



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL -**  
**CEAMB**



**VICTOR SANTOS E SANTIAGO**

**ANÁLISE E PREDIÇÃO À EROÇÃO DO SOLO COM RUSLE NO  
MUNICÍPIO DE OURO PRETO, MINAS GERAIS, ATRAVÉS DE  
GEOPROCESSAMENTO E SIG.**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Ouro Preto, 2023**

**VICTOR SANTOS E SANTIAGO**

**ANÁLISE E PREDIÇÃO À EROÇÃO DO SOLO COM RUSLE NO  
MUNICÍPIO DE OURO PRETO, MINAS GERAIS, ATRAVÉS DE  
GEOPROCESSAMENTO E SIG.**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.**

Orientador: Prof. Maria Eugênia Silva de Souza, D.Sc.

**Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
2023**



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Victor Santos e Santiago**

**Análise e predição à erosão do solo com RUSLE no município de Ouro Preto, Minas Gerais, através de geoprocessamento e SIG**

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 11 de Agosto de 2023

### Membros da banca

Profª. Drª. Maria Eugênia Silva de Souza - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Daniel Silva Jaques - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Engenheiro Ambiental Daniel Neiva

Profª. Drª Maria Eugênia Silva de Souza, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Maria Eugênia Silva de Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/08/2023, às 15:55, 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 **0580498** e o código CRC **1CB0657B**.

## RESUMO

Os processos erosivos constituem eventos exógenos, naturais ou antrópicos, que acarretam no transporte de partículas e na perda de solo. A perda de solo pode ser um processo desejado ou não para uma gestão territorial, entretanto, para um gerenciamento mais eficiente, torna-se necessário datar e analisar tais eventos. O modelo matemático Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), desenvolvido inicialmente por Wischmeier & Smith em 1978, propõe equacionar as variáveis resultantes da perda de solo, e tem sido amplamente empregado em diversas pesquisas, apresentando resultados relevantes no mapeamento de áreas suscetíveis à erosão. Nesse contexto, aplicou-se o modelo matemático RUSLE ao município de Ouro Preto, Minas Gerais, utilizando interfaces como geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que possibilitam uma melhor espacialização das informações e a manipulação do modelo, visando prever os eventos erosivos da região. O geoprocessamento dos dados referentes à equação RUSLE para o município permitiu a criação de diversas cartas temáticas para a região, as quais demonstram a significância das variáveis isoladas, bem como da resultante para o local estudado. A carta temática de perda de solo do município de Ouro Preto, intitulada "fator A", representa o produto do presente estudo, o qual delinea um modelo processual de aplicação da equação RUSLE.

**Palavras-chaves:** RUSLE. Geoprocessamento. SIG. Perda de solo. Processos erosivos.

## ABSTRACT

Erosive processes constitute exogenous events, natural or anthropogenic, that lead to the transport of particles and soil loss. Soil loss can be a desired or undesired outcome for territorial management. However, for more efficient management, it becomes necessary to date and analyze such events. The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), a mathematical model initially developed by Wischmeier & Smith in 1978, proposes to quantify the variables resulting from soil loss and has been widely employed in various research studies, yielding relevant results in mapping erosion-prone areas. In this context, the RUSLE mathematical model was applied to the municipality of Ouro Preto, Minas Gerais, utilizing interfaces such as geoprocessing and Geographic Information Systems (GIS). These tools enable enhanced spatial visualization of information and model manipulation, with the aim of predicting erosive events within the region. Geoprocessing the data related to the RUSLE equation for the municipality facilitated the creation of multiple thematic maps, illustrating the significance of isolated variables and the overall result for the studied area. The thematic map depicting soil loss in the municipality of Ouro Preto, titled "factor A," represents the outcome of this study. It outlines a procedural model for applying the RUSLE equation, offering valuable insights for territorial management and erosion prevention in the region.

**Key-words:** RUSLE. Geoprocessing. GIS. Soil loss. Erosive processes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Carta limite regional do município de Ouro Preto, Minas gerais. . . . .	12
Figura 2 – Carta de elevação altimétrica de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	17
Figura 3 – Carta de erosividade, fator R, de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	19
Figura 4 – Carta de erodibilidade, fator K, de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	21
Figura 5 – Carta de comprimento e declividade, fator LS, de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	23
Figura 6 – Carta de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, fator CP, de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	24
Figura 7 – Carta de perda de solo, fator A, de Ouro Preto, Minas Gerais. . . . .	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas (SNIRH) e respectivas erosividade EI30 (F). . . . .	14
Tabela 2 – Classe de solo e respectivo fator (K) adotado. . . . .	16
Tabela 3 – Fatores CP em função das classes de uso e ocupação do Solo. . . . .	18
Tabela 4 – Classe de índice de Erosividade (R) anual (CARVALHO, 2008). . . . .	19
Tabela 5 – Intervalos de classe para o fator K (MANNIGEL et al., 2002). . . . .	20
Tabela 6 – Distribuição de classe acumulada na área de estudo, fator K. . . . .	22
Tabela 7 – Distribuição de classe acumulada na área de estudo, fator CP. . . . .	25
Tabela 8 – Distribuição da perda de solo (A) (t.ha-1.ano-1) na área de estudo. . . . .	25

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

GIS	Geographic Information System
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MDE	Modelo Digital de Elevação
PromoSAT-OP	Programa de Monitoramento Socioambiental do Território Ouro-pretano
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SAGA	System for Automated Geoscientific Analytics
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UFV	Universidade Federal Viçosa
USLE	Universal Soil Loss Equation



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> . . . . .	<b>9</b>
2.1	Objetivos Específicos . . . . .	9
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> . . . . .	<b>10</b>
3.1	Processos Erosivos . . . . .	10
3.2	Equação universal de perda do solo RUSLE . . . . .	10
3.3	Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas . . . . .	11
3.4	Região de estudo . . . . .	11
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>13</b>
4.1	Fator de erosividade da precipitação . . . . .	13
4.2	Fator de erodibilidade . . . . .	14
4.3	Fator de comprimento e declividade . . . . .	16
4.4	Fator de uso do solo e práticas conservacionistas . . . . .	17
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>19</b>
5.1	Carta temática da variável de erosividade da precipitação (R) . . . . .	19
5.2	Carta temática da variável de erodibilidade do solo (K) . . . . .	20
5.3	Carta temática da variável de comprimento (L) e declividade (S) . . . . .	22
5.4	Carta temática da variável de uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) . . . . .	23
5.5	Carta temática de gradiente de perda média anual do solo (A) . . . . .	25
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>29</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A erosão é um processo geológico exógeno em que partículas de solo são desagregadas e transportadas por diversos agentes erosivos naturais, como por exemplo a água e o vento (TEIXEIRA et al., 2007). Todavia, os processos erosivos podem ser significativamente acelerados por atividades antrópicas. Sendo assim, tais processos são tema de diversos estudos e pesquisas, uma vez que são entendidos como um ponto crítico para sérias alterações globais (ANGIMA et al., 2003). Buscando compreender as dinâmicas envolvidas nesse processo, diversas equações para o cálculo de perda de solo foram desenvolvidas ao longo do tempo, no intuito de modelar tais processos. Considerando a perda do solo como resultante dos processos erosivos, - foi desenvolvida a Equação Universal de Perda do Solo, (“Universal Soil Loss Equation” - USLE), posteriormente adaptada para Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Essa equação propõe calcular a perda do solo através de fatores erosivos passíveis de serem modelados.

