euclidiana aplicada no Fator R. Fonte: A autora.

O autor Galdino (2015), ao mapear a erosividade da chuva com base em 88 estações pluviométricas, observou valores entre 7.425 e 9.633 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para o Centro-Oeste brasileiro, utilizando também interpolação por IDW. Já o Distrito Federal apresentou erosividade oscilando entre 7.796 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ e 8.348 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. Da mesma forma, Silva et al. (1997) relataram uma média anual de 8.353 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para a cidade de Goiânia. Assim, os valores encontrados para a Bacia Hidrográfica do Rio Preto situam-se dentro da faixa esperada para a região, evidenciando uma erosividade classificada como moderada a forte, de acordo com os critérios levantados por Lombardi Neto (1984), Silva (1997) e Galdino (2015).

3.2. Resultado da Erodibilidade do Solo – Fator K

Devido as formas propostas na literatura para aquisição primária do fator de erodibilidade, optou-se por utilizar dados da literatura já evidenciados em estudos, pois sua determinação experimental para grandes áreas, requerem um grande espaço amostral, o que poderia dificultar o desenvolvimento da pesquisa (BAPTISTA, 2000).

A erodibilidade do solo é um importante índice para avaliar a susceptibilidade do solo à erosão. Assim sendo, o valor de K divergiu de 0,012 t ha h/ha MJ mm a 0,051 t ha h/ha MJ mm (Figura 7). Solos com valores mais altos de K indicam maior suscetibilidade à erosão do solo, enquanto valores mais baixos de K indicam menor suscetibilidade à erosão do solo (KUMAR e KUSHWAHA, 2013).

Essa variação espacial acompanha, em parte, o padrão de distribuição das classes de solos mostradas no mapa à esquerda, onde predominam os Latossolos Vermelhos (LV, LVA), solos profundos e bem desenvolvidos, geralmente com baixo fator K, reforçando a coerência entre os dados pedológicos e os resultados de erodibilidade (SILVA, et al., 1994).

