



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental  
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Isabela Aparecida Acipreste Ribeiro**

**Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo  
(EUPS) por meio de Sistema de Informação Geográfica  
(SIG) em bacia de contribuição de reservatório para  
retenção de sedimentos de mineração**

Ouro Preto

2022

Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em bacia de contribuição de reservatório para contenção de sedimentos de mineração

Isabela Aparecida Acipreste Ribeiro

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 29/06/2022

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientador: Guilherme José Cunha Gomes

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R484a Ribeiro, Isabela Aparecida Acipreste.

Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em bacia de contribuição de reservatório para contenção de sedimentos de mineração. [manuscrito] / Isabela Aparecida Acipreste Ribeiro. - 2022.

44 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme José Cunha Gomes.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Equação Universal de Perdas de Solo (USLE). 2. Sistema de Informação Geográfica (SIG). 3. Erosão - Erosão laminar. 4. Sedimentos (Geologia) - Contenção. I. Gomes, Guilherme José Cunha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:502

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB - 1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Isabela Aparecida Acipreste Ribeiro**

### **Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em bacia de contribuição de reservatório para contenção de sedimentos de mineração**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 29 de Junho de 2022

#### Membros da banca

Dra. Livia Cristina Pinto Dias - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. César Falcão Barella - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Frederico Garcia Sobreira - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Guilherme José Cunha Gomes, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jose Cunha Gomes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/07/2022, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0366157** e o código CRC **E2430CC4**.

*Dedico este trabalho aos meus pais, Andréa e Sergio, que sonharam com esse momento tanto quanto eu.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força e perseverança me ofertada.

À Nossa Senhora Aparecida, por sempre me cobrir com seu manto divino.

Aos meus pais, Andréa e Sergio, por serem sempre os melhores exemplos a serem seguidos, por confiarem em mim e acreditarem que a minha educação e a dos meus irmãos foi sempre seu melhor investimento.

Aos meus irmãos, André e Hugo, por serem quem são e terem participado do meu desenvolvimento.

Ao Professor Guilherme, pela disponibilidade, por me orientar com excelência de forma prática e por contribuir com minha formação.

À Giovanna e Julia, que mesmo longe sempre foram meu apoio emocional.

À Camilla e Lucas, que muito além de amigos, foram também a família que precisei em Ouro Preto.

Ao Marcelo, não só por todo o apoio e parceria me dado ao longo da graduação, mas também por acreditar mais em mim que eu mesma.

Ao Fernando, que me auxiliou como pode neste trabalho e sempre demonstrou empatia e consideração por mim.

À República Indignação, que se fez meu lar nos meus últimos meses em Ouro Preto, por deixarem esse período da minha vida mais leve e divertido e por me ensinarem o significado de companheirismo.

## RESUMO

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é um modelo empírico que estima o quantitativo de sedimentos que se desprende do solo em regiões afetadas pela erosão hídrica laminar. O modelo é importante dentro dos estudos da Engenharia Ambiental por fornecer métricas que permitem o planejamento do uso e ocupação do solo, a otimização dos recursos naturais, o monitoramento e estudos de bacias hidrográficas, e a determinação de práticas conservacionistas do solo. O objetivo deste trabalho foi estimar a perda média anual de solo proveniente da bacia de contribuição do reservatório de um dique de contenção de sedimentos oriundos das bacias de drenagem associadas à mineração. Para tanto, a EUPS foi implementada no pacote computacional ArcGIS 10.3. Dentre os parâmetros da EUPS, o fator erosividade da chuva (R) da chuva foi obtido a partir do somatório das médias mensais do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ), calculado pelas precipitações registradas por estações pluviométricas; a erodibilidade do solo (K) foi determinada por meio do mapa de solos da área; o fator topográfico (LS) foi calculado por equações relacionadas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG); o fator uso, manejo e práticas conservacionistas (CP) foi obtidos mediante o mapa de uso e cobertura dos solos da área; a perda média do solo por ano (A) foi adquirida pelo produto dos parâmetros constituintes. O fator R apresentou variação entre 7.934,76 a 8.089,42 MJ.mm/ha.h, manifestando intensidade forte. O fator K resultou os valores 0,035 e 0,013 Mg.h/MJ.mm, tendo sua intensidade interpretada como média. O fator LS retratou valores entre 0,03 e 11,60, sendo que todo valor acima de 1,5 é considerado significativo. O fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) manifestou os valores 0,00004 e 0,2. O fator A variou entre 0 e 650,269 Mg/ha.ano, sendo que 50,8% da área da bacia demonstrou intensidade de erosão muito forte. A perda média anual de solos foi estimada em 334.160,768 Mg/ha.ano. O volume de sedimentos gerados pela bacia resultou em 208.850,48 m<sup>3</sup>/ano e a vida útil do reservatório se aproximou a um ano. Sendo assim, considerando o alto quantitativo de sedimentos gerado pela bacia de contribuição, a instalação do dique de contenção de sedimentos no local se fez extremamente necessário para a preservação do ambiente à jusante da bacia.

Palavras-chaves: Equação Universal da Perda de Solo. Sistema de Informação Geográfica (SIG). Erosão laminar. Contenção de sedimentos.

## ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (USLE) is an empirical model that estimates the amount of sediment sums off the soil in regions affected by laminar water erosion. The model is important in Environmental Engineering studies because it provides parameters that allow the planning of land use and occupation, the optimization of natural resources, the monitoring and studies of hydrographic basins, and the determination of soil conservation practices. The objective of this work was to estimate the average annual loss of soil from the reservoir contribution basin of a sediment-containing dike from the drainage basins associated with mining, using the USLE model, integrated with geoprocessing techniques. The GIS software used was the ArcGIS 10.3 program. The erosivity factor of rain (R) of the rain was obtained from the sum of the monthly means of the erosivity index ( $EI_{30}$ ), calculated by the precipitations recorded by rainfall stations, soil erodibility (K) was determined by means of the soil map of the area, the topographic factor (LS) was calculated by equations related to Geographic Information Systems (GIS), the use factor, management and conservation practices (CP) was obtained through the map of use and cover of the soils of the area, the average soil loss per year (A) was acquired by the product of the constituent parameters. Factor R varied between 7.934,76 and 8.089,42 MJ.mm/ha\*h, manifesting strong intensity. The K factor resulted in the values 0,035 and 0,013 Mg.h/MJ.mm, with its intensity interpreted as average. The LS factor portrayed values between 0,03 and 11,60, and all values above 1,5 are considered significant. The factor use, management and conservation practices of soil (CP) manifested only the values 0.00004 and 0.2. Factor A varied between 0 and 650,269 mg/ha\*year, and 50,8% of the basin area showed very strong erosion intensity. The average annual soil loss was estimated at 334.160,768 mg/ha.year. The volume of sediments generated by the basin resulted in 208,850.48 m<sup>3</sup>/year and the useful life of the reservoir was close to one year. Therefore, considering the high amount of sediment generated by the contribution basin, the installation of the sediment-containing dike at the site was extremely necessary for the preservation of the environment downstream of the basin.

Keywords: Universal Equation of Soil Loss. Geographic Information System (GIS). Laminar erosion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da estrutura do trabalho.....	5
Figura 2: Localização da Área de Estudo .....	17
Figura 3: Distribuição espacial das estações pluviométricas .....	20
Figura 4: Fator erosividade das chuvas (R) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	29
Figura 5: Fator erodibilidade do solo (K) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	30
Figura 6: Fator comprimento de rampa (L) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	32
Figura 7: Fator declividade (S) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	33
Figura 8: Fator topográfico (LS) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	34
Figura 9: Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) em área de bacia de contribuição de reservatório.....	35
Figura 10: Perda média anual de solo (A) em área de bacia de contribuição de reservatório .....	36
Figura 11: Histograma da perda de solo (Mg/ha*ano) na bacia de contribuição	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da perda de solo quanto à sua intensidade .....	7
Tabela 2: Classes de interpretação para R.....	10
Tabela 3: Classes de interpretação para o fator K.....	11
Tabela 4: Fator CP para determinados tipos de cobertura do solo.....	15
Tabela 5: Código das estações pluviométricas e os municípios em que estão inseridas .....	19
Tabela 6: Fator K para os solos contidos em Conceição do Mato Dentro .....	22
Tabela 7: Interpretação da classificação do Uso e Cobertura do solo pelo IBGE de acordo com a classificação de Stein et al.....	25
Tabela 8: Valores de r (mm), P (mm), EI30 (MJ*mm /ha*h) e R (MJ*mm /ha*h) para o período entre 1988 e 2018 .....	28
Tabela 9: Distribuição das classes de potencial à erosão da bacia de contribuição .....	37
Tabela 10: Referências de perda média total de solo por ano em bacias hidrográficas.....	38

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
2	Objetivos .....	3
2.1	Objetivo Geral.....	3
2.2	Objetivos Específicos .....	3
3	Estrutura do Texto.....	4
4	Revisão Bibliográfica.....	6
4.1	Bacia de contribuição .....	6
4.2	Perda média anual de solo – A.....	6
4.3	Fator erosividade da chuva – R.....	8
4.4	Fator erodibilidade do solo – K.....	10
4.5	Fator topográfico – LS .....	12
4.6	Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP .....	14
4.7	Estimativa da perda de solo em área de mineração.....	15
5	Metodologia.....	16
5.1	Área de Estudo .....	17
5.2	Equação Universal da Perda de Solo – EUPS .....	19
5.2.1	Fator erosividade da chuva – R .....	19
5.2.2	Fator erodibilidade do solo – K.....	22
5.2.3	Fator topográfico – LS.....	23
5.2.4	Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP .....	24

5.2.5	Perda média anual de solo – A .....	26
5.3	Produção total de sedimentos pela bacia de contribuição.....	26
5.4	Vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos.....	26
6	Resultados .....	27
6.1	Fator erosividade da chuva – R.....	27
6.2	Fator erodibilidade do solo – K.....	30
6.3	Fator topográfico – LS .....	31
6.4	Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP .....	35
6.5	Perda média anual do solo – A.....	36
6.6	Produção total de sedimentos pela bacia de contribuição.....	38
6.7	Vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos.....	39
7	Conclusão .....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

# 1 INTRODUÇÃO

O termo erosão é definido como o desgaste e/ou arraste da superfície do solo por água corrente, vento, gelo, entre outros agentes geológicos (ACIESP, 1987).

De acordo com Silva (2003), a erosão hídrica pode transcorrer das seguintes formas:

- **Laminar:** causa a remoção da camada fina e relativamente uniforme do solo pela precipitação pluvial e escoamento superficial;
- **Linear:** enxurradas concentradas e em alta velocidade, associadas a relevos, deságues de estradas ou terraços seccionados, que provocam a remoção e transporte dos sedimentos;
- **Deslizamento:** os solos escorregam por alta saturação e/ou pela ação gravitacional em escarpas ou vertente íngremes;
- **Canais:** ocorre pela ação fluvial de modo contínuo.

Modelos matemáticos são aplicados como ferramentas para avaliar e compreender as consequências dos processos erosivos. No presente trabalho, o modelo de estudo empregado foi a Equação Universal de Perda de Solos – EUPS (Universal Soil Loss Equation – USLE), desenvolvida pelo National Runoff and Soil Loss Data Center em uma pesquisa realizada pela Agricultural Research em conjunto com a Universidade de Purdue, em 1954, e revisada por Wischmeier e Smith no período entre 1965 e 1978 (MATA, 2007). O modelo é capaz de estimar o quantitativo de sedimentos que se desprende do solo em determinada área pela ação da erosão laminar (GOMES, 2012).

A Equação Universal de Perda de Solos – EUPS se faz importante dentro dos estudos da Engenharia Ambiental, pois contribui na caracterização do processo de erosão, identificando áreas vulneráveis. O modelo fornece parâmetros que permitem o planejamento do uso e ocupação do solo, como o planejamento agrícola e o planejamento ambiental, auxiliando na otimização dos recursos naturais, no monitoramento e estudos de bacias hidrográficas, e na determinação de práticas conservacionistas para diversos usos do solo. Como exemplo de tais estudos, Marta

et al. (2007) identificaram mudanças da erosão do solo na Bacia do Rio Urucuia, Minas Gerais, por meio da EUPS para o período entre 1987 e 2007, e determinou que o fator mais significativo para a degradação e erosão foi o aumento das áreas agrícolas. Miqueloni et al (2012) avaliaram, com o uso da EUPS, a perda de solo de área de nascentes da microbacia do córrego do Tijuco, São Paulo, e encontraram um alto valor de perda de solo média, principalmente próximo à zona urbana, em razão da concentração da água proveniente da camada impermeabilizada urbana, com alta velocidade de escoamento. Além disso, Tomazoni e Guimarães (2007) determinaram a capacidade de uso do solo, pela sistematização da EUPS, na pequena bacia hidrográfica do rio Jirau, no município de Dois Vizinhos, Paraná, ponderando entre as perdas toleráveis para cada tipo de solo e criando, assim, identificações do tipo de solo e definindo quais práticas conservacionistas devem ser utilizadas.