O modelo RUSLE tem sido difundido e aplicado, em diversas escalas, por diferentes pesquisadores, principalmente através de softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que facilitam sua aplicabilidade. Desta forma, ferramentas SIG são essenciais para estudos temáticos, que utilizam modelos matemáticos e cartográficos, especialmente aqueles voltados para a perda de solo (PINTO; GARCIA, 2005).

O município de Ouro Preto, Minas Gerais, enfrenta ao longo de toda sua história inúmeros desafios no que tange os aspectos geotécnicos urbanos. Tais riscos envolvem desde um elevado número de áreas com alto risco geotécnico de deslizamentos de terra, rastejo e quedas de blocos (GOES et al., 2016), até áreas com grandes e contínuos processos de voçorocamento (SANTOS; SOBREIRA; NETO, 2002). Além disto, este município, área alvo do presente estudo, é uma cidade tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) desde 1938, necessitando que sua gestão territorial seja ancorada em estudos que objetivem melhores formas de identificar as áreas com maior potencial de risco geotécnico e de perda do solo.

Assim, o presente trabalho focou em elaborar uma carta temática para a perda do solo com o auxílio do modelo matemático RUSLE em ambiente SIG.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo geral do presente trabalho consistiu na análise da susceptibilidade a erosão do solo no município de Ouro Preto, através do modelo RUSLE e Sensoriamento Remoto em ambiente SIG.

### **2.1 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral proposto tem-se como objetivos específicos:

- Analisar a precipitação e erosividade do escoamento, fator R.
- Verificar e avaliar o fator K de erodibilidade do solo.
- Definir o fator LS de comprimento e declividade.
- Avaliar o fator CP de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Processos Erosivos

A erosão pode ser classificada em dois grupos, natural e antrópica (CARVALHO, 1994; BIGARELLA, 2003; SILVA et al., 2015). A erosão natural é resultante do processo de desgaste da superfície da terra por água, gelo ou outros agentes naturais, por critérios correlatos em termos de clima e vegetação, estabelecendo-se o ciclo natural de erosão. Com uma contínua alteração das formas de relevo, a partir do deslocamento de partículas transportadas pelos agentes erosivos, essas fases geológicas do terreno natural podem ser divididas em transformações juvenil, madura e senil (PAULO, 1987; SILVA et al., 2004).

A erosão antrópica, por sua vez, é caracterizada por alterar as dinâmicas naturais de transformação topográfica, podendo torná-las mais céleres do que as alterações naturais, acentuando as dinâmicas de transporte das partículas do solo causadas pelos agentes erosivos, constituindo a principal causa de perda de solo (SILVA et al., 2004; BERTONI; NETO, 2005).

As ações antrópicas constituem um processo de ruptura do equilíbrio natural existente no solo, onde as forças advindas dos fatores climáticos, são suficientes para impactar esse sistema, associadas também a diversos fatores relativos às condições geográficas do terreno sob ação da água, do vento, da gravidade e da temperatura (SILVA, 2008).

#### 3.2 Equação universal de perda do solo RUSLE

Para estimar efetivamente a erosão do solo e estabelecer planos de gestão à erosão do mesmo, muitos modelos computacionais foram desenvolvidos e testados. Um dos modelos mais utilizados para estudar os fenômenos de erosão é o “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (RUSLE), esse modelo empírico baseia-se na “*Universal Soil Loss Equation*” (USLE). Essa função foi projetada para estimar a perda média anual de solo em uma área ao longo do tempo. Considerando diferentes tipologias e parâmetros, de modo geral a equação RUSLE pode ser escrita como

$$A = (L \cdot S) \cdot R \cdot K \cdot (C \cdot P),$$

onde:

- A = é a perda de solo (t.ha-1.ano-1);
- R = representa o fator de erosividade da precipitação (MJ.mm.ha-1.h-1.ano-1);
- K = o fator de erodibilidade do solo (t.h.MJ-1.mm-1);
- L = simboliza o fator de comprimento (adimensional);

- S = caracteriza o fator de declividade (adimensional);
- C = exprime o fator de uso e manejo do solo (adimensional);
- P = informa o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

### 3.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas

O Geoprocessamento utiliza um conjunto de técnicas e tecnologias de diversas bases científicas para produzir informações georreferenciadas, obtidas a partir da coleta, armazenamento e análise de dados geográficos. O processamentos por *software*, das informações geográficas, geram produtos de geoprocessamento, os quais podem destacar informações relevantes em análises mais elaboradas de um ambiente geográfico. Esse produto tende a contribuir com o planejamento estratégico e territorial, que auxiliam a execução de ações de gestão ambiental (BURROUGH, 1994).

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), do inglês *Geographic Information System* (GIS), é uma ferramenta de abordagem interdisciplinar que integra dados geoespaciais, como mapas, imagens de satélite, informações de sensoriamento remoto e dados de geoprocessamento, para capturar, armazenar, analisar, manipular e apresentar informações geográficas. Ele permite a criação de representações digitais do mundo real, onde elementos geográficos são associados a dados e atributos específicos, possibilitando a análise espacial, tomada de decisões e visualização de informações geográficas (TEIXEIRA; MORETTI; CHRISTOFOLETTI, 1992; ROSA; BRITO, 1996; CÂMARA; MEDEIROS, 1998; CARVALHO; PINA; SANTOS, 2000).

Desta forma o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um conjunto de sistemas de softwares e hardwares capazes de coletar, armazenar, processar, e analisar inúmeras informações sobre o espaço geográfico, onde o produto final pode ser apresentado por mapas cartográficos, imagens de sensoriamento, cartas temáticas, gráficos e tabelas. Esses produtos são importantes para a análise de evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos espaciais, como os processos erosivos.

### 3.4 Região de estudo

O município de Ouro Preto está localizado na região central do estado de Minas Gerais, Brasil, e possui uma área de aproximadamente 1.245 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). A cidade está situada no Quadrilátero Ferrífero, a uma altitude média de 1.150 metros acima do nível do mar, e faz parte da bacia do rio Doce (PREFEITURA DE OURO PRETO, 2023) (Figura 1). A cobertura

vegetal original da região foi intensamente modificada pela atividade de mineração de ouro durante o século XVIII e XIX, o que resultou em uma série de processos erosivos que afetam a região até os dias de hoje.

Os processos erosivos na região são influenciados por diversos fatores, incluindo a topografia acidentada, a intensidade e distribuição das chuvas, o tipo de solo e o uso do mesmo. A análise e predição da erosão do solo no município de Ouro Preto é, portanto, fundamental para a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável da região.