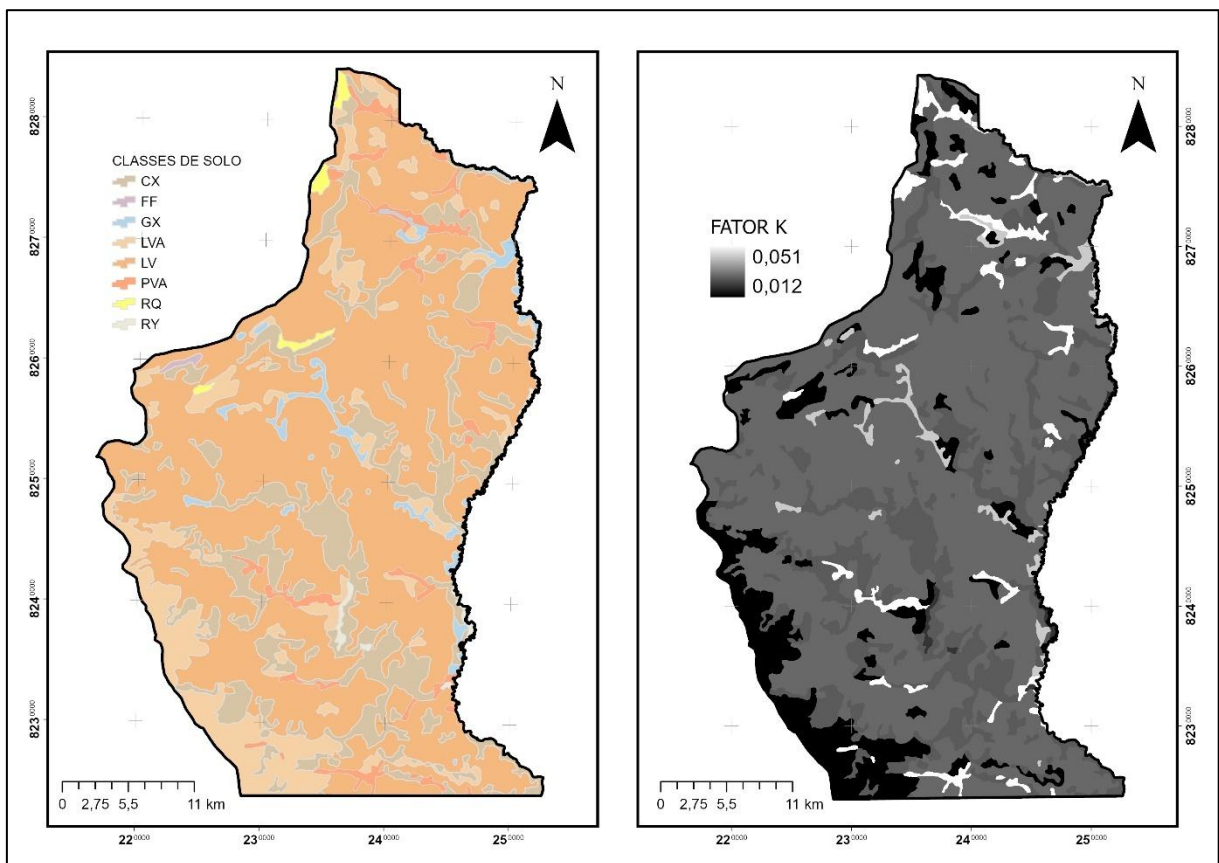


Figura 7 – Mapa do fator K. Fonte: A autora.

3.3. Resultados de Cobertura do Solo e Práticas Conservacionistas - Fator C e P

O Fator C representa o impacto da cobertura vegetal e do manejo do solo na redução da erosão hídrica. Os valores obtidos para a área de estudo variam entre 0,219 e 0,608, conforme demonstra a Figura 8, o que indica uma predominância de áreas com cobertura vegetal esparsa e práticas agrícolas convencionais, associadas a maior vulnerabilidade à erosão.

A distribuição espacial do Fator C apresenta correlação com os valores de NDVI, apresentado também na Figura 8. As regiões com NDVI mais elevado, indicam maior densidade de cobertura vegetal, apresentam menores valores de Fator C, denotando maior proteção do solo contra processos erosivos. Por outro lado, áreas com NDVI baixo, reflexo de solo exposto, vegetação rala ou culturas agrícolas recém-implantadas, apresentaram valores de C próximo a 0,6, caracterizando elevada suscetibilidade à erosão.

Essa relação inversa entre NDVI e Fator C já é amplamente relatada na literatura. Segundo Durigon et al. (2014), o uso do NDVI para estimativa do Fator C tem se mostrado uma metodologia eficaz em levantamentos espaciais, especialmente em áreas agrícolas. Oliveira et al. (2021) também observaram valores de Fator C entre 0,2 e 0,7 em regiões do bioma Cerrado, com variações diretamente influenciadas pelo manejo agrícola e tipo de cobertura.

Devido a realidade de uso do território da área de estudo adotou-se 1 para o fator P, indicando a não existência de práticas conservacionistas. Tal decisão buscou adotar uma postura conservadora, evitando a subestimação das perdas potenciais de solo. No entanto, é possível reconhecer que esta abordagem pode ter gerado uma superestimação localizada da suscetibilidade à erosão, sobretudo em áreas agrícolas onde práticas básicas, como plantio em nível ou terraceamento, poderiam estar presentes sem registro documental.