Ao aplicar a Equação Universal de Perda de Solo, necessita-se adquirir uma série de dados que servirão como parâmetros para realizar seu cálculo. Deve-se ter conhecimento da pluviometria do local, da geometria das vertentes (declividade, extensão e estrutura do perfil), da pedologia da área e da cobertura e uso do solo. Tais noções podem ser obtidas por meio de trabalho de campo ou então, por sensoriamento remoto (PINTO e GARCIA, 2005) com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

De acordo com Leonardi (2020), o SIG trata-se da integração de programas, equipamentos, metodologias, dados e usuários que permitem a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados. Assim, o uso do SIG economiza recursos e tempo, pois é capaz de manipular funções que representam processos ambientais em diferentes regiões de forma simples e eficiente (GOMES, 2012). Desse modo, estudos que empregam a Equação Universal do Solo integrada ao Sistema de Informação Geográfica, apresentam-se promissores.

Devido ao processo erosivo causado pela extração minerária e por agentes do intemperismo, mineradoras constroem a jusante de suas lavras e estocagem de

minério, estruturas capazes de conter os sedimentos desprendidos, evitando assim seu transporte para o meio ambiente.

Não existem, atualmente, muitos estudos voltados para a aplicação da EUPS em áreas afetadas pela mineração. No entanto, essa aplicação se mostra necessária, pois como enfatizado por GOMES (2012), uma das grandes dificuldades enfrentadas por mineradoras é a quantificação do volume de sedimentos acarretados em seus processos, visto que não há consenso entre as empresas especializadas sobre qual método ou valor aplicar para tal mensuração.

Estudos aplicados à estimativa da perda de solo em áreas de contenção de sedimentos de mineração podem ser fundamentais no aprimoramento de recursos e tecnologias a serem aplicados, além de incentivar outras pesquisas sobre o tema.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Perante o exposto, o objetivo geral desse trabalho é estimar a perda média anual de solo proveniente da bacia de contribuição do reservatório de um dique de contenção de sedimentos oriundos das bacias de drenagem associadas à expansão da cava de lavra de minério de ferro, utilizando o modelo matemático Equação Universal de Perda de Solos – EUPS, associado a técnicas de geoprocessamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

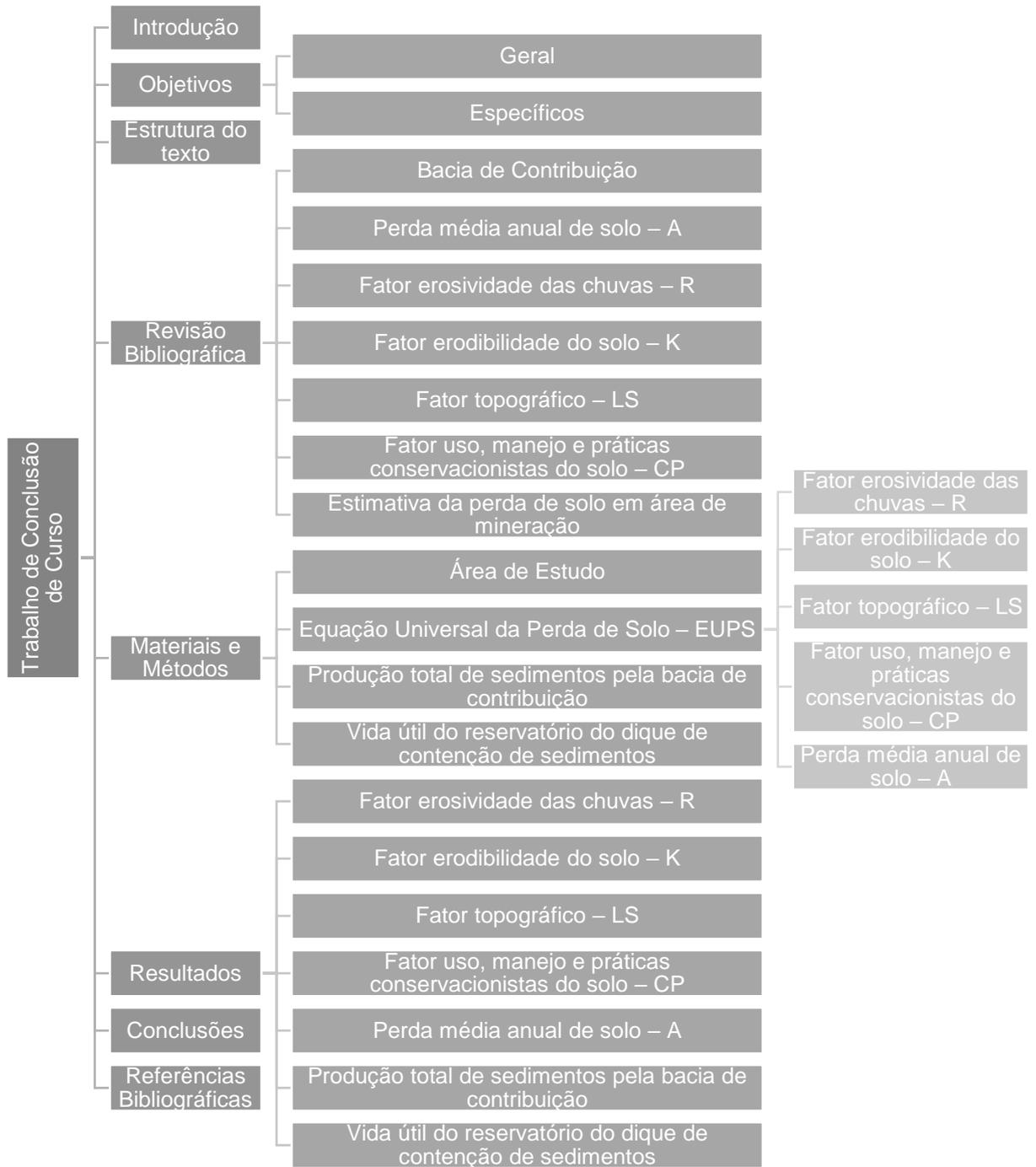
- Calcular o Fator de Erosividade da Chuva – R;
- Calcular o Fator de Erodibilidade do Solo – K;
- Calcular o Fator Topográfico – LS;
- Calcular o Fator Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas do Solo – CP;
- Calcular a Perda Média Anual de Solo – A;
- Calcular o quantitativo total de sedimentos gerados pela bacia de contribuição estudada;

- Calcular a vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos instalado na área estudada.

### **3 ESTRUTURA DO TEXTO**

A estrutura do trabalho foi distribuída conforme o esquema representado na Figura 1.

**Figura 1: Esquema da estrutura do trabalho**



**Fonte: Autoria Própria, 2022.**

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Bacia de contribuição

Bacias de contribuição são áreas em que o escoamento superficial de toda a precipitação de águas pluviais é drenado para o exutório, ou seja, o ponto de altitude mais baixo da bacia. Uma bacia hidrográfica é formada por diversas bacias de contribuição.

Em ambientes naturais, a área de captação é delimitada pela própria topografia da região, pois esta divide as variadas bacias por uma linha imaginária, conhecida como “Divisor de águas”, traçadas nos pontos de maior altitude da topografia (WATANABE, 2013). Sendo assim, é possível delimitar bacias de contribuição por métodos geotecnológicos, bastando apenas ter informações da superfície (curvas de nível) da área desejada.

### 4.2 Perda média anual de solo – A

Qualquer modelo que busque quantificar a perda de solo de processos erosivos será apenas uma simplificação da realidade, em função da complexidade em obter todos seus parâmetros. Dos dois modelos mais utilizados nessa estimativa, o Modelo Conceitual possui maior confiabilidade por fazer uso de equações que reproduzem a realidade física real do processo. Já o Modelo Empírico, consiste em equações que descrevem associações simples entre resultados conhecidos e variáveis independentes. O segundo se apresenta mais simples que o primeiro e consegue se aproximar da realidade quando possui suas variáveis explicativas dentro dos limites das variáveis para as quais o modelo foi calibrado (GOMES, 2012 apud STOCKING, 1982).

A Equação Universal de Perda de Solo é um modelo empírico que visa estimar o quantitativo de sedimentos que se desprende do solo em regiões afetadas por erosão hídrica laminar. O modelo, que foi elaborado em 1954, foi aperfeiçoado por Wischmeir e Smith em 1965 e novamente em 1978, criando a equação atual que combina os fatores erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia

(LS), cobertura vegetal do solo (C) e práticas conservacionistas do solo (P) (MATOS, 2015), conforme exposto na Equação 1:

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

Onde:

A – Perda média do solo por unidade de área e tempo (Mg/ha.ano);

R – Fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano);

K – Fator erodibilidade do solo (Mg.h/MJ.mm);

L – Fator comprimento de rampa (adimensional);

S – Fator declividade (adimensional);

C – Fator uso e manejo (adimensional);

P – Fator práticas conservacionistas (adimensional).

É importante ressaltar que o modelo da Equação Universal de Perda do Solo demonstra alta sensibilidade à erosividade da chuva e ao fator de comprimento de rampa e declividade (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Lanza (2011) classificou a perda de solo quanto ao seu grau de intensidade, conforme a Tabela 1:

**Tabela 1: Classificação da perda de solo quanto à sua intensidade**

<b>Valores de perda de solo (Mg/ha*ano)</b>	<b>Classes de erosividade</b>
A < 10	Nula a pequena
10 < A < 15	Moderada
15 < A < 50	Média
50 < A < 120	Média a Forte
120 < A < 200	Forte
200 <	Muito Forte

**Fonte: Lanza, 2011.**

### 4.3 Fator erosividade da chuva – R

O fator erosividade da chuva (R), de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), expressa numericamente a capacidade da chuva de provocar erosão hídrica em áreas sem proteção. É considerado o fator mais influente no resultado da Equação de Perda de Solo devido ao potencial das chuvas de causarem erosão no solo.

Para calcular o fator erosividade com precisão deve-se considerar a quantidade de chuva total, a energia cinética (impacto das gotas de chuva no solo), a intensidade, a duração e a frequência da chuva (GOMES, 2012). No entanto, há certa complexidade em obter todos esses parâmetros, de forma que a erosividade é calculada somente pelo produto da energia cinética da chuva ( $E_c$ ) pela máxima intensidade de chuva em meia hora (CARVALHO, 1994).

A energia cinética da chuva pode ser obtida pela Equação 2, proposta por Foster et. al (1981):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log (I), \quad (2)$$

Onde:

$E_c$  – energia cinética (MJ/ha.mm);

I – intensidade da chuva (mm/h);

Com o produto entre a energia cinética e os valores de intensidade máxima em meia hora de cada chuva, os quais são obtidos por registros pluviométricos, se obtém o índice de erosão (MATOS, 2015), demonstrado na Equação 3.

$$EI_{30} = E_c * I_{30}, \quad (3)$$

Onde:

$EI_{30}$  – índice de erosão (MJ.mm/ha.h);

$E_c$  – energia cinética da chuva (MJ/ha.mm);;

$I_{30}$  – intensidade máxima da chuva em 30 minutos (mm/h).

Por fim, o valor de erosividade anual é obtido pelo somatório do índice de erosão de cada chuva no período de um ano (Equação 4).

$$R = \sum_1^n EI_{30}, \quad (4)$$

Onde:

$R$  – Fator erosividade das chuvas (MJ.mm/ha.h.ano).

Devido à carência de registros pluviométricos, a obtenção dos fatores necessários para o cálculo do índice de erosão se torna um trabalho de alta complexidade. Isso motivou diferentes pesquisadores a desenvolverem métodos matemáticos que relacionem fatores climáticos com o índice de erosão, já que dessa forma, não há necessidade dos registros de intensidade das chuvas (GOMES, 2012).

Observando registros de precipitação de Campinas, no estado de São Paulo, Lombardi Neto e Moldenhauer associaram, em 1980, o índice mensal de erosão com a precipitação média mensal de chuva, junto com sua precipitação média anual. Posteriormente, Albuquerque et al. (1994), junto a Lombardi Neto et al. (1995), em conjunto, modificaram a equação considerando fatores mais adequados (Equação 5) para o clima intertropical (GOMES, 2012).

$$EI_{30} = 67,355 * \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (5)$$

Onde:

$EI_{30}$  – média mensal do índice de erosividade (MJ.mm /ha.h);

$r$  – média do total mensal de precipitação (mm);

$P$  – média do total anual de precipitação em (mm).

Para obter o Fator erosividade da chuva, somam-se todas as médias do índice de erosividade mensal de cada estação pluviométrica presente no estudo (Equação 6).

$$R = \sum_{1}^{12} EI_{30} \quad (6)$$

Foi proposto por Carvalho (1994) uma classificação da erosividade da chuva quanto à sua intensidade (Tabela 2).