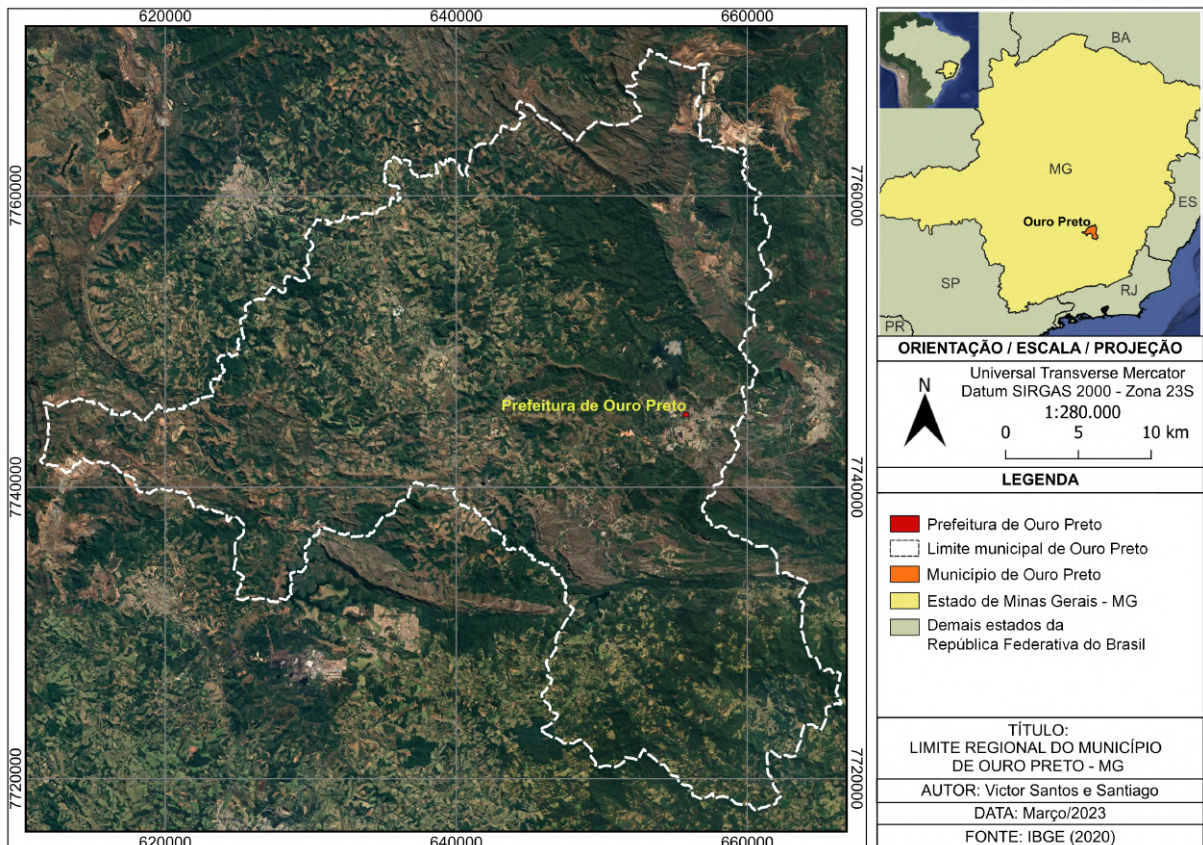


Figura 1 – Carta limite regional do município de Ouro Preto, Minas Gerais.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Fator de erosividade da precipitação

O fator de Erosividade da Precipitação (R) é responsável por estimar a erosão do solo causada pelo efeito *splash* do gotejamento de água. Esse fator é calculado a partir da intensidade e duração da chuva, e varia conforme a localização geográfica.

Devido à indisponibilidade ou insuficiência das informações no portal “Hidroweb”, do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), neste trabalho, a obtenção dos dados de R foi realizada por meio da ferramenta “netErosividade MG”, desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) (MOREIRA et al., 2008). Essa ferramenta utiliza dados de precipitação pluviométrica para calcular o EI30, uma medida da energia cinética da chuva que pode causar erosão do solo, tomando como base a energia cinética calculada pelo método proposto por Foster et al. (1981).

Os dados utilizados estão representados na tabela 1, considerando as informações pluviométricas disponíveis no portal Hidroweb, com proximidade da área de estudo.

Para gerar a camada *raster* de erosividade foi utilizado o processo “Interpolação IDW”, da caixa de ferramentas do software QGIS, referenciado os valores da coluna EI30 (F).



<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Lon GD</b>	<b>Lat GD</b>	<b>Altitude</b>	<b>EI30 (F)</b>
29334	2043125	-43,6390	-20,3600	1196	7604
29333	2043120	-43,4900	-20,3650	1267	7580
29327	2043119	-43,5180	-20,3780	1207	7571
29332	2043117	-43,6600	-20,2570	1080	7562
29344	2043049	-43,5000	-20,3833	1193	7552
29328	2043121	-43,5100	-20,4070	1194	7550
29336	2043127	-43,6540	-20,4210	1336	7536
29355	2043052	-43,7000	-20,5000	1161	7533
29331	2043116	-43,7200	-20,3550	1090	7522
29335	2043126	-43,6690	-20,3590	1105	7521
29326	2043118	-43,5020	-20,3960	1152	7498
29086	2043059	-43,4881	-20,0969	1297	7486
29340	2043078	-43,6975	-20,2628	919	7424
29337	2043056	-43,6158	-20,3031	964	7417
29817	2043065	-43,7317	-20,2139	894	7417
29816	2043076	-43,6825	-20,2406	904	7416
29329	2043122	-43,4900	-20,4070	1087	7397
29813	2043060	-43,8000	-20,2878	873	7375
29963	2043099	-43,8580	-20,5130	1023	7352
29089	2043062	-43,4000	-20,1500	868	7351
17938	2044085	-44,0290	-20,4140	900	7343
29815	2043077	-43,8039	-20,2242	843	7321
29323	2043130	-43,4703	-20,4678	1060	7315
29528	2043112	-43,4230	-20,4020	965	7290
29330	2043123	-43,5130	-20,3700	1462	7286
29965	2043101	-43,7990	-20,5180	928	7210
29964	2043100	-43,8700	-20,5040	899	7208
29525	2043109	-43,4300	-20,3650	821	7177
29967	2043013	-43,8300	-20,5219	898	7175
29322	2043129	-43,5217	-20,4944	916	7165
17939	2044033	-44,0217	-20,4083	799	7151
29527	2043111	-43,4210	-20,3860	790	7111
35994	2043005	-43,7536	-20,6250	926	7070
29324	2043082	-43,4489	-20,4942	740	6953
29529	2043113	-43,4160	-20,3610	703	6953
29526	2043110	-43,4150	-20,3740	700	6943
29325	2043080	-43,4456	-20,4894	724	6938
29321	2043081	-43,4467	-20,4764	680	6882
29237	2043010	-43,2994	-20,6906	639	6807
29236	2043067	-43,3103	-20,6864	609	6797

Tabela 1 – Estações pluviométricas (SNIRH) e respectivas erosividade EI30 (F).