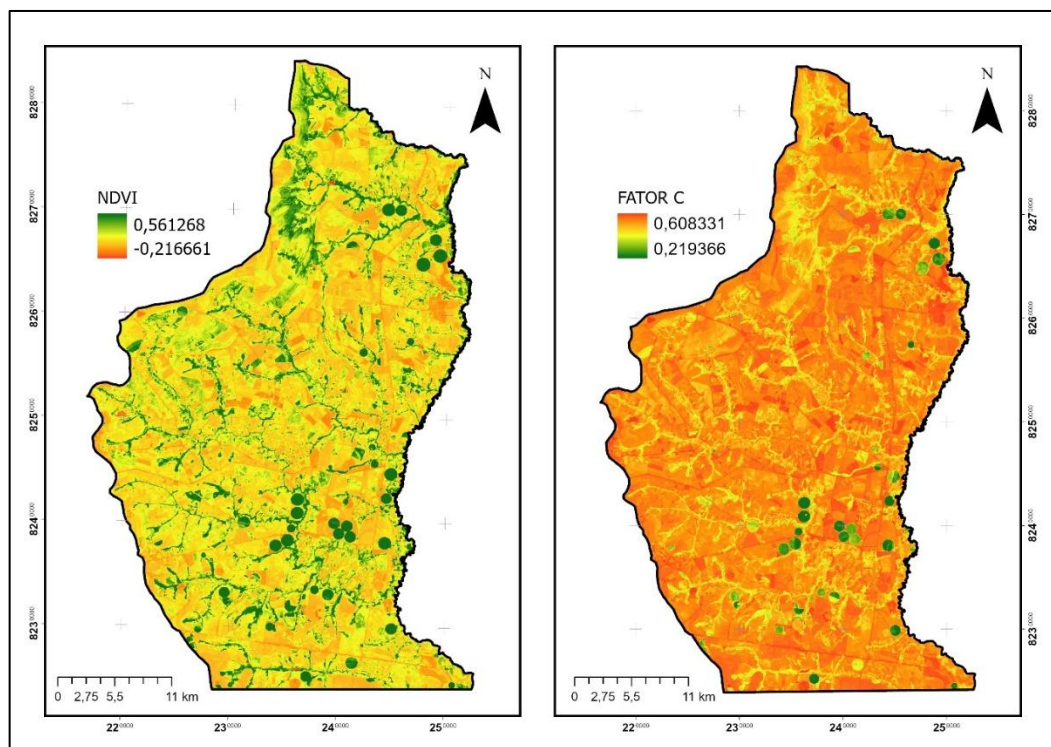


Figura 8 – Mapa do NDVI e Fator C. Fonte: A autora.

3.4. Resultados do Fator Topográfico – Fator LS

O uso da metodologia proposta por Moore e Burch (1986) para o conhecimento do fator LS na área de estudo possibilitou apresentar espacialmente as diferenças no potencial erosivo do escoamento superficial. A teoria da potência unitária, formulada por esses autores, demonstra que o escoamento superficial possui energia suficiente para desagregar e transportar partículas do solo à medida que se desloca no sentido do declive (DURÃES e MELLO, 2016).

O método foi implementado de forma automatizada no software *ArcGIS Pro*, representando um avanço significativo para a determinação do fator LS. Os cálculos dos fatores L (comprimento de rampa) e S (declividade) foram executados separadamente e, posteriormente, multiplicados para gerar o fator LS final. Esse procedimento permitiu uma modelagem mais precisa da influência do relevo sobre os processos erosivos, sobretudo em escala de bacia hidrográfica.

Para evitar a superestimação dos valores do fator LS em áreas ocupadas por canais de drenagem, foi aplicado um limiar ao raster de fluxo de acumulação. Células com valores superiores a 5.000, que representam áreas de concentração de escoamento superficial (rios e canais), foram excluídas do processamento por meio de uma operação condicional no *Raster Calculator*. Dessa forma, consideraram-se apenas as áreas de encosta relevantes para o processo erosivo, garantindo maior coerência na espacialização do fator LS dentro da bacia hidrográfica estudada. Além disso, a declividade desempenha papel central na determinação do fator LS, pois influencia diretamente a velocidade e a energia do escoamento superficial. Em áreas com maior inclinação, o fluxo concentrado tende a adquirir maior energia, intensificando os processos de erosão.