**Tabela 2: Classes de interpretação para R**

Valores de erosividade (MJ.mm /há.h)	Classes de erosividade
$R \leq 2452$	Fraca
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média a Forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito Forte

**Fonte: Carvalho, 1994.**

Bertoni e Lombardi Neto (2005) determinaram que a circunstância ideal para o cálculo da erosividade da chuva é a de se obter pelo menos 20 anos de registros de precipitação pluviométrica.

#### 4.4 Fator erodibilidade do solo – K

Silva et al. (2003) definiram a erodibilidade do solo como relação entre a intensidade da erosão e a força erosiva da chuva para um determinado solo que

permanece descoberto continuamente. Diz respeito não só à susceptibilidade, mas também à resistência do solo à erosão.

A erosão em cada tipo de solo se dá dependendo de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. As físicas se tratam da estrutura, da textura, da taxa de infiltração, da permeabilidade, da densidade e da porosidade do solo. As químicas dizem respeito à são a capacidade de infiltração e a estabilidade estrutural (MATOS, 2015 apud SILVA e ALVARES, 2005). Por fim, as propriedades biológicas referem-se ao quantitativo de matéria orgânica presente no solo.

A obtenção dos valores de erodibilidade de solo exige não só um alto custo, como longos períodos de estudos, dificultando seus registros pelo Brasil. Mesmo assim, alguns pesquisadores buscam atribuir valores de erodibilidade, como Bertoni e Lombardi (2005) ao estimarem o valor para os solos do estado de São Paulo (SILVA et. al., 2003).

Winschemeier e Smith (1978), desenvolveram o método de nomógrafo para determinar indiretamente a erodibilidade dos solos ao conter parâmetros físicos e químicos do solo. Mitchell e Bubenzer (1980) elaboraram um método mais fácil que faz uso somente da classe textural e do teor de matéria orgânica do solo (SILVA et. al., 2003).

Devido à complexidade de obtenção dos parâmetros utilizados nos cálculos do fator erodibilidade do solo, em estudos realizados em conjunto a métodos de geoprocessamento, utiliza-se de valores encontrados na literatura para solos de regiões aproximadas.

Carvalho (1994) e Matos (2015) classificaram a erodibilidade dos solos, como pode ser consultado na Tabela 3.

**Tabela 3: Classes de interpretação para o fator K**

Valores de erodibilidade (Mg.h/MJ.mm)	Classe de erodibilidade
K < 0,02	Baixa
0,02 < K ≤ 0,038	Média

$K > 0,038$ 

Alta

---

**Fonte: Carvalho, 1994.**

#### 4.5 Fator topográfico – LS

O Fator topográfico é constituído pelo fator comprimento de rampa (L) e pelo fator declividade (S) e são aplicados em conjunto na Equação Universal da Perda de Solo. Wischmeier e Smith (1978) definiram o fator comprimento de rampa como a distância do ponto de origem do escoamento ao ponto em que o gradiente de declividade diminui até ocorrer a deposição dos sedimentos ou então, quando o escoamento alcança um canal de drenagem. O Fator de declividade é o ângulo de inclinação do terreno com o plano horizontal (LANZA, 2011).

O fator topográfico apresenta uma importante influência nos resultados da EUPS, pois o comprimento de rampa influencia na velocidade do escoamento superficial devido ao movimento uniformemente acelerado que auxilia a capacidade de transporte de sedimentos, contribuindo para a perda de solo. Ao mesmo tempo, o fator declividade também amplifica a erosão laminar, pois reduz a taxa de infiltração ao aumentar a velocidade de escoamento, de acordo com o nível de declividade (MATOS, 2015 apud BERTONI, 1959).

A Equação Universal da Perda de Solo foi originalmente elaborada para trechos de declives uniformes e não muito íngrimes. Por isso, houve a necessidade de desenvolver novos métodos que tratassem de cenários mais complexos. Dessa forma, foi adicionado o conceito de área de contribuição em que se deixou de considerar somente o comprimento da vertente uniforme no comprimento de rampa, mas também o da área à montante que contribui com a drenagem para um determinado ponto (DESMET e GOVERS, 1996; TARBOTON, 1997; SILVA, 2003; FREITAS et al., 2007).

Quinn et al. (1991), Desmet e Goovers (1996) e Tarboton (1997) ao estudarem em profundidade a área de contribuição, permitiram o desenvolvimento de algoritmos a serem usados em cálculos automáticos do fator topográfico. De fato,

MATOS (2015) enfatizou que tais metodologias foram propostas a fim de facilitar a obtenção do fator LS ao serem desenvolvidas com o uso de SIG, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE).

A metodologia implementada, entre as diversas existentes, foi descrita por Desmet e Goovers (1996), McCool et al. (1987) e McCool et al. (1989) para ser aplicada em ambiente de SIG, e mostra que é possível obter o fator L com o uso das Equações 7, 8 e 9:

$$F = \frac{\frac{\text{sen}(\beta)}{0,0896}}{3 * \text{sen}(\beta)^{0,8} + 0,56} \quad (7)$$

Onde:

F – coeficiente em função da declividade do terreno;

$\beta$  – declividade (expressa e convertida em radianos).

$$m = \frac{F}{1 + F'} \quad (8)$$

Onde:

m – coeficiente em função da declividade para a grade de célula em coordenada (i,j).

$$L = \frac{[Ac_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - Ac_{(i,j)}^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22,13)^m} \quad (9)$$

Onde:

L – fator comprimento de rampa;

**Ac** – área de contribuição da célula em coordenadas (i,j);

**D** – tamanho da célula em metros;

**x** – coeficiente de forma (adotado  $x = 1$  para sistemas compostos por pixels, como é o caso deste trabalho).

Para se obter o fator S, utiliza-se o algoritmo criado por McCool et al. (1987) e McCool et al. (1989), que parte das seguintes condições quanto à declividade ( $\beta$ ):

- Quando  **$\tan \beta < 0,09$** , adotar a Equação 10:

$$S = 10,8 * \sin (\beta) + 0,03 \quad (10)$$

- Quando  **$\tan \beta \geq 0,09$** , adotar a Equação 11:

$$S = 16,8 * \sin (\beta) - 0,5 \quad (11)$$

Onde:

S – Fator declividade.

Tanto o fator L, quanto o fator S são adimensionais por se tratarem de uma relação entre valores de perda de solo (GOMES, 2012).

#### **4.6 Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP**

O fator uso e manejo do solo (C) diz respeito entre a perda de solo de uma área com determinada cobertura e a perda de solo em uma área descoberta. Já o fator práticas conservacionistas (P) trata-se da relação entre a perda de solo em uma área onde foram adotadas práticas conservacionistas e a perda de solo em uma área em que se planta no sentido do declive (SILVA et. al., 2003).

Stein et al. (1987) afirmou que o cálculo separado dos fatores C e P só é necessário em estudos sobre a redução dos impactos da produção agrícola, enquanto Wischmeier e Smith (1978) definiram que os dois fatores não devem ser analisados separadamente por estarem significativamente relacionados.

A obtenção do fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo é onerosa e prolongada devido à sua dificuldade de obtenção, exigindo pesquisas de campo, muitas vezes em áreas extensas. Uma forma de simplificar sua obtenção é associando o sensoriamento remoto com valores já tabulados por alguns autores.

Stein et al. (1987) classificaram os valores de CP em função do tipo de ocupação e do porte e densidade da cobertura vegetal. A Tabela 4 apresenta os valores definidos para a classificação de uso e manejo do solo tratadas no presente estudo.

**Tabela 4: Fator CP para determinados tipos de cobertura do solo**

<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Valores de CP</b>
Área Urbana	0
Vegetação Arbórea	0,00004
Silvicultura	0,0001
Vegetação Campestre	0,01
Pastagem	0,01
Área Rural de Uso Diversificado	0,2

**Fonte: Stein et. al, 1987 adaptado.**

#### **4.7 Estimativa da perda de solo em área de mineração**

Como já mencionado anteriormente, não há muitos estudos que abordem a aplicação da Equação Universal da Perda de Solo em áreas de mineração. Gomes (2012) fez uso da EUPS implementada a SIG com o intuito de obter a mensuração do volume de sedimentos a serem gerados nas pilhas de disposição de estéril em desenvolvimento, ao longo de cinco anos, e comparou seus resultados com informações de campanhas batimétricas realizadas no reservatório da barragem da

mesma mineração. Em seu estudo, ele afirma que o volume de sedimento a ser gerado por uma pilha de estéril é realizada comumente pelo cálculo de taxas médias, que variam entre 250 a 2.000 m<sup>3</sup>.ano/ha, sendo o volume anual de sedimento a ser gerado por uma pilha de estéril estimado pelo produto entre a referida taxa e a área de ocupação da pilha. Porém, a utilização da taxa média apresenta uma série de ressalvas, já que não leva em consideração fatores como: intensidade da chuva, proteção vegetal, forma do relevo e geometria do depósito de estéril.

Com os resultados obtidos, GOMES considerou que o emprego da EUPS, associada ao uso de ferramentas de análise espacial (SIG), é adequada e reproduz resultados mais condizentes com a realidade, quando comparado com as taxas médias de geração de sedimento comumente utilizados no meio técnico.

## **5 METODOLOGIA**

A metodologia executada nesse trabalho foi o cálculo, com a aplicação de um Software de SIG, dos fatores R, K, LS e CP individualmente para, por fim, efetuar o cálculo da Perda de Solo e obter o quantitativo de sedimentos estimado para a área de estudo.

O software de SIG utilizado nesse trabalho foi o programa ArcGIS 10.3.

Para a obtenção dos fatores presentes na Equação Universal da Perda de Solo foi necessário a elaboração do Modelo Digital da área de estudo, feita pelos seguintes procedimentos:

- Obtenção das imagens SRTM em escala 1:250.000 de Conceição do Mato Dentro e municípios vizinhos pelo projeto TOPODATA (INPE, 2021);
- Com o uso do ArcGIS 10.3, foi confeccionado um mosaico com as imagens obtidas.
- A imagem final (raster) foi elaborada pelo recorte do mosaico para a área estudada.

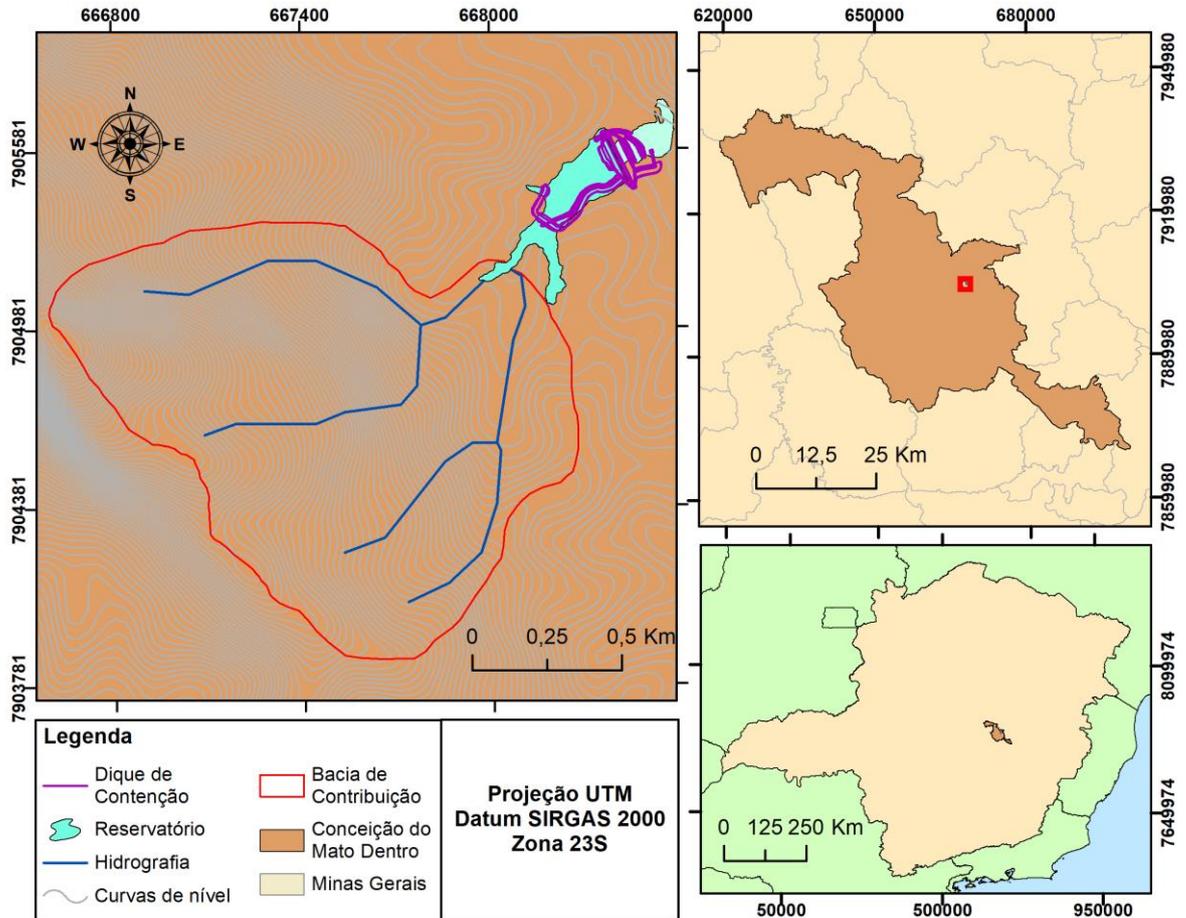
- A resolução espacial do raster foi alterada para 30 m.