## 4.2 Fator de erodibilidade

O fator K de erodibilidade do solo é uma das principais variáveis utilizadas para estimar a perda de solo por erosão. No entanto, a determinação precisa do valor de K pode ser uma tarefa



difícil e desafiadora, devido à grande variação das propriedades físicas e químicas do solo em diferentes regiões e condições ambientais.

Algumas das dificuldades enfrentadas na determinação do fator K de erodibilidade do solo incluem a variabilidade espacial e temporal das características do solo, tanto quanto a cobertura vegetal e o regime de chuvas.

Diversos estudos já foram publicados trazendo métodos diretos e indiretos para estimar o fator K, contudo ainda existe a incerteza de reproduzir os valores de erodibilidade para solos semelhantes, porém em regiões distintas.

Para este trabalho foi utilizado a base de dados vetoriais Pedológicas do portal “Web-MAPA” do Programa de Monitoramento Socioambiental do Território Ouro-pretano (PromoSAT-OP), contendo informações sobre as características do solo e suas classes para a região de Ouro Preto.

O valor do fator K foi escolhido em comparação com trabalhos de diversos autores (DENARDIN, 1990; FIORIO, 1998; KNIJFF; JONES; MONTANARELLA, 1999; CHAVES, 2012; MORAIS; SALES, 2017). A tabela 2 traz os valores adotados neste trabalho.

<b>Classe</b>	<b>Solo</b>	<b>K</b>
AR8	Afloramento de Rocha, relevo forte ondulado e montanhoso + Neossolos Litólicos Psamítico típico, textura arenosa cascalhenta, A moderado, fase rochosa, campo tropical, relevo forte ondulado (70-30%);	0,010
CXbd1	Cambissolos Háplicos Tb Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado;	0,044
CXbd21	Cambissolos Háplicos Tb Distrófico típico, textura média/média cascalhenta, A moderado, fase não pedregosa e endopedregosa, campo tropical, relevo ondulado e suave ondulado;	0,044
CXbd28	Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Eutróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos;	0,044
CXbd29	Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Eutróficos + Afloramentos de Rochas;	0,030
CXbdf1	Cambissolo Háplicos Tb Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado;	0,040
LVA d1	Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos;	0,014
LVd13	Latossolos Vermelhos Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos;	0,025
LVd15	Latossolos Vermelhos Distróficos + Latossolos Vermelho;	0,025
LVd8	Latossolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos;	0,025
PVd3	Argissolos Vermelhos Distróficos + Latossolos Vermelhos Distróficos;	0,030
RLd10	Neossolos Litólicos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos;	0,040
RLd4	Neossolos Litólicos Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos;	0,036

Tabela 2 – Classe de solo e respectivo fator (K) adotado.

### 4.3 Fator de comprimento e declividade

A região do município de Ouro Preto - MG é caracterizada por uma topografia bastante irregular, marcada por encostas íngremes, vertentes extensas e influenciada por atividades antrópicas (FONSECA; SOBREIRA, 2001) (Fonseca & Sobreira, 2001). Dessa forma, para que se possa realizar uma análise e previsão confiável da erosão do solo nessa região, é importante obter informações cartográficas dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) com altas resoluções, para que o geoprocessamento possa determinar o fator L e S com maior precisão.

A camada altimétrica *raster* foi obtida no portal “Topodata”, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nos quadrantes identificados como “21S45” e “21S465”,

as quais abrangem a área de estudo (figura 2).

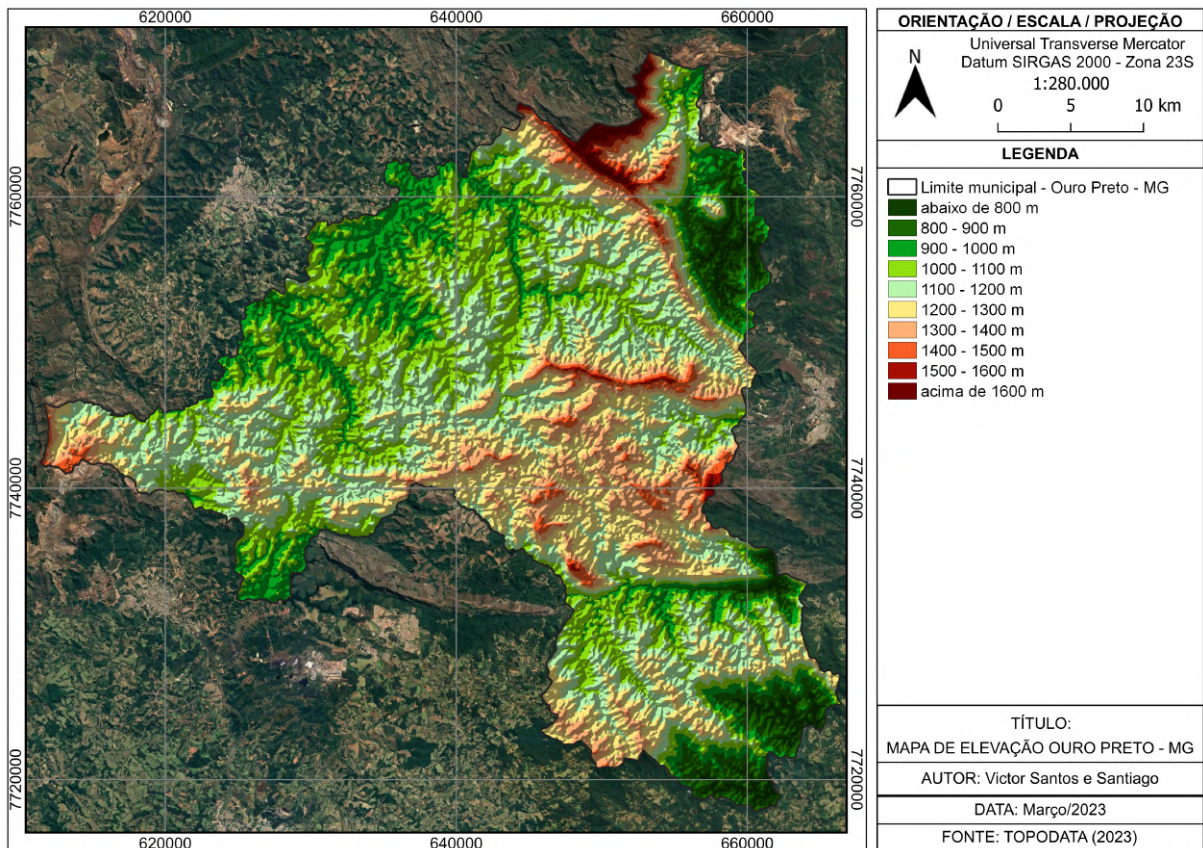


Figura 2 – Carta de elevação altimétrica de Ouro Preto, Minas Gerais.