No presente estudo, a análise espacial do fator LS revelou a predominância de valores baixos em grande parte da área, refletindo a presença de relevos planos a suavemente ondulados, os quais apresentam menor potencial erosivo. Por outro lado, valores mais elevados do fator LS, chegando a 404,17 (Figura 9), foram identificados principalmente em encostas íngremes e fundos de vale, zonas naturalmente mais suscetíveis à erosão hídrica devido ao maior comprimento de rampa e à declividade acentuada.

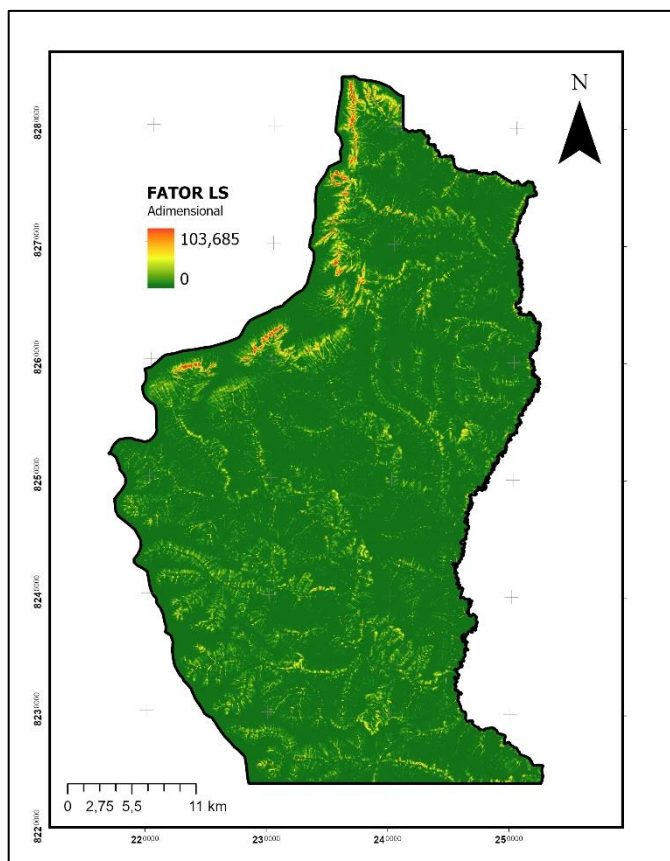


Figura 9 – Mapa do Fator LS. Fonte: A autora.

3.5. Áreas Suscetíveis a perda de solo (EUPS)

A análise do potencial de perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, com base na aplicação da EUPS, possibilitou a identificação da distribuição espacial das áreas suscetíveis à erosão, classificadas em faixas de perda estimada em ton/ha/ano. As classes adotadas foram adaptadas de Souza e Sobreira (2017), sendo: fraca (< 400), moderada (400 a < 800), moderada a forte (800 a < 1.600) e forte (≥ 1.600).

Os resultados revelaram que a classe fraco (< 400 ton/ha/ano) abrange uma área de 1.285,32 km², o que corresponde a 97,15% da bacia. As classes moderado, moderado a forte e forte ocupam, respectivamente, áreas de 30,29 km² (2,29%), 6,36 km² (0,48%) e 1,12 km² (0,08%). Esses valores expressam a frequência relativa das classes, ou seja, o percentual da área total da bacia que se encontra em cada faixa de potencial erosivo, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição das classes de erosão e perdas de solo. Adaptado por Souza e Sobreira (2017).