### **5.1 Área de Estudo**

O estudo é focado na bacia de contribuição do reservatório de um dique de contenção de sedimentos, instalado recentemente em uma mineradora de classe mundial. Os sedimentos contidos são oriundos das bacias de drenagem que estão diretamente associadas à expansão de uma cava da mineração.

A área de implantação do dique situa-se na microbacia hidrográfica do córrego sem nomenclatura definida, dentro da sub-bacia DOCE03, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Doce, localizado no município de Conceição do Mato Dentro em Minas Gerais (Figura 2). Sua área de contribuição possui apenas 1,59 km<sup>2</sup>.

**Figura 2: Localização da Área de Estudo**



Fonte: Autoria própria, 2022.

O clima do município é caracterizado como tropical de altitude, apresentando altitudes acima de 500 m, temperatura amena entre 18°C e 26°C e amplitude térmica anual entre 7°C e 9°C. A altitude do município varia entre 679 a 1472 metros (SALOMÃO, 2016). O clima é marcado por grande variação estacional com períodos secos e úmidos bem marcados, sendo que os meses mais chuvosos estendem-se de outubro a março, e os meses de abril e setembro são de transição entre o regime úmido e seco. O período entre abril e setembro é marcado pela estação seca na região (LARA, 2017).

Conceição do Mato Dentro está compreendida em uma área de transição entre dois domínios brasileiros, o Cerrado (vegetação arbustiva e herbácea) e a Mata Atlântica (vegetação arbórea). A área do Cerrado apresenta ambiente rupestre,

sobre elevadas altitudes e sobre afloramentos rochosos (campos rupestres). Já a área da Mata Atlântica é constituída de Floresta Estacional Semidecidual e apresenta diversos ecossistemas associados, incluindo áreas de campos de altitude que apresentam solos rasos e pouco férteis (SALOMÃO, 2016).

De acordo com o Mapa de Solos do estado de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010), o município apresenta solos caracterizados como Afloramento Rochosos, Cambissolo Háptico Tb Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Litólico Distrófico. A área da mineração apresenta geologia variada, contendo quartzito, itabiritos, xisto e até rochas basais, hematitas e cangas (SALOMÃO, 2016).

A área de estudo foi obtida por meio de geoprocessamento, pela extração das curvas de nível do Modelo Digital de Elevação (MDE) com o uso da ferramenta de superfície “Curva de nível”. A bacia de contribuição foi traçada manualmente pelas curvas de nível, sendo sua feição incorporada a um novo vetor.

## 5.2 Equação Universal da Perda de Solo – EUPS

### 5.2.1 Fator erosividade da chuva – R

No presente estudo foram utilizados dados mensais de precipitação das chuvas de 07 estações pluviométricas, obtidos por meio do Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021). As estações foram escolhidas por apresentarem uma base consistente de dados relativa a uma série histórica de 30 anos (1988 até 2018), além de uma boa distribuição espacial, estando uma instalada em Conceição do Mato Dentro, e as demais, em municípios próximos. Na Tabela 5, é possível consultar o código de cada estação e o município em que está inserida.

**Tabela 5: Código das estações pluviométricas e os municípios em que estão inseridas**

<b>Município</b>	<b>Código da estação pluviométrica</b>
Baldim	1943042
Conceição do Mato Dentro	1943002

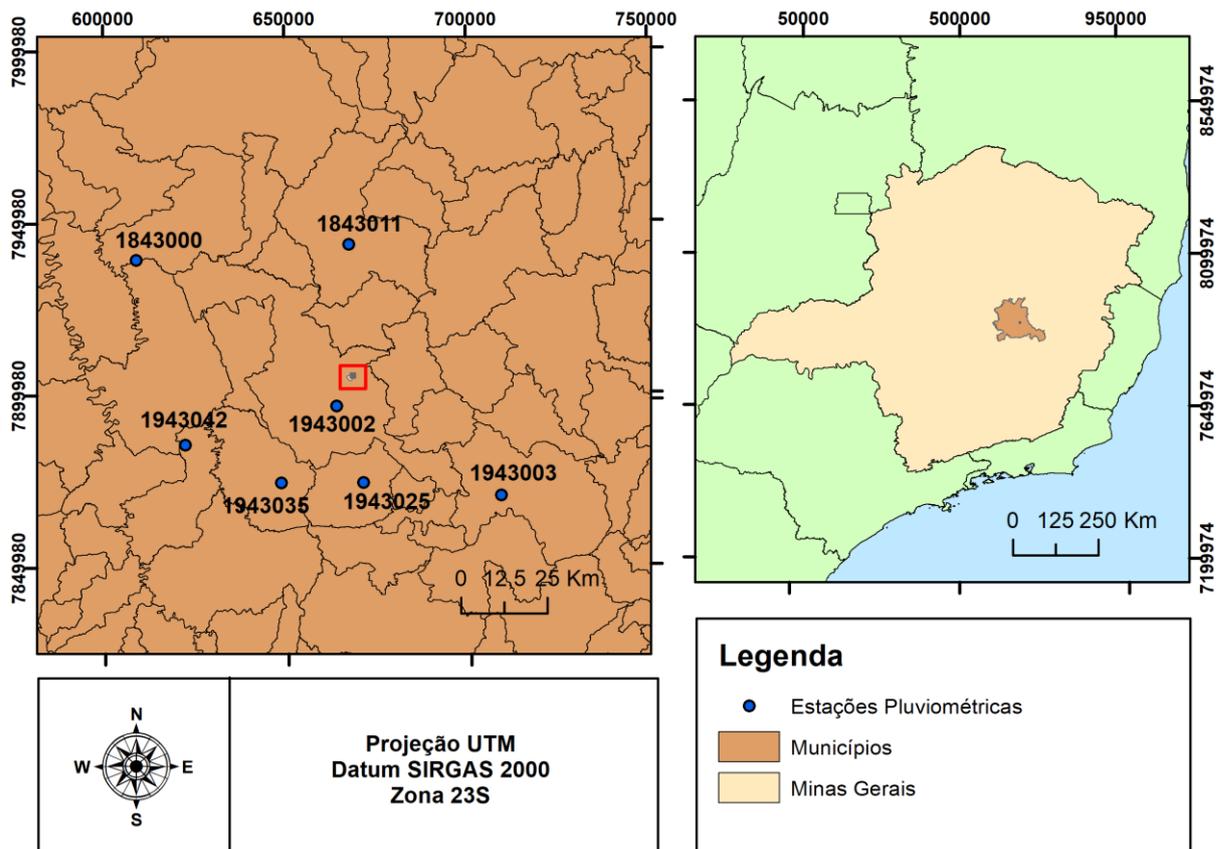
Ferros	1943003
Morro do Pilar	1943025
Presidente Juscelino	1843000
Santana do Riacho	1943035
Serro	1843011

---

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A distribuição espacial das estações pluviométricas está representada na Figura 3.

**Figura 3: Distribuição espacial das estações pluviométricas**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Primeiramente, a média mensal do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) de cada estação pluviométrica foi calculada, com o uso dos dados apresentados no período de 30 anos citado, por meio da Equação 5. Em seguida, o fator erosividade da chuva (R) foi calculado aplicando a Equação 6. Os cálculos foram efetuados por meio da ferramenta Microsoft Office Excel.

Após obtidos os valores de R para cada estação pluviométrica, essas informações foram inseridas aos seus respectivos dados dentro da tabela de atributos do vetor, adquirida também pelo Hidroweb (ANA, 2021), contendo as 07 estações pluviométricas no ArcGIS 10.3.

Por fim, foi realizada a interpolação dos dados do fator erosividade da chuva das estações em SIG por meio da ferramenta “Spline”.

O método Spline realiza interpolação por meio de funções matemáticas que minimizam a curvatura dos valores finais (SOUZA, 2016).

### 5.2.2 Fator erodibilidade do solo – K

Para a obtenção do fator erodibilidade do solo foi necessária a aquisição do Mapa de Solos do estado de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) na escala 1:500.000. Em seguida foi realizado seu recorte a fim de se obter somente a área de Conceição do Mato Dentro.

Para a classificação dos valores de K de cada solo, foi feita uma revisão bibliográfica em estudos de diversos autores que apresentassem classificação adequada para os tipos de solos contidos no município de Conceição do Mato Dentro. Os valores adotados foram os determinados por Chaves (1994). Na Tabela 6 é possível consultar os tipos de solo presentes no município e sua respectiva classificação.

**Tabela 6: Fator K para os solos contidos em Conceição do Mato Dentro**

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Valores de K (Mg.h/MJ.mm)</b>
Afloramento de rochas	0
Neossolos litólicos	0,035
Cambissolos háplicos	0,06
Latossolos vermelho escuros	0,013
Latossolos vermelho amarelos	0,02

**Fonte: Chaves, 1994 adaptado.**

Dando continuidade, os valores de K foram adicionados à tabela de atributos do mapa de solos de Conceição de Mato Dentro. Por fim, o polígono do mapa de solos do município, contendo os valores de K, foi convertido em raster.

### 5.2.3 Fator topográfico – LS

Para o cálculo do fator de comprimento da rampa (L) foi feito a preparação do Modelo Digital de Elevação (MDE), corrigindo suas possíveis depressões espúrias com a ferramenta de hidrologia “Preencher”.

Foi gerado então, o mapa de declividade (parâmetro  $\beta$ ), com a ferramenta de superfície, “Declividade”, sendo o MDE corrigido a superfície em raster de entrada. Obtido o parâmetro  $\beta$ , foi calculado o coeficiente em função da declividade do terreno (F) por meio da Equação 7 com o uso da ferramenta “Calculadora Raster”. O parâmetro m, coeficiente em função da declividade para a grade de célula em coordenada (i,j), foi alcançado também com a “Calculadora Raster”, pela Equação 8. O parâmetro D, tamanho da célula em metros, foi definido anteriormente, sendo o seu valor de 30 m.

Para obter o fluxo acumulado da drenagem, parâmetro  $A_c$ , primeiro se calcula a direção do fluxo, que foi obtido pela ferramenta de hidrologia “Direção do Fluxo” também com o MDE preenchido como superfície de entrada. Assim, com a ferramenta de hidrologia “Acumulação de Fluxo”, empregando a direção de fluxo como raster de entrada, se adquire o parâmetro  $A_c$ .

Só então, com os parâmetros m, D,  $A_c$  e x ( $x=1$  para sistemas compostos por pixels), aplica-se a Equação 9 e se determina o fator comprimento de rampa (L).

Para o fator declividade (S), as Equação 10 e a Equação 11 são inseridas na “Calculadora Raster” por meio da função “Con” (Condição).

Por fim, é calculado o produto entre o fator L e o fator S na “Calculadora Raster”.

Uma observação importante é que ao inserir o parâmetro  $\beta$  nos cálculos, deve-se multiplicá-lo por 0,01745, para que esse seja convertido de graus para radianos.

#### 5.2.4 Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP

A fim de alcançar os valores do fator CP para a área de estudo, foi obtido o Mapa de Uso e Cobertura de solo em Minas Gerais (IBGE, 2018) de escala 1:250.000. O vetor foi recortada para área de Conceição do Mato Dentro.

De acordo com o IBGE (2018), os solos presentes no município de Conceição do Mato Dentro possuem as seguintes definições:

- Área artificial – Áreas onde predominam superfícies antrópicas não-agrícolas. São aquelas estruturadas por edificações e sistema viário, nas quais estão incluídas as metrópoles, cidades, vilas, as aldeias indígenas e comunidades quilombolas, áreas de rodovias, serviços e transportes, redes de energia (...). Também pertencem a essa classe as áreas onde ocorrem a exploração ou extração de substâncias minerais, por meio de lavra ou garimpo;
- Pastagem com manejo – Áreas destinadas ao pastoreio do gado e outros animais, com vegetação herbácea cultivada (braquiária, azevém, etc) ou vegetação campestre (natural), ambas apresentando interferências antrópicas de alta intensidade;
- Mosaico de Ocupações em Área Florestal – Área caracterizada por ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais, na qual não é possível uma individualização de seus componentes. Inclui também áreas com perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não mecânicas, que dificultem a caracterização da área;
- Silvicultura – Área caracterizada por plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monoculturas;
- Vegetação Florestal – Área ocupada por florestas. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura;
- Vegetação Campestre – Área caracterizada por formações campestres. Entendem-se como campestres as diferentes categorias

de vegetação fisionomicamente bem diversas da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gramíneo-lenhoso;

- Mosaico de Ocupações em Área Campestre – Área caracterizada por ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres, na qual não é possível uma individualização de seus componentes. Inclui também áreas com perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não mecânicas, que dificultem a caracterização da área.