Para a produção da camada *raster* referente ao fator LS foi utilizado a ferramenta de processamento automatizada, do software QGIS, denominada “Ls-factor, field based”, pertencente ao grupo SAGA (*System for Automated Geoscientific Analytics*). Utilizando como parâmetro de entrada a camada MDE e alterando a base de cálculo para Wischmeier & Smith 1978 foi obtido a camada de saída fator LS, referente aos fatores combinados de comprimento e declividade.

#### 4.4 Fator de uso do solo e práticas conservacionistas

O fator C (cobertura e manejo do solo) e o fator P (práticas conservacionistas) são importantes componentes da equação RUSLE para a análise e previsão da erosão do solo. A cobertura vegetal e as práticas conservacionistas são fatores que influenciam diretamente na proteção do solo contra a erosão hídrica e eólica.

Para analisar esses fatores, foi utilizado como base de dados o “MapBiomas”, que monitora e fornece informações geoespaciais sobre a dinâmica da cobertura e uso do solo no Brasil. Esse banco de dados é composto por imagens de satélite de alta resolução, que são processadas e classificadas por meio de algoritmos de aprendizado de máquina.

Com a utilização do software QGIS foi possível realizar a edição da camada *raster*, utilizando a ferramenta “Raster para vetor (poligonizar)”, mudando seus dados para uma camada vetorial e atribuindo valores a cada um dos atributos conforme apresentado na tabela 3. Após a atribuição dos valores do fator CP foi realizada a rasterização dessa camada vetorial com o auxílio da ferramenta “Converter vetor para *raster* (rasterizar)”, resultando na camada fator CP.

<b>Descrição</b>	<b>CP</b>
Área Urbanizada / Rio, Lago e Oceano / Afloramento Rochoso / Campo Alagado e Área Pantanosa;	0,00000
Formação Florestal / Formação Savânica	0,00004
Formação Campestre / Pastagem	0,10000
Silvicultura / Cana / Soja / Arroz / Café / Outras Lavouras Temporárias / Outras Lavouras Perenes / Mosaico de Usos	0,25000
Mineração / Outras Áreas não Vegetadas	1,00000

Tabela 3 – Fatores CP em função das classes de uso e ocupação do Solo.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Carta temática da variável de erosividade da precipitação (R)

Seguindo a classificação de Carvalho (CARVALHO, 2008) a erosividade da precipitação pode ser distribuída em classes de erosividade, como demonstrado na tabela 4. Os valores de erosividade obtidos para a regional ouropretana apresentam um índice anual entre 6797 e 7604, o que indica uma classe de erosividade moderada a forte e erosividade forte.

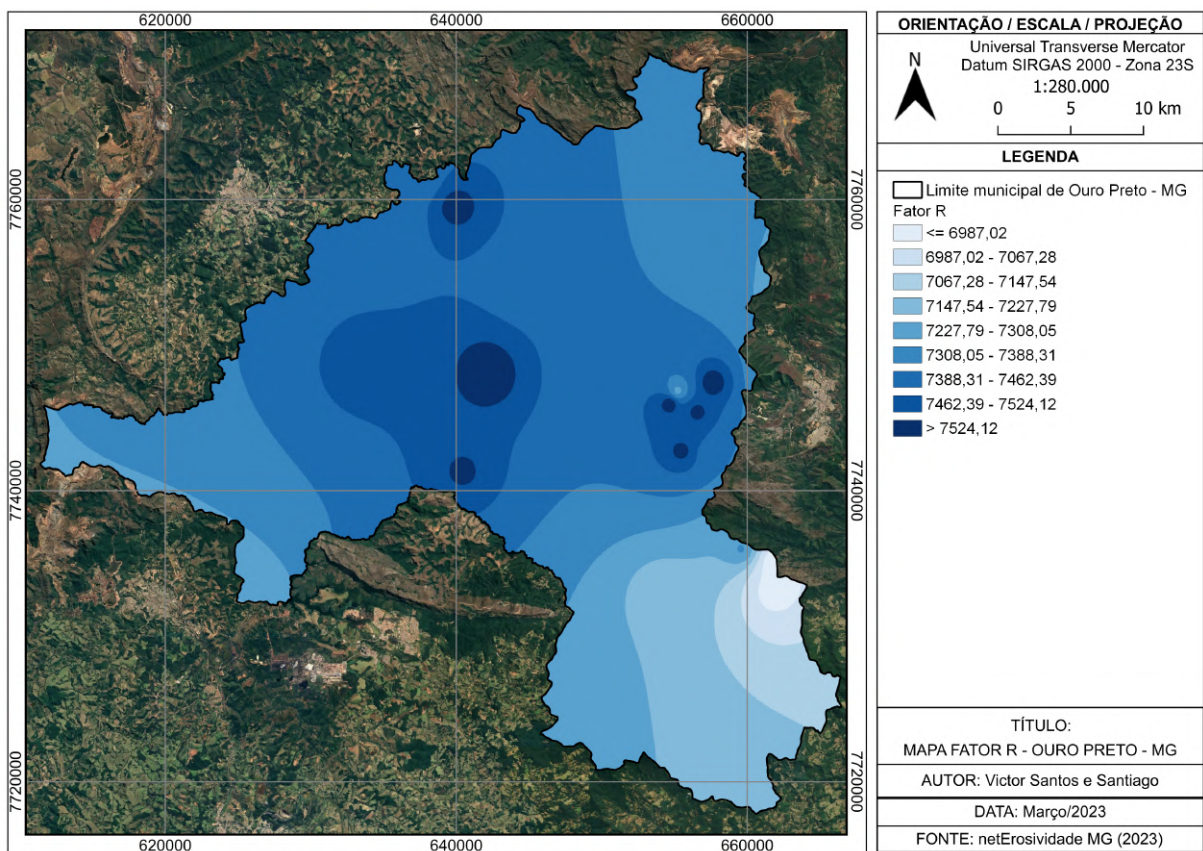


Figura 3 – Carta de erosividade, fator R, de Ouro Preto, Minas Gerais.

Erosividade (MJ.mm.ha-1.h-1.ano-1)	Classe de erosividade
$R < 2452$	Erosividade Fraca
$2452 < R < 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R < 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R < 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Tabela 4 – Classe de índice de Erosividade (R) anual (CARVALHO, 2008).

Através da técnica de interpolação dos valores médios anuais do índice de erosividade EI30 das estações meteorológicas do estudo, foi possível estimar a distribuição da erosividade das chuvas na região, conforme pode ser observado na Figura 3.

A representação cartográfica da erosividade da precipitação é apresentada na carta esquemática do fator R, onde as tonalidades de azul escuro representam as áreas com maiores potenciais de degradação do solo, enquanto as tonalidades de azul claro indicam os menores potenciais. Os valores exibem uma distribuição uniforme, resultante da automatização da geração de dados históricos pelo software "netErosividade MG", em conjunto com o georreferenciamento das localidades das estações pluviométricas cadastradas no portal "Hidroweb" SNIRH. A obtenção do padrão de distribuição do gradiente de erosividade poderia ser realizada a partir de diferentes séries históricas, mas devido à carência de dados adequados para a obtenção do fator R, a utilização deste software demonstrou-se eficiente para proporcionar uma estimativa da distribuição de erosividade da chuva.