Classes de potencial perdas de solos	Perdas de solo (ton/ha/ano)	Área em m²	Frequência relativa (%)	Frequência acumulada (%)
Fraco	<400	1.285,32	97,15	97,15
Moderado	400 – 800	30,29	2,29	99,44
Moderado a forte	800 – 1.600	6,36	0,48	99,92
Forte	>1.600	1,12	0,08	100,00

A análise da frequência acumulada, que corresponde à soma progressiva das frequências relativas, reforça a predominância de áreas com baixa suscetibilidade à erosão: até a classe “moderado”, a frequência acumulada já alcança 99,44%, indicando que praticamente toda a bacia apresenta perdas de solo estimadas inferiores a 800 ton/ha/ano. Com a inclusão da classe “moderado a forte”, essa proporção atinge 99,92%. Apenas 0,08% da bacia encontra-se na categoria de maior potencial de perda (“forte”), evidenciando a ocorrência pontual de áreas críticas, sob a ótica do modelo aplicado.

O mapa de suscetibilidade à erosão (Figura 10) ilustra espacialmente a distribuição das classes de perda de solo estimada na bacia. Visualmente, observa-se a predominância da classe “fraco”, representada por tonalidades de verde, cobrindo a maior parte da bacia, o que está de acordo com os dados apresentados na Tabela 4. As classes de maior potencial erosivo (moderado a forte e forte), representadas por tons de amarelo e laranja, ocorrem de forma pontual, especialmente em regiões ao norte e nordeste da bacia, áreas onde foram identificadas declividades mais acentuadas na análise do fator topográfico (LS). Esses locais são, portanto, mais suscetíveis ao escoamento superficial concentrado e à perda de solo. A representação cartográfica permite uma avaliação espacial clara e integrada, facilitando a identificação de zonas prioritárias para manejo conservacionista e subsidiando o planejamento ambiental e territorial da bacia.