A classificação usada para definir os valores de CP foi a definida por Stein et al. (1987) e exposta na Tabela 4. Como a nomenclatura dos tipos de cobertura do solo contidas no Mapa de Uso e Cobertura do solo do estado de Minas Gerais (IBGE, 2018) não é a mesma que a apresentada por Stein et al. (1987), foi necessária uma interpretação própria da autora do presente trabalho, como retratada na Tabela 7.

**Tabela 7: Interpretação da classificação do Uso e Cobertura do solo pelo IBGE de acordo com a classificação de Stein et al.**

<b>Stein et al.</b>	<b>IBGE</b>	<b>Valores de CP</b>
Área Urbana	Área Artificial	0
Vegetação Arbórea	Vegetação Florestal	0,00004
Silvicultura	Silvicultura	0,0001
Vegetação Campestre	Vegetação Campestre	0,01
Pastagem	Pastagem com manejo	0,01
Área Rural de Uso Diversificado	Mosaico de Ocupações em Área Florestal e Mosaico de Ocupações em Área Campestre	0,2

**Fonte: Stein et al., 1987 e IBGE, 2018 adaptado.**

Os valores do fator CP para cada tipo de uso e cobertura do solo foram adicionados à tabela de atributos e seu polígono foi convertido para raster.

### **5.2.5 Perda média anual de solo – A**

A perda média anual do solo foi calculado por meio da ferramenta “Calculadora Raster”, efetuando o produto entre os fatores R, K, LS e CP, como foi demonstrado na Equação 1.

### **5.3 Produção total de sedimentos pela bacia de contribuição**

Para o cálculo do quantitativo total de sedimentos gerados pela bacia de contribuição estudada, todos os pixels da imagem raster da bacia foram convertidos em pontos. Em seguida, os valores dos pontos foram extraídos por meio da ferramenta de extração “Extrair valores por pontos”. Assim, foi possível exportar a tabela de atributos do vetor de pontos contendo os valores de perda de solo para uma planilha do Microsoft Office Excel. No Excel, foi realizada a soma de todos os valores de perda de solo presentes na bacia de contribuição.

### **5.4 Vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos**

Para calcular o a vida útil do reservatório, primeiro foi necessário determinar o volume de sedimentos gerados pela bacia de contribuição. Esse cálculo foi realizado pela razão entre a massa da produção total de sedimentos pela bacia de contribuição e a massa específica do solo erodido, que nesse caso foi considerada como  $1.600 \text{ kg/m}^3$ , a massa específica de solos soltos.

Em seguida, a razão entre o volume do reservatório e o volume de sedimentos gerados pela bacia resultaram na vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos de mineração, instalado na bacia de contribuição estudada. O volume do reservatório,  $204.116 \text{ m}^3$ , foi extraído de um relatório técnico disponibilizado pela sua mineradora responsável.

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Fator erosividade da chuva – R**

A Tabela 8 apresenta os valores das médias dos totais mensais de precipitação (r) em mm e médias dos totais de precipitação anuais em mm (P) para cada estação pluviométrica utilizada nesse estudo. A Tabela lista também os valores das médias mensais do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) em MJ.mm/ha.h, e do fator erosividade das chuvas (R), também em MJ.mm/ha.h, para o período de 1988 a 2018.

Tabela 8: Valores de r (mm), P (mm), EI30 (MJ.mm /ha.h) e R (MJ.mm /há.h) para o período entre 1988 e 2018

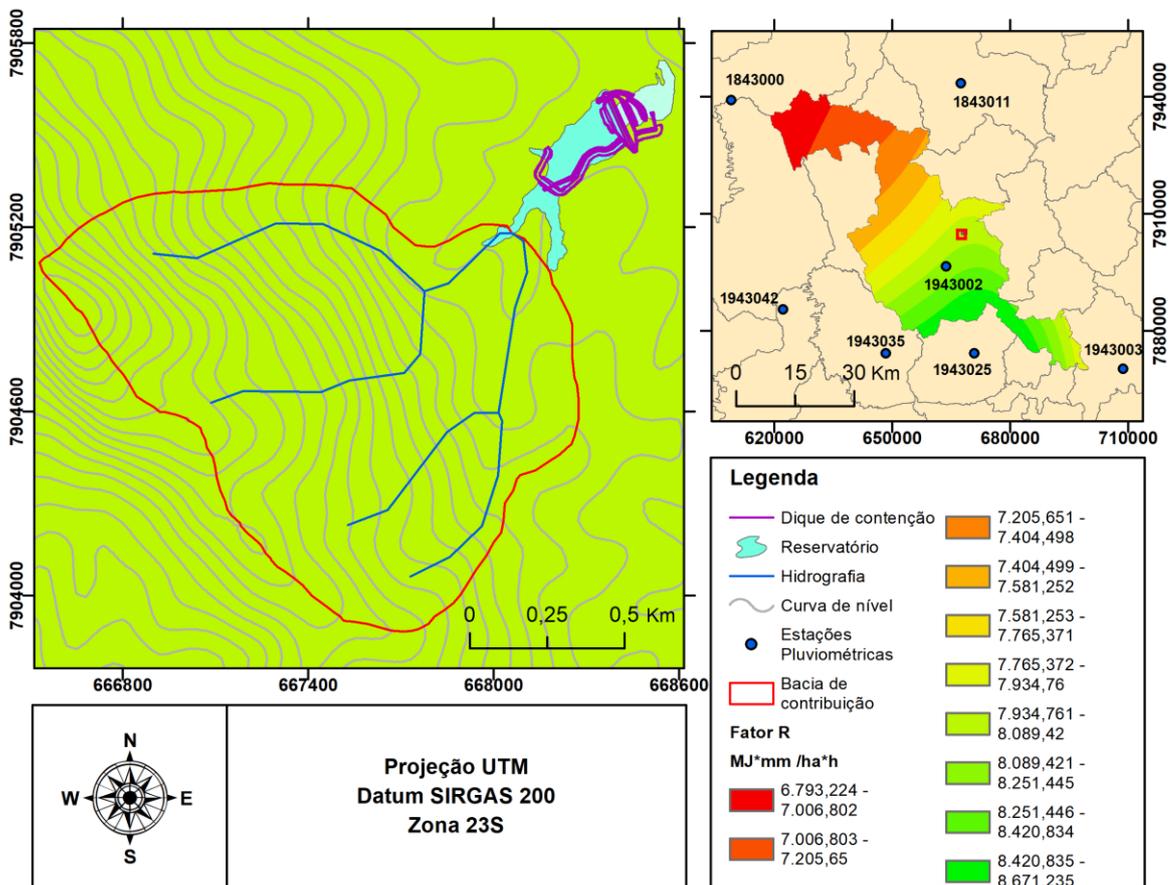
Estação	r												P
	Jan.	Fev.	Mar.	Abril	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
<b>1943042</b>	219,184	132,752	148,281	49,781	17,873	9,006	4,716	7,024	37,330	70,897	209,650	289,208	<b>1195,70</b>
<b>1943002</b>	239,781	154,145	166,416	81,784	25,500	9,584	8,239	10,706	36,342	95,516	239,455	322,819	<b>1390,29</b>
<b>1943003</b>	200,163	121,630	146,319	64,155	31,539	14,600	6,823	8,861	39,584	85,435	204,213	290,755	<b>1214,08</b>
<b>1943025</b>	276,297	157,806	189,097	100,326	29,171	9,223	7,565	10,297	41,068	107,593	282,730	339,635	<b>1550,81</b>
<b>1843000</b>	194,608	134,911	144,522	51,232	15,023	6,677	3,784	8,258	30,807	79,383	181,933	234,690	<b>1085,83</b>
<b>1943035</b>	271,765	181,081	174,287	77,019	25,332	11,458	8,894	11,925	44,117	88,730	252,729	313,287	<b>1460,62</b>
<b>1843011</b>	194,213	144,061	161,903	81,694	33,739	11,403	10,025	14,768	31,500	106,868	240,028	282,468	<b>1312,67</b>
Estação	EI <sub>30</sub>												R
	Jan.	Fev.	Mar.	Abril	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
<b>1943042</b>	1555,12	663,07	800,26	125,14	21,94	6,84	2,28	4,48	76,72	228,28	1441,89	2491,42	<b>7417,44</b>
<b>1943002</b>	1593,73	751,99	856,57	256,02	35,31	6,69	5,17	8,07	64,48	333,32	1590,05	2642,18	<b>8143,58</b>
<b>1943003</b>	1315,57	564,07	772,28	190,13	56,86	15,35	4,21	6,57	83,66	309,42	1361,14	2481,74	<b>7161,00</b>
<b>1943025</b>	1848,14	713,19	969,97	330,22	40,44	5,71	4,08	6,89	72,33	371,90	1921,89	2624,93	<b>8909,69</b>
<b>1843000</b>	1378,94	739,70	831,50	142,63	17,72	4,46	1,70	6,41	60,07	300,27	1229,77	1895,90	<b>6609,06</b>
<b>1943035</b>	1890,78	948,19	888,51	221,68	33,48	8,69	5,65	9,30	85,97	281,99	1671,19	2407,76	<b>8453,19</b>
<b>1843011</b>	1169,53	703,83	858,37	268,32	59,67	9,44	7,58	14,65	53,10	423,62	1676,42	2210,98	<b>7455,50</b>

Fonte: Autoria própria, 2022

Nota-se que a época de maior agressividade das chuvas se manifestou entre outubro e março, o que condiz com o clima do município de Conceição do Mato Dentro, o qual apresenta variação estacional bem definida.

Os cálculos do fator erosividade da chuva na área da bacia de contribuição resultaram em valores entre 7.934,76 a 8.089,42 MJ.mm/ha.h, como pode ser conferido no mapa representativo do fator (Figura 4).

**Figura 4: Fator erosividade das chuvas (R) em área de bacia de contribuição de reservatório**



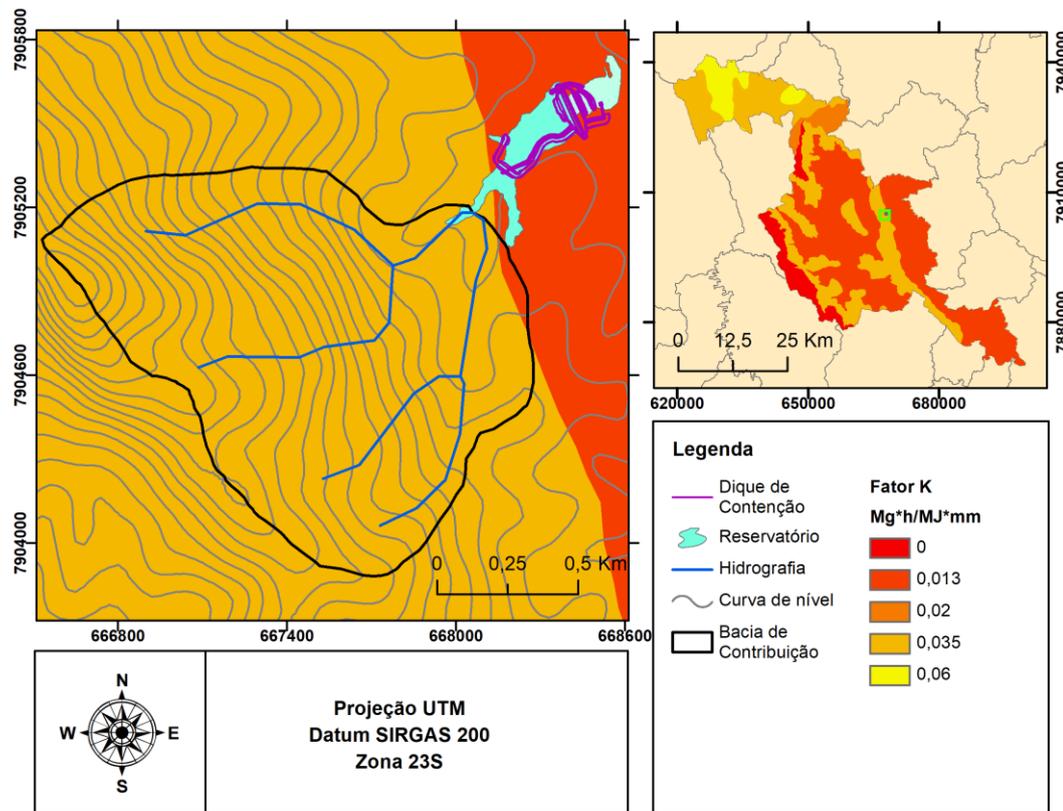
Fonte: Autoria Própria, 2022.