Esse resultado evidencia a viabilidade de elaborar uma carta preditiva da erosividade da chuva ao empregar modelos matemáticos preexistentes e ferramentas de *software* hidrológico.

## 5.2 Carta temática da variável de erodibilidade do solo (K)

A carta temática, produto do geoprocessamento, para o fator K de erodibilidade do solo está representada na figura 4. Os menores valores apresentados para a região pertencem ao solo AR8 e os maiores valores pertencem aos solos CXbd1, CXbd21 e CXbd22, respectivamente, 0,010 e 0,044.

Segundo a classificação de Mannigel (MANNIGEL et al., 2002), pode-se destacar a predominância das classes de erodibilidade ao fator K entre Baixa e Alta. A tabela 5 demonstra a distribuição do fator em ordem crescente e destaca-se também a área de cada classe.

<b>Amplitudes de K (ton.ha.h/ha.MJ.mm)</b>	<b>Classe de erodibilidade</b>
K < 0,009	Muito Baixa
0,009 < K < 0,015	Baixa
0,015 < K < 0,030	Média
0,030 < K < 0,045	Alta
0,045 < K < 0,060	Muito Alta
K > 0,060	Extremamente Alta

Tabela 5 – Intervalos de classe para o fator K (MANNIGEL et al., 2002).

Os valores representados esquematicamente na carta de erodibilidade do solo estão agrupados de acordo com a variável do fator K, sendo que as tonalidades mais avermelhadas indicam maior potencial de perda do solo em relação às tonalidades mais esverdeadas. Aproximadamente dois quintos do município de Ouro Preto apresentam solo com alto potencial de erodibilidade, o que pode demonstrar uma tendência de riscos geológicos na região.

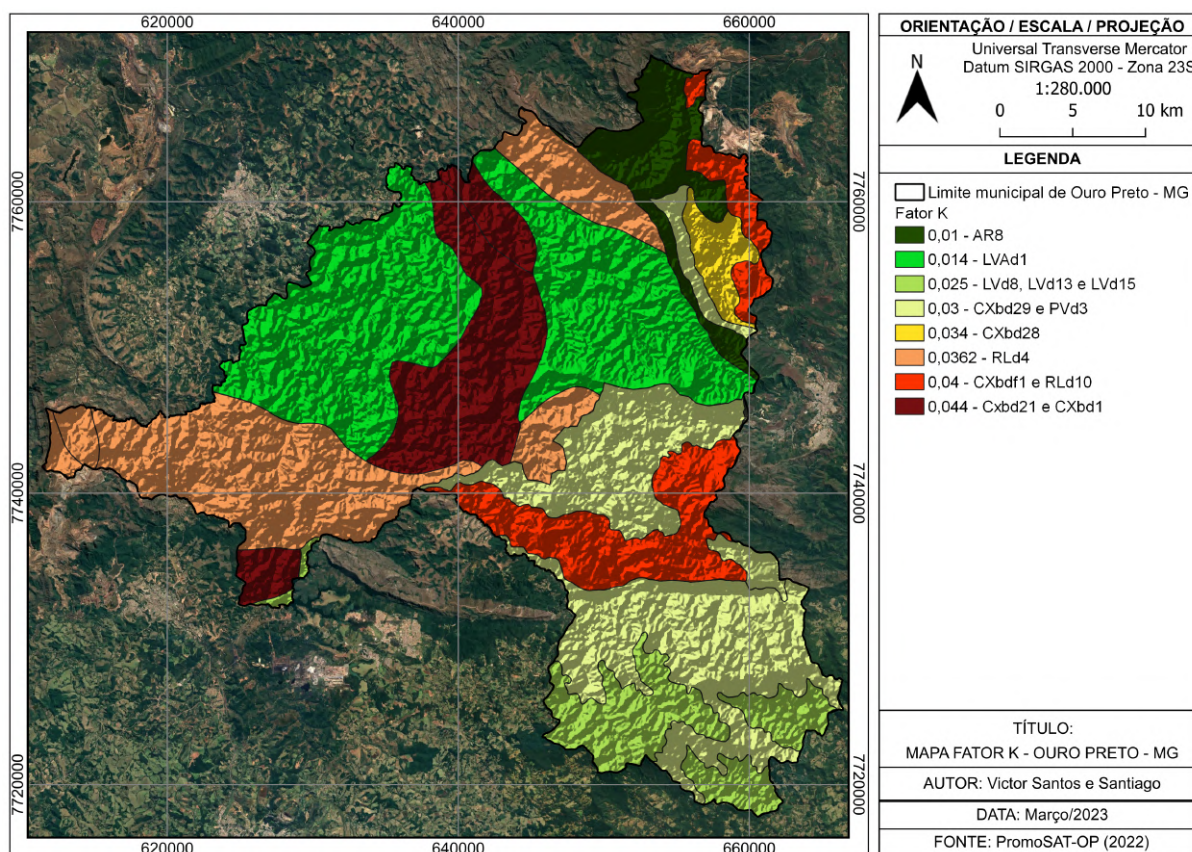


Figura 4 – Carta de erodibilidade, fator K, de Ouro Preto, Minas Gerais.

Apesar da carta apresentar uma representação aparentemente uniforme das classes de solo, é importante ressaltar que essa representação é uma predição indireta e aproximada. O valor mais adequado do fator K, como apresentado na tabela 6, obtido por predições diretas, é uma estimativa proveniente de amostras *in situ*. É relevante observar que uma mesma classe de solo pode apresentar diferentes valores para o fator K, em decorrência de diversas interferências temporais, sejam elas geoclimáticas, naturais ou antrópicas. Além disso, a composição textural do solo é um fator crucial para o fator K, onde diferentes combinações de frações de areia, silte e argila, para uma mesma classe de solo, podem ocorrer e ser determinantes para o valor de erodibilidade. Nesse contexto, a sua estimativa indireta pode perder acurácia quando aplicada em grandes escalas geográficas, variando a partir das parcelas de classes de solos adotadas para sua representação, bem como dos modelos empregados para sua datação (LIMA et al., 2007).

Estudos de erodibilidade voltados para aplicação direta em ambiente SIG podem ser uma estratégia relevante para a compilação de um geoprocessamento mais eficiente, onde a adoção de pontos estratégicos para coleta de amostras *in situ* e apuração do fator K pode gerar valores mais fidedignos ao estimar áreas em maiores escalas de trabalho.

Contudo, para uma avaliação indireta das classes de erodibilidade do solo, o resultado obtido mostrou-se satisfatório para o presente trabalho, uma vez que o objetivo proposto foi



alcançado, apesar da escassez de dados abrangendo toda a área de estudo. Essa limitação levou à necessidade de abordar pesquisas em outras regiões geográficas que mais se adequassem ao propósito deste estudo.