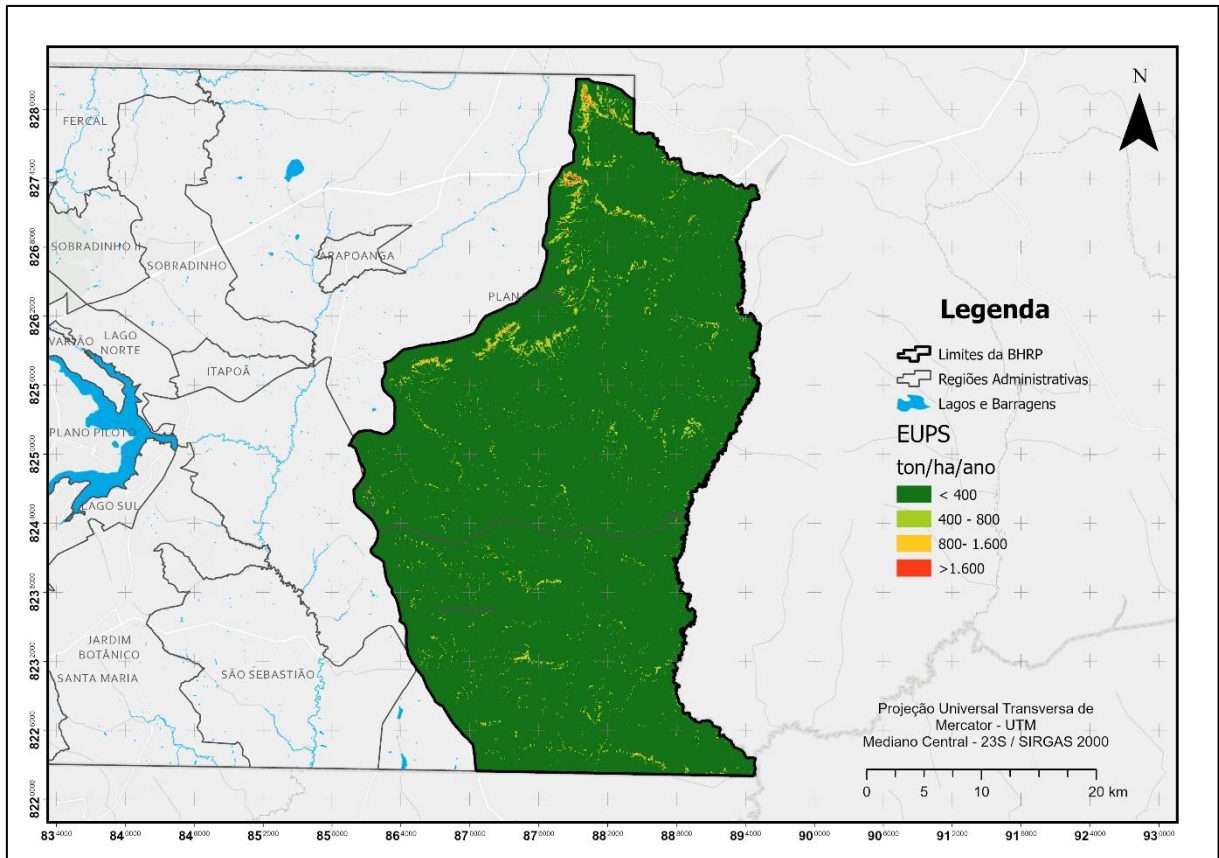


Figura 10 – Mapa das áreas susceptíveis a processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Preto.
 Fonte: A autora.

É importante destacar que os dados utilizados se referem ao ano de 2000, e que os resultados obtidos representam estimativas geradas por modelagem matemática, não refletindo necessariamente a dinâmica atual dos processos erosivos. Assim, os valores apresentados correspondem a um cenário histórico. A repetição dessa análise em diferentes períodos, com dados atualizados e em maior resolução espacial, pode contribuir significativamente para o monitoramento da evolução da erosão ao longo do tempo, especialmente diante de mudanças no uso e cobertura da terra.

Dessa forma, a aplicação da EUPS demonstrou-se eficaz como ferramenta de diagnóstico ambiental em escala de bacia hidrográfica, permitindo identificar áreas prioritárias para conservação do solo e planejamento territorial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da EUPS na Bacia Hidrográfica do Rio Preto permitiu estimar, de forma espacializada, a suscetibilidade à erosão hídrica a partir da integração de fatores ambientais e antrópicos. A abordagem adotada, baseada em dados do ano de 2000 e estruturada em ambiente SIG, demonstrou-se eficaz na identificação de áreas prioritárias para o manejo conservacionista do solo e na produção de subsídios técnicos aplicáveis à gestão ambiental da região.

O fator R (erosividade da chuva) apresentou valores coerentes com a dinâmica pluviométrica do Distrito Federal, variando entre 5.239,52 e 7.474,82 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. A interpolação espacial indicou maior erosividade nas porções centro-sul da bacia, o que contribui para o aumento do potencial erosivo em áreas onde coincidem outros fatores de risco. A boa distribuição das estações pluviométricas utilizadas conferiu confiabilidade ao mapeamento, ainda que a extrapolação em áreas periféricas demande atenção em futuras análises.

O fator K (erodibilidade do solo) foi estimado com base em dados secundários da literatura especializada, considerando os tipos de solo mapeados para a região. Os valores variaram entre 0,012 e 0,051 $\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, com os maiores índices associados a Neossolos Quartzarênicos e Argissolos, evidenciando a importância das características edáficas na determinação da vulnerabilidade à erosão.

No que se refere ao fator LS (topografia), a adoção da equação de Moore e Burch (1986) permitiu representar adequadamente a influência do relevo sobre os processos erosivos, incorporando área de contribuição e declividade com base no MDT aplicado. O pré-processamento para exclusão de canais de drenagem evitou a superestimação dos valores em áreas naturalmente protegidas. Ressalta-se, entretanto, que a utilização de MDT com resolução espacial mais elevada, como os derivados de dados LiDAR ou sensores orbitais mais recentes, pode aumentar a precisão da modelagem topográfica e permitir a identificação de microvariações do relevo que não são captadas por modelos com resolução de 12,5 ou 30 metros. Essa abordagem representa uma possibilidade para trabalhos futuros, especialmente em bacias de menor escala ou em regiões com forte compartimentação do relevo.