Os valores encontrados mostram que a erosividade das chuvas na área é entendida como uma erosividade de classe forte, conforme interpretado por Carvalho em 1994 (Tabela 2).

## 6.2 Fator erodibilidade do solo – K

Conforme o mapa da erodibilidade do solo da área de estudo (Figura 5), o território em que a bacia de contribuição está inserida predomina majoritariamente o tipo de solo Neossolos Litólicos, enquanto o dique de contenção de sedimentos se manteve por completo em Latossolos Vermelho Escuro. Os valores de erodibilidade desses tipos de solo obtidos foram, respectivamente, 0,035 Mg.h/MJ.mm e 0,013 Mg.h/MJ.mm.

Figura 5: Fator erodibilidade do solo (K) em área de bacia de contribuição de reservatório



Fonte: Autoria própria, 2022.

De acordo com a classificação de Carvalho (1994), retratada na Tabela 3, a área da bacia de contribuição apresentou erodibilidade média.

Solos do tipo Neossolos litólicos são mais suscetíveis à erosão, pois possuem características como rápida saturação e pouca profundidade (solos rasos favorecem a erosão acelerada). Geralmente se apresentam em áreas com declives íngremes (LANZA, 2011).

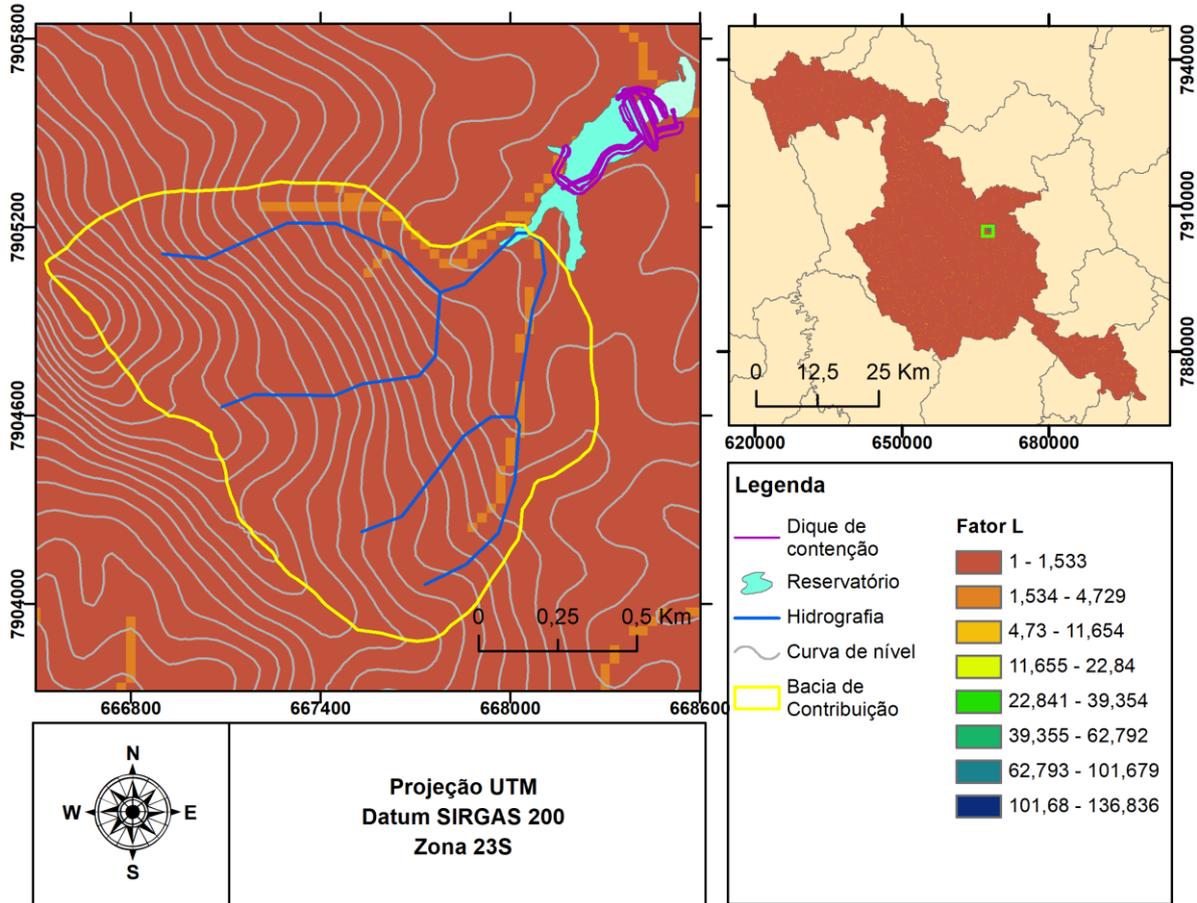
De forma oposta, os Latossolos, apresentaram baixa erodibilidade, pois são bastante lixiviados e deficientes em nutrientes. Além disso, são solos profundos, com alto grau de estabilidade dos agregados, alta porosidade e apresentam permeabilidade relativamente rápida (LANZA, 2011). Assim, possuem características ideais para a instalação da estrutura de um dique de contenção.

É importante ressaltar que a escala 1:500.000 do Mapa de Solos do estado de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010), usado como base para a obtenção do fator K, por ser uma escala pequena, afeta na exatidão dos resultados, pois não proporciona uma diferenciação detalhada das classes.

### **6.3 Fator topográfico – LS**

Os valores de comprimento de rampa foram baixos, apresentando valores entre 1 e 1,533 para grande parte da bacia e apenas alguns pontos, próximos aos cursos hídricos, com comprimento entre 1,534 e 4,729 (Figura 6). É importante que o comprimento de rampa apresente valores baixos, pois quanto maior sua extensão, maior o acúmulo de precipitação e maior a velocidade de escoamento, beneficiando o processo erosivo do solo.

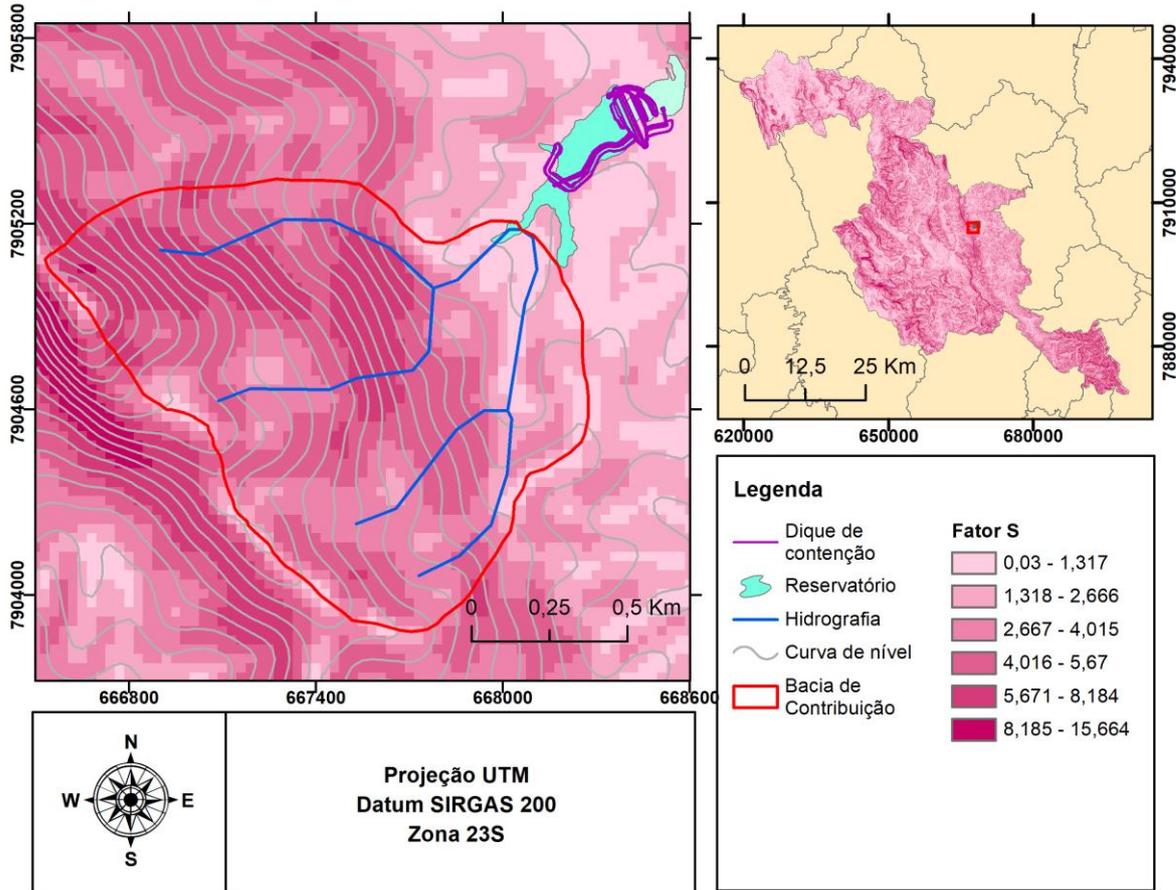
Figura 6: Fator comprimento de rampa (L) em área de bacia de contribuição de reservatório



Fonte: Autoria própria, 2022.

O fator declividade da área de estudo apresentou valores entre 0,03 e 8,184 (Figura 7).

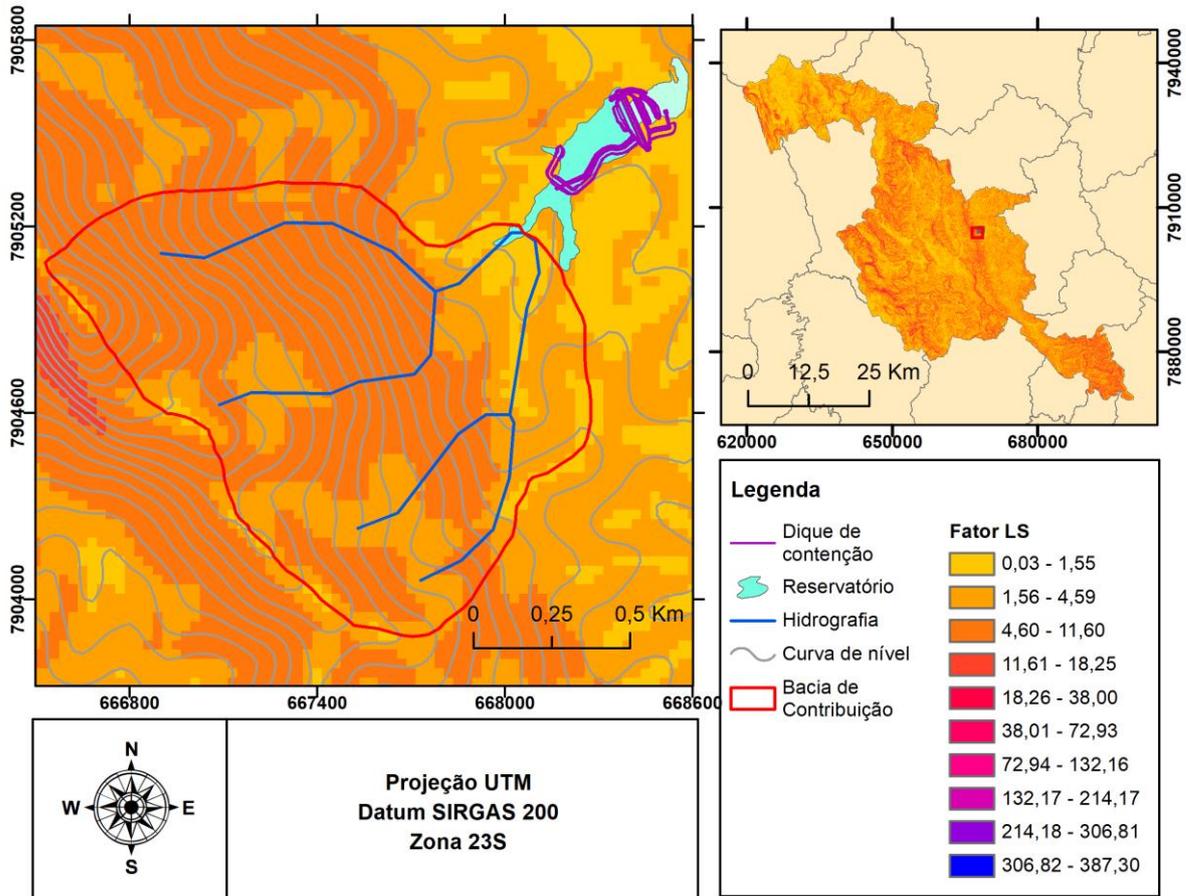
Figura 7: Fator declividade (S) em área de bacia de contribuição de reservatório



Fonte: Autoria própria, 2022.