Solo	Área (km <sup>2</sup> )	Área acumulado (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área acumulado (%)	Fator K	Classe
AR8	54,919	54,92	5,13%	5,13%	0,01	Baixa
LVA d1	279,156	334,08	26,06%	31,18%	0,014	Baixa
LVd8	2,57556	336,65	0,24%	31,42%	0,025	Média
LVd15	47,6946	384,35	4,45%	35,88%	0,025	Média
LVd13	31,4729	415,82	2,94%	38,81%	0,025	Média
PVd3	127,02	542,84	11,86%	50,67%	0,03	Média
CXbd29	98,4441	641,28	9,19%	59,86%	0,03	Média
CXbd28	19,4314	660,71	1,81%	61,67%	0,034	Alta
RLd4	186,185	846,90	17,38%	79,05%	0,0362	Alta
RLd10	74,9835	921,88	7,00%	86,05%	0,04	Alta
CXbdf1	22,9202	944,80	2,14%	88,19%	0,04	Alta
CXbd21	28,555	973,36	2,67%	90,86%	0,044	Alta
CXbd1	97,9844	1.071,34	9,15%	100,00%	0,044	Alta

Tabela 6 – Distribuição de classe acumulada na área de estudo, fator K.

### 5.3 Carta temática da variável de comprimento (L) e declividade (S)

O produto do geoprocessamento dos fatores L e S, combinados, estão representados na carta de erodibilidade do solo na figura 5.

Os resultados obtidos para o fator LS estão representados entre os valores, aproximadamente, 0,21 e 16,03. Os valores de declividade e comprimento estão concentrados próximos ao valor mínimo, como observado na distribuição da paleta de cores da imagem rasterizada.

A carta do fator LS, resultante do geoprocessamento de dados em ambiente SIG, demonstrou ser viável e factível de ser obtida. A qualidade das informações geradas por esse processo está intrinsecamente relacionada à escala de resolução do *raster* do modelo digital de elevação adotado, bem como ao software utilizado na análise. É importante ressaltar que, a partir de um mesmo MDE, é possível obter diferentes resultados para o fator LS, uma vez que os cálculos realizados nesse processo são baseados em estimativas computacionais distintas.

Nota-se também, a partir da carta do fator LS, que as diferenças entre os valores mínimos e máximos são abruptas, onde a transição de distribuição das tonalidades intermediárias da legenda mal é notada. Ou seja, os diferentes perfis de inclinação podem representar chapadas, taludes ou depressões, as quais são características da região do Quadrilátero Ferrífero.



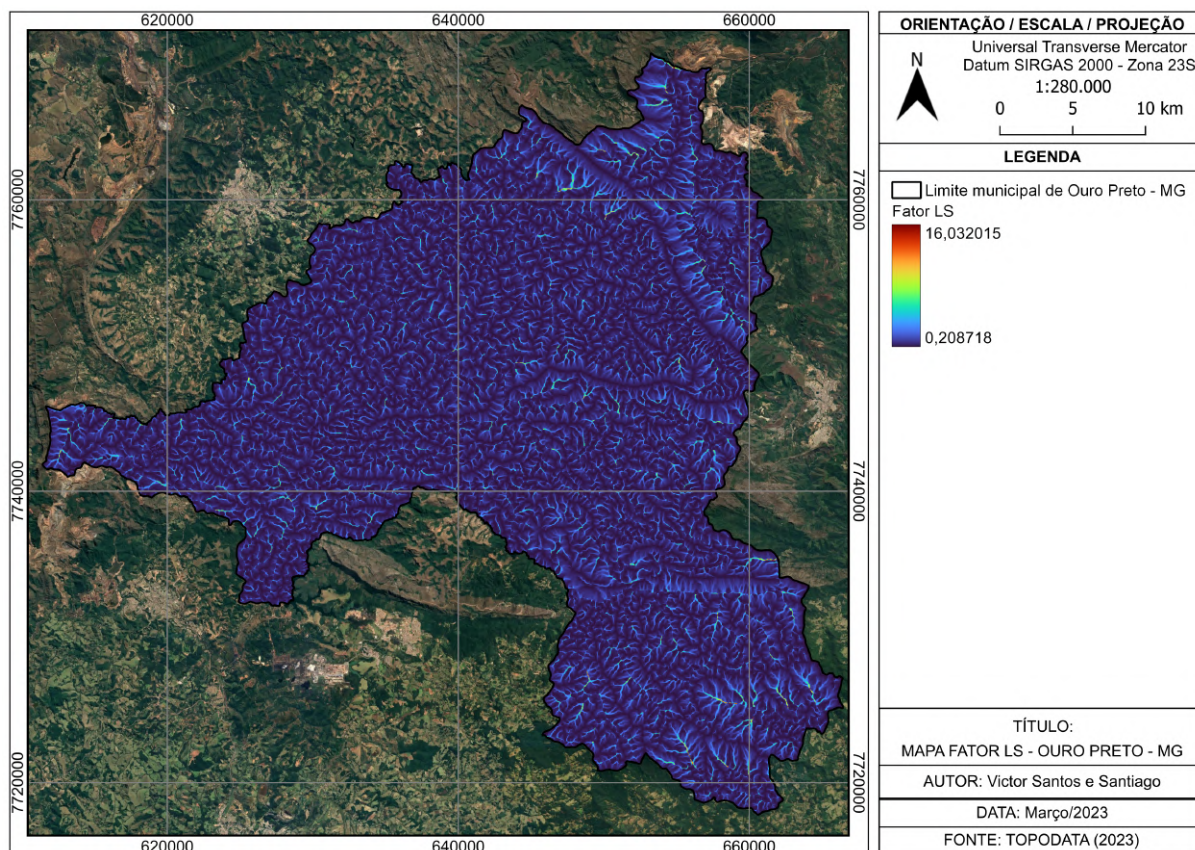


Figura 5 – Carta de comprimento e declividade, fator LS, de Ouro Preto, Minas Gerais.

#### 5.4 Carta temática da variável de uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P)

A carta temática, produto do geoprocessamento dos fatores combinados C e P está representada na figura 6. A tabela 7 contém os dados das classes de uso do solo, a área de abrangência, a soma acumulada e os respectivos valores adotados para o fator.

Os valores representados em tonalidades mais fracas na carta de fator CP indicam predominantemente a presença de afloramentos rochosos, mananciais e regiões urbanas. As áreas que apresentam o valor de 0,25 para o fator CP podem estar relacionadas também a atividades antrópicas. Portanto, é importante analisar cuidadosamente as práticas conservacionistas empregadas em cada caso específico para uma apuração mais precisa dessa variável. Mesmo que essas áreas possuam uma representatividade significativa, conforme mostrado na carta de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, elas podem ser minimizadas.