O fator C (uso e cobertura do solo) foi estimado a partir do índice de vegetação NDVI, obtido por imagem LANDSAT do ano de 2000. Os valores oscilaram entre 0,219 e 0,608, indicando

a presença de áreas com cobertura vegetal densa, mas também zonas com vegetação esparsa e maior exposição do solo, especialmente nas áreas agrícolas. A aplicação da equação proposta por Durigon et al. (2014) mostrou-se adequada para representar o efeito da vegetação sobre a proteção superficial.

Por fim, o fator P (práticas conservacionistas) foi atribuído com valor unitário ($P = 1,0$) para toda a área de estudo, em virtude da ausência de informações sistematizadas sobre a adoção de práticas de conservação do solo no período correspondente à imagem utilizada. Essa decisão metodológica foi adotada de forma conservadora, a fim de evitar a superestimação da eficácia de manejos não confirmados historicamente.

A análise integrada dos fatores da EUPS resultou em uma estimativa de perda potencial de solo concentrada majoritariamente na classe fraco, com 97,15% da bacia apresentando valores inferiores a 400 ton/ha/ano. As classes “moderado”, “moderado a forte” e “forte” somaram, juntas, apenas 2,85% da área, indicando uma ocorrência pontual de regiões mais suscetíveis. A frequência relativa e acumulada reforçam esse padrão, destacando a baixa vulnerabilidade erosiva da bacia no período analisado.

Embora os resultados reflitam um cenário histórico, o modelo aplicado demonstrou-se eficaz para fins de diagnóstico ambiental e planejamento territorial. A utilização de dados e ferramentas de acesso público, como o MDT do TOPODATA e imagens LANDSAT, reforça a viabilidade da metodologia proposta, tanto para fins acadêmicos quanto para gestão pública. Recomenda-se a continuidade dos estudos com dados mais recentes, a adoção de MDTs de maior resolução espacial e a validação em campo dos pontos críticos identificados, visando aprimorar o monitoramento e a conservação dos recursos naturais na Bacia do Rio Preto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZPURUA, M.; DOS RAMOS, K. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. **Progress In Electromagnetics Research M**, v. 14, p. 135–145, 2010.
- BACK, Á. J. Estimates de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo. Florianópolis: Epagri, 2023. 80p. (Epagri. Boletim Técnico, 210).
- BAPTISTA, G. M. M.; EID, N. J. Análise de quatro métodos indiretos de determinação da erodibilidade (fator K da USLE) dos grandes grupos de solos do Distrito Federal. **Sociedade & Natureza (UFU. Impresso)**, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BLOISE, G. de L. F. et al. Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria-DF. 2001.
- CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation methods comparison. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 35, n. 12, p. 109–126, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(98\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(98)00101-1)
- CHAVES, H. M. L. Projeto produtor de água, bacia do rio Taquarussu. 2º Relatório de Consultoria, Produto D.1. Consultor: Henrique M. L. Chaves, PhD, TNC-SANEATINS, 2012.
- DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na bacia hidrográfica do rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 677–685, 2016.
- DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F. de; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 8, p. 2920–2934, 2014.
- ELBASIT, M. A.; HUANG, J.; OJHA, C. S. P.; YASUDA, H.; ADAM, E. O. Spatiotemporal changes of rainfall erosivity in Loess Plateau, China. **ISRN Soil Science**, p. 1–8, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/256352>.

FARINASSO, M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal da Perda de Solos – utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba (PI/MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.º 2, p. 73–85, 2006.

GALDINO, S. Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015.

KUMAR, S.; KUSHWAHA, S. P. S. Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed. **Journal of Earth System Science**, v. 122, n. 2, p. 389–398, 2013.