A variação do fator topográfico foi entre 0,03 e 11,60, conforme exposto na Figura 8, sendo que a maior parte da bacia se encontra na faixa entre 4,60 e 11,60.

Figura 8: Fator topográfico (LS) em área de bacia de contribuição de reservatório



Fonte: Autoria própria, 2022.

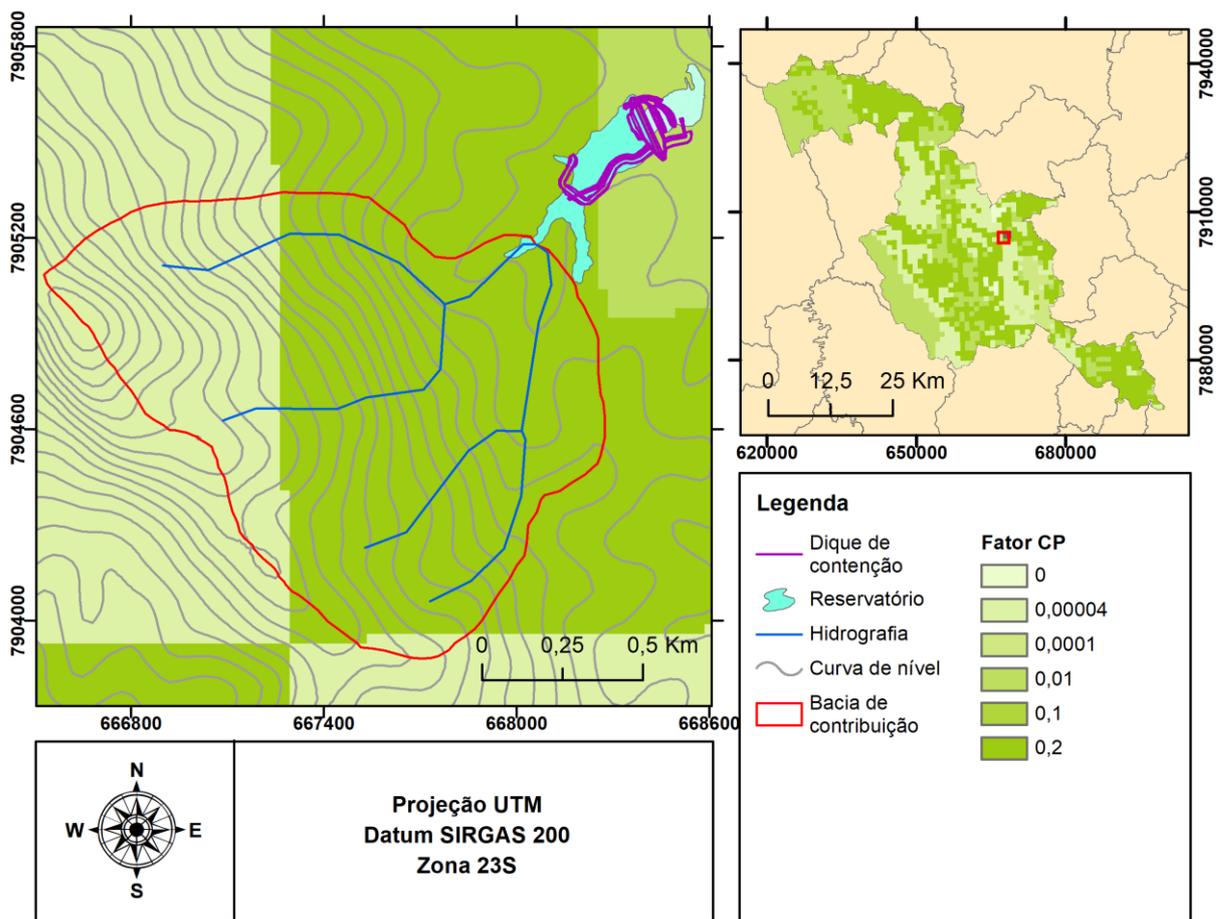
É possível perceber que o ponto mais próximo ao exutório, ou seja, os locais de menor altitude, apresentam valores de LS inferiores. Este fenômeno se dá devido à influência da declividade, onde seus valores superiores se estabelecem em relevos mais acentuados.

De acordo com Pinheiro et al. (2014) todos os valores de LS acima de 1,5 são significativos, ou seja, grande parte da bacia apresenta valores elevados. No entanto, os valores do atual trabalho se assemelham a outros estudos de perda de solo em bacias. Gomes, Mamede e Lopes (2018), afirmaram que valores inferiores a 1, como os próximos ao exutório, indicam áreas de diminuição do potencial erosivo (FIORESE e TORRES, 2019).

#### 6.4 Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo – CP

A bacia de contribuição apresentou dois tipos de uso e cobertura do solo, sendo eles Vegetação arbórea e Área rural de uso diversificado, com valores de CP referentes a 0,00004 e 0,2 respectivamente. Parte do dique de contenção se localiza em área de pastagem, com valor de CP igual a 0,01 (Figura 9).

**Figura 9: Fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) em área de bacia de contribuição de reservatório**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os valores mais elevados de CP são relacionados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo, o que faz com que esses solos sejam mais suscetíveis a processos erosivos, como é o caso de áreas rurais de uso

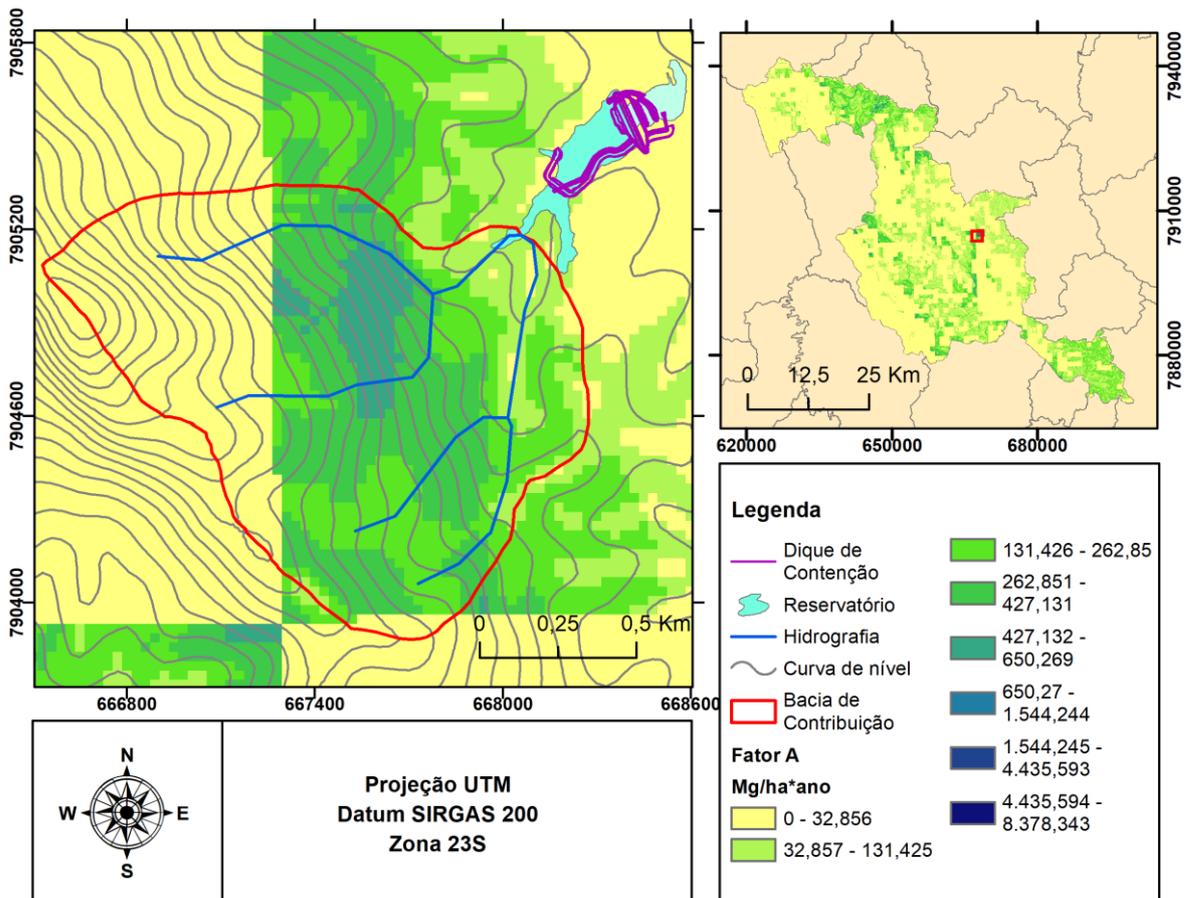
diversificado. Já a vegetação arbórea apresenta baixo valor de CP, pois protege o solo da erosão com sua flora.

Os resultados do fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo são afetados pela escala 1:250.000 do Mapa de Uso e Cobertura de solo em Minas Gerais (IBGE, 2018), usado em sua obtenção.

### 6.5 Perda média anual do solo – A

Os valores da perda média anual do solo para a bacia de contribuição do reservatório de dique de contenção de sedimentos variaram entre 0 e 650,269 Mg/ha.ano, distribuídos como demonstrado no mapa de perda de solo da área (Figura 10).

Figura 10: Perda média anual de solo (A) em área de bacia de contribuição de reservatório



**Fonte: Aatoria própria, 2022.**

Considerando a classificação da perda do solo proposta por Lanza (2011), retratada na Tabela 1, foi possível obter a distribuição das classes de potencial à erosão da bacia (Tabela 9).

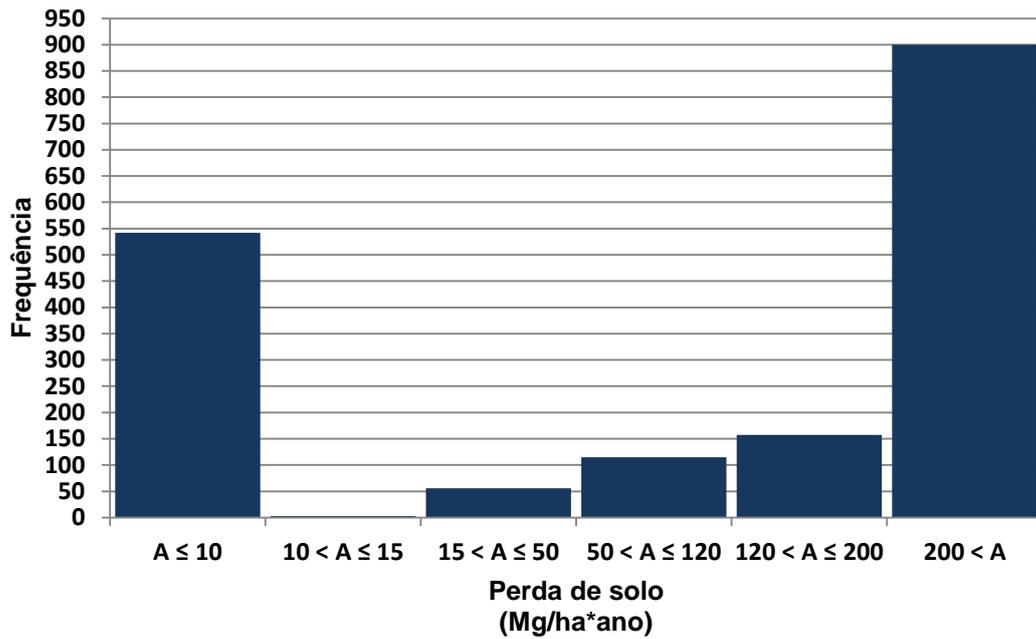
**Tabela 9: Distribuição das classes de potencial à erosão da bacia de contribuição**

<b>Valores de perda de solo (Mg/ha.ano)</b>	<b>Classes de erosividade (LANZA, 2011)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
A < 10	Nula a pequena	0,486	30,56
10 < A < 15	Moderada	0,0027	0,17
15 < A < 50	Média	0,0472	2,97
50 < A < 120	Média a Forte	0,107	6,74
120 < A < 200	Forte	0,139	8,76
200 < A	Muito Forte	0,808	50,80

**Fonte: Aatoria própria, 2022.**

Para melhor visualização, foi feito um histograma com a frequência dos valores de perda de solo na bacia de contribuição (Figura 11).