LI, J.; HEAP, A. D. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. Canberra: Geoscience Australia, 2008. 154p.

LOMBARDI NETO, F. Erosividade das chuvas de Campinas, SP. **IPEF**, n. 27, p. 81–92, 1984.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, São Paulo. **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189–196, 1992.

MESQUITA, L. F. G.; LINDOSO, D.; RODRIGUES FILHO, S. Crise hídrica no Distrito Federal: o caso da Bacia do Rio Preto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v28i0.14097>.

OLIVEIRA, J. L. A. et al. Estimativa do fator C da RUSLE com base no NDVI para áreas agrícolas no Cerrado. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 2415–2431, 2021.

OLIVEIRA, J. P. B.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, p. 558–563, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i4a4998>.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: **USDA**, 1997. 404 p. (Agricultural Handbook, 703).

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; ROSALEM, L. M. P. Índices de erosividade da chuva para o município de Goiânia (GO). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 809–822, 1997.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M. S. de; FERREIRA, M. M.; NETO, F. L. Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p. 1751–1761, 1994. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1994.v29.4231>.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1978. (USDA Agriculture Handbook, n.º 537).

XU, Y. Q. et al. Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountain karst watershed, Guizhou Province, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 141, n. 1–3, p. 275–286, 2008.

LU, S. et al. Soil erosion topographic factor (LS): Accuracy calculated from different data sources. **Catena**, v. 187, n. June, p. 104334, 2020.

SOUZA, L.; SOBREIRA, F. (2017). A avaliação da geração de sedimentos ao longo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo. potencial natural de erosão, feições morfológicas e cicatrizes de movimentos de massa. **Geociências**. 36. 285-299. <http://doi.org/10.5016/geociencias.v36i2.12583>.



ATA N° 3787/2025 - CEAD (12.28.01.36)

N° do Protocolo: 23083.042819/2025-33

Seropédica-RJ, 05 de agosto de 2025.

ATA DE DEFESA

Aos quatro dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às dezesseis horas, através de web conferência, instalou-se a banca examinadora de Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, da cursista **Estéfani Jesus dos Santos** sob a orientação da professora **Edileuza Dias de Queiroz**. A banca examinadora foi composta pelos pesquisadores **Patrícia de Oliveira Plácido** e **Odilon Cavalcante de Barros Júnior**. A defesa do TCC intitulado “**Identificação de zonas susceptíveis à erosão em bacia hidrográfica do Distrito Federal a partir da EUPS**”, foi iniciada às dezesseis horas e dez minutos e teve a duração de dezesseis minutos de apresentação seguida da avaliação pela banca. A cursista, após avaliada pela banca examinadora obteve o resultado:

(X) APROVADA, devendo a cursista proceder a eventual revisão solicitada pela supervisora e /ou pela banca, e entregar a versão final em até 15 dias à coordenação do Curso.

() NÃO APROVADA.

Seropédica, 04 de agosto de 2025.

Patrícia de Oliveira Plácido

Primeira Examinadora

Odilon Cavalcante de Barros Junior

Segundo Examinador

Edileuza Dias de Queiroz

Presidente

Estéfani Jesus dos Santos

Cursista

(Assinado digitalmente em 05/08/2025 11:08)

EDILEUZA DIAS DE QUEIROZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIM (12.28.01.00.00.87)
Matrícula: ###65#1

(Assinado digitalmente em 05/08/2025 12:30)

ESTEFANI JESUS DOS SANTOS
DISCENTE
Matrícula: 2024#####0

(Assinado digitalmente em 07/08/2025 16:56)

PATRICIA DE OLIVEIRA PLACIDO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.617-##

(Assinado digitalmente em 05/08/2025 11:00)

ODILON CAVALCANTE DE BARROS JUNIOR

DISCENTE

Matrícula: 2025#####0

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **3787**, ano: **2025**, tipo: **ATA**, data de emissão: **05/08/2025** e o código de verificação: **d887ae7ee0**