**Figura 11: Histograma da perda de solo (Mg/ha\*ano) na bacia de contribuição**



Fonte: Autoria própria, 2022.

## 6.6 Produção total de sedimentos pela bacia de contribuição

Os resultados do atual trabalho mostraram que a perda anual de solos na bacia de contribuição do reservatório do dique de contenção de sedimentos apresentou valor médio estimado em 334.160,768 Mg/ha.ano. Lembrando que a área de estudo trata-se de uma bacia pequena, de somente 1,59 km<sup>2</sup>.

A Tabela 10 mostra valores da perda média total de solo por ano em outras bacias, com suas respectivas áreas, de trabalhos encontrados na literatura.

Tabela 10: Referências de perda média total de solo por ano em bacias hidrográficas

Perda média anual de solo (Mg/ha.ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Autor
2.661,00	24,0057	DOMINGOS, 2006
9,26	202,43	MENDONÇA et al., 2014
7,15	14,8	SALIS et al., 2019

0,937

3.450

WATANABE et al.,  
2016

---

 Fonte: A autoria própria, 2022.

Ao avaliar os resultados de perdas de solo em bacias obtidos por outros autores, percebe-se que o valor alcançado no atual trabalho é muito elevado, pois em todos os estudos citados, as bacias possuíam extensões de área superiores e resultados de perda de solo inferiores. No entanto, nenhum dos estudos citava atividades minerárias inseridas nas bacias.

### 6.7 Vida útil do reservatório do dique de contenção de sedimentos

A razão entre a massa da produção total de sedimentos pela bacia, 334.160.768 kg/ano, e a massa específica do solo erodido, 1.600 kg/m<sup>3</sup>, resultou no volume de sedimentos gerados pela bacia de contribuição, 208.850,48 m<sup>3</sup>/ano.

Sendo assim, o cálculo da vida útil do reservatório do dique de contenção resultou em 0,978, ou seja, aproximadamente um ano.

## 7 CONCLUSÃO

O foco desse estudo foi estimar a perda média anual de solo proveniente da bacia de contribuição do reservatório de um dique de contenção de sedimentos. Esses sedimentos são provenientes de bacias de drenagem associadas à expansão da cava de lavra. O cálculo foi realizado com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos – EUPS relacionada a Sistemas de Informações de Geoprocessamento. Para isso, primeiro foi necessário calcular cada parâmetro constituinte da equação.

Os resultados das médias mensais do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) para a área de estudo foram maiores entre outubro e março, período em que o município Conceição do Mato Dentro registra sua temporada de chuvas. O fator erosividade da

chuva (R) apresentou variação entre 7.934,76 a 8.089,42 MJ.mm/ha.h, resultando em uma erosividade de intensidade forte, devido aos seus altos valores.

A análise do fator poderia ser aprimorada se houvessem mais estações pluviométricas dentro do município em que a bacia de contribuição está contida com registros de dados consistentes, no entanto, das quatro estações consultadas pela autora, somente uma apresentou uma base de dados elegível para o trabalho.

A bacia de contribuição possui a maior parte do seu território inserido em solos Neossolos Litólicos e uma pequena porção em Latossolos Vermelho. Neossolos Litólicos apresentam erodibilidade igual a 0,035 mg,h/MJ.mm e são caracterizados como solos de fácil susceptibilidade à erosão. De acordo com sua classificação quanto à intensidade, a erodibilidade da bacia é interpretada como média.

O cálculo e análise do fator erodibilidade do solo foram afetados pela escala do mapa dos tipos de solos usado como base de estudo. A escala 1:500.000 não permite uma diferenciação detalhada das classes, interferindo na precisão das análises.

O fator topográfico (LS) retratou valores entre 0,03 e 11,60, porém, somente a região próxima ao reservatório demonstrou resultados abaixo de 1,5, unidade já considerada significativa para o parâmetro. O restante da bacia apresentou valores maiores devido à influência do fator declividade, que é superior em áreas de maior altitude.

O fator uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) manifestou somente dois valores para toda a bacia, 0,00004 para áreas de vegetação arbórea e 0,2 para áreas rurais de uso diversificado. Regiões com vegetação arbórea apresentam baixo valor de CP por protegerem o solo e não apresentar solo exposto, diferente de áreas rurais que apresentam erosões antrópicas.

Assim como o fator erodibilidade do solo, o fator uso, manejo e práticas conservacionistas, é também prejudicado pela falta de riqueza de detalhes

proporcionada pela escala do mapa de uso e cobertura de solo usado como base (1:250.000).

Depois de ter calculado todos os parâmetros constituintes da EUPS, foi possível calcular a perda média anual do solo (A) para a área da bacia de contribuição estudada. De acordo com o resultado, a perda de solo variou entre 0 e 650,269 Mg/ha.ano, sendo que 50,8% da área estudada demonstrou intensidade de erosão muito forte ( $A > 200$  Mg/ha.ano). Isso se deve aos elevados valores erosividade da chuva, erodibilidade do solo e topografia encontrados. As chuvas intensas do período entre outubro e março, somado a solos de alta susceptibilidade à erosão e a altas declividades criam o cenário ideal para a ação da erosão laminar.

Os 30,56% da área da bacia de contribuição que registraram intensidade nula a pequena ( $A < 10$  Mg/ha.ano) apresentaram pouca perda de solo devido ao baixo valor de erodibilidade presente nas regiões com cobertura de vegetação arbórea que serviu de proteção para o solo mesmo em áreas de alta declividade ou então, apresentaram baixo valores do fator declividade por serem áreas próximas ao reservatório, que possuem baixa altitude.

A perda média anual total de solos na bacia de contribuição do reservatório foi estimada em 334.160,768 Mg/ha.ano. Na literatura, foram encontrados valores inferiores ao resultado encontrado para a bacia de contribuição. Sendo assim, é possível interpretar que o elevado quantitativo de sedimentos gerados ocorre devido aos altos valores apresentados pelos fatores R, K e LS da Equação Universal da Perda de Solos.

Portanto, considerando o alto quantitativo de sedimentos gerados pela bacia de contribuição e o fato de que as drenagens da bacia passarão a ser associadas à cava de mineração de minério de ferro, devido à sua expansão, a instalação do dique de contenção de sedimentos no local se fez extremamente necessário para a preservação do ambiente à jusante da bacia.

O volume de sedimentos gerados pela bacia de contribuição resultou em 208.850,48 m<sup>3</sup>/ano, ocasionando uma vida útil inferior a um ano para o reservatório

do dique de contenção de sedimentos, o que se caracteriza por um tempo curto, exigindo gastos periódicos com sua manutenção.

O fator que mais influenciou na obtenção dos parâmetros da Equação Universal da Perda de Solo por Sistema de Informação Geográfica foi a falta de precisão e detalhamento devido às pequenas escalas apresentadas pelos mapas e imagens rasters usados como base de dados para os cálculos, fazendo com que o resultado não fosse realístico. Isso ocorre em razão da falta de registros topográficos, pedológicos, de uso e cobertura do solo, pluviométricos, entre outros, mais detalhados no estado de Minas Gerais. Uma alternativa possível é associar o uso da EUPS por geoprocessamento com coletas feitas em trabalho de campo.

Há também a possibilidade de utilizar outras fontes pedológicas e de uso e cobertura do solo que apresentem resoluções melhores.

Quanto à vida útil do reservatório, seria conveniente realizar batimetrias anuais do reservatório do dique de contenção a fim de comparar os dados de campo com os do modelo, resultando em possíveis ajustes dos parâmetros da Equação Universal da Perda de Solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIESP – ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Glossário de ecologia**. v. 1, n. 57, 1987.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **HIDROWEB**: Séries históricas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 02 de nov. de 2021.

Albuquerque, A.W.; Chaves, I.B.; Vasques Filho, J. **Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo em regossolo eutrófico de Caruaru (PE)**. Campinas, v.18, 279-283p, 1994.

BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia, v. 18, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro, 372 p, 1994.

CHAVES, H. M. L. Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. Relatório final de Consultoria. **CODEVASF/FAO**, Brasília, 1994.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of soil and water conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

Domingos, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. 2006. 66 f. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

FIORESE, C. H. U. Estimativa do fator topográfico (LS) da sub-bacia hidrográfica do Córrego Paraíso, zona rural de Muniz Freire (ES). **Anais da Semana Acadêmica do Curso de Agronomia do CCAE/UFES-SEAGRO**, v. 3, n. 1, 2019.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v. 36, 1981, p. 355-359.

FREITAS, Leonardo Figueiredo de; JÚNIOR, Osmar Abílio de Carvalho; Guimarães, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Determinação do potencial de erosão a partir da utilização da EUPS na Bacia do Rio Preto. **Revista Espaço e Geografia**, v. 10, n. 2, 2007.

GOMES, F. E. F.; MAMEDE, G. L.; LOPES, F. B. Alternativa para o cálculo automático e espacializado do fator topográfico da USLE em bacias hidrográficas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 6-13, 2018.

GOMES, L. L. **Avaliação espacial da perda de solo por erosão pela Equação Universal De Perda Do Solo (EUPS) – Pilha de Estéril Sul – Carajás/PA**. 2012. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2018. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento\\_cobertura\\_uso\\_terra/v1/#/mapa/](https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/#/mapa/). Acesso em 18 de abril de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014 – 2016**. Rio de Janeiro, 30 p, 2018.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. TOPODATA: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 03 de nov. de 2021.

LARA, R.; PEREIRA, I.; SILVA, M. Caracterização química, física e elementar de substratos oriundos da mineração de ferro em Conceição do Mato Dentro – MG. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 08, 2017.

LANZA, D. S.. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média Bacia do Rio Paraopeba**. 2011. 133f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LEONARDI, I. **Tudo que você precisa saber sobre o Sistema de Informação Geográfica**. GEOeduc, 21 de jul. de 2020. Disponível em: <http://geoeduc.com/2020/07/21/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-sistema-de-informacao-geografica/>. Acesso em 18 de jul. de 2022.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, São Paulo. **In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo** (3: 1980: Recife), Anais. fl. 13, 1980.

MATA, C. L., et al. Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por Meio da Equação Universal de Perda de Solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p.57-71, 2007.

MATOS; T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal De Perda De Solo (USLE)**. 2015. 98f. Dissertação (Pós-graduação em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015.

MENDONÇA, H.; PATERLINI, E.; OLIVEIRA, F.; BARBOSA, R.; SANTOS, A. Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

MCCOOL, D. K. et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.

MCCOOL, Don K. et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1358-1367, 2012.

PINHEIRO, L. de S. et al. Geração do fator topográfico (LS) em bacia hidrográfica: análise da extensão de vertentes. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 8, n. 1, p. 50-60, 2014.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, n. 17, p. 30-37, 2005.

Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O. (1991), The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological Processes.**, 5: 59-79.

SALIS, H. H. C.; COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M. Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do córrego marinheiro, Sete Lagoas–MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 101-115, 2019.

SALOMÃO, N. V. **Aplicação da ecologia de paisagem para a implantação de corredores ecológicos no município de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais**. 2016. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina. 2016.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos, SP: Rima, 138p, 2003.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. Al. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências – UNESP**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: [idesisema.meioambiente.mg.gov.br](http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br). Acesso em: 08 de nov. de 2021.

SOUZA, F.B. **Interpolando dados no ArcGIS**. 2 Engenheiros, 14 de out. de 2016. Disponível em: <http://2engenheiros.com/2016/10/14/interpolando-dados-no-arcgis/#:~:text=Ela%20%C3%A9%20adequada%20para%20trabalhar,ser%20utilizada%20para%20extrapolar%20dados>. Acesso em 05 de jul. de 2022.

STEIN, D. P. et al. Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, v. 4, p. 105-135, 1987.

STOCKING, M. **Modelagem de Perdas de Solo: Sugestões para Uma Aproximação Brasileira**. Brasília, Distrito Federal, 76p, 1982.

TARBOTON, D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, v. 33, 309-319p, 1997.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.. Determinação da capacidade de uso do solo de bacia hidrográfica através da sistematização da EUPS no Spring. **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 323-332, 2007.

UFV; CETEC; UFLA; FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de Solos do estado de Minas Gerais**, 2011. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 08 de nov. de 2021.

WATANABE, Roberto Massaru. Drenagem urbana. **Área de contribuição**, 2013. Disponível em: <https://www.ebanataw.com.br/drenagem/area.htm#:~:text=Na%20Hidrologia%20a%20%C3%81rea%20de,longo%20das%20partes%20mais%20altas>. Acesso em 30 de maio de 2022.

WATANABE, M.; OLIVEIRA, F. A. D.; NUNES, D. D.; CHECCHIA, T. E. Análise geossistêmica e quantificação de perda de solo da bacia do Rio Mutum-Paraná (RO). Confins. **Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasilera de geografia**, n. 29, 2016.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA/ARS, 58 p, 1978.