Por outro lado, as áreas representadas com tonalidades mais fortes requerem atenção especial, pois podem englobar regiões de solo exposto. No entanto, é importante considerar que parte dessas áreas é ocupada por empreendimentos minerários, as quais podem ser excluídas da representação, considerando que as alterações no solo são atividades desejadas para o município.

Essas regiões, em sua maioria, também correspondem a áreas com processos erosivos avançados, muitos dos quais já são conhecidos e mapeados por profissionais especializados.

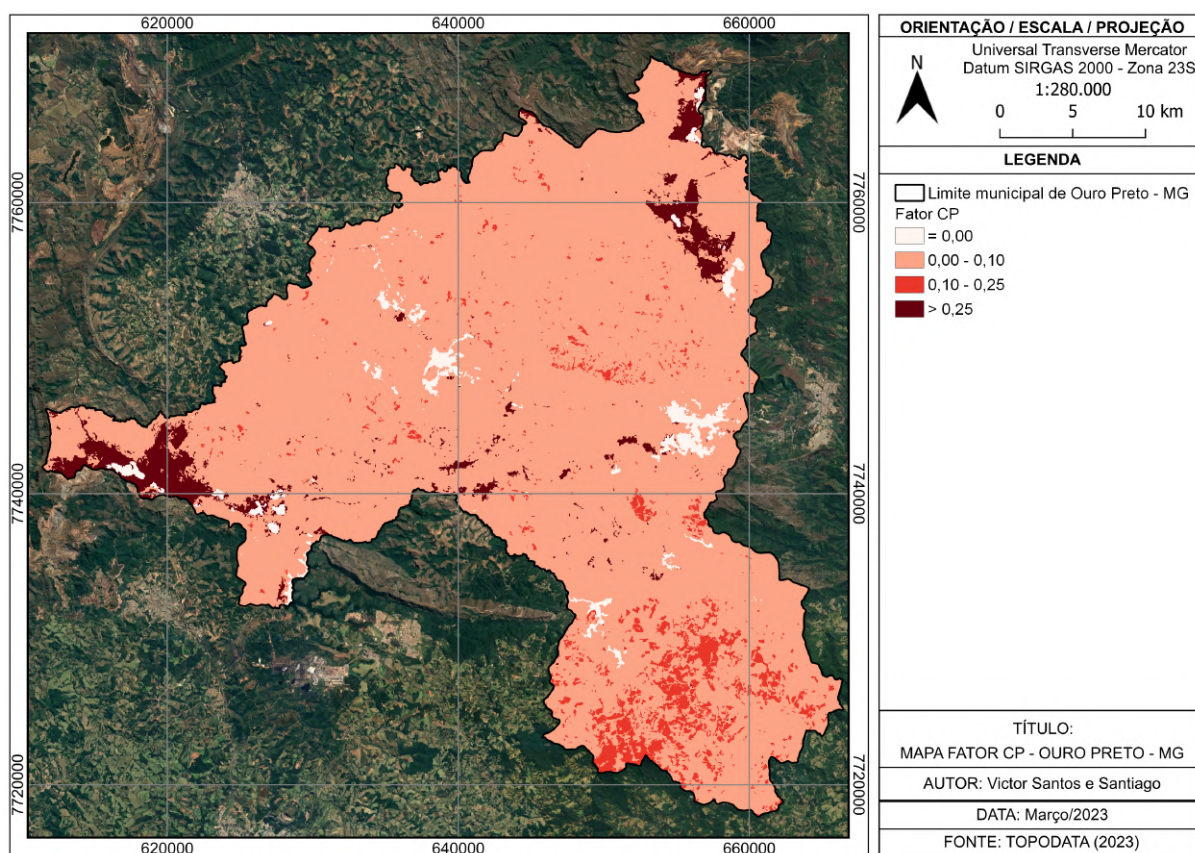


Figura 6 – Carta de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, fator CP, de Ouro Preto, Minas Gerais.

Os dados empregados na elaboração da carta de fator CP foram considerados satisfatórios. Contudo, é possível otimizá-los por meio de uma análise mais aprofundada das classes, permitindo avaliar de forma direta e indireta os grupos com atividades antrópicas, bem como outras classes de maior relevância no contexto desse mapeamento, especialmente aquelas que adotam práticas conservacionistas significativas.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Área acumulado (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área acumulado (%)	Fator CP
Campo Alagado	0,84847	0,85	0,08%	0,08%	0,00000
Área Urbanizada	20,4168	21,27	1,90%	1,98%	0,00000
Afloramento Rochoso	48,6447	69,91	4,54%	6,52%	0,00000
Rio, Lago e Oceano	3,33467	73,24	0,31%	6,83%	0,00000
Formação Florestal	464,852	538,10	43,34%	50,17%	0,00004
Formação Savânica	3,19119	541,29	0,30%	50,47%	0,00004
Formação Campestre	185,133	726,42	17,26%	67,73%	0,10000
Pastagem	113,984	840,40	10,63%	78,36%	0,10000
Silvicultura (monocultura)	45,8848	886,29	4,28%	82,63%	0,25000
Mosaico de Usos	136,666	1.022,96	12,74%	95,38%	0,25000
Soja	0,20512	1.023,16	0,02%	95,39%	0,25000
Outras Lavouras Temporárias	0,57179	1.023,73	0,05%	95,45%	0,25000
Café	2,74348	1.026,48	0,26%	95,70%	0,25000
Outras Lavouras Perenes	0,0014	1.026,48	0,00%	95,70%	0,25000
Outras Áreas não Vegetadas	4,17537	1.030,65	0,39%	96,09%	1,00000
Mineração	41,8991	1.072,55	3,91%	100,00%	1,00000

Tabela 7 – Distribuição de classe acumulada na área de estudo, fator CP.

### 5.5 Carta temática de gradiente de perda média anual do solo (A)

Ao final da obtenção de todos os valores das variáveis da equação RUSLE foi possível elaborar o resultado para a perda de solo (t.ha-1.ano-1), denominado fator A. A carta temática para perda de solo está representada na figura 7 e a tabela 8 contém a classificação do potencial de perda de solo, o intervalo, a área e o acumulado para cada classe.

Classificação	Intervalo	Área (km <sup>2</sup> )	Área acumulado (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área acumulado (%)
(1) Nenhuma ou Ligeira	A < 1	725,69	725,69	67,74%	67,74%
(2) Nenhuma ou Ligeira	1 =< A < 3	2,07	727,76	0,19%	67,93%
(3) Ligeira	3 =< A < 5	16,52	744,28	1,54%	69,47%
(4) Ligeira a Moderada	5 =< A < 10	46,05	790,33	4,30%	73,77%
(5) Moderada	10 =< A < 20	86,91	877,23	8,11%	81,88%
(6) Moderada a alta	20 =< A < 50	107,48	984,72	10,03%	91,92%
(7) Alta	50 =< A < 200	72,26	1.056,97	6,74%	98,66%
(8) Muito Alta	200 =< A	14,34	1.071,32	1,34%	100,00%

Tabela 8 – Distribuição da perda de solo (A) (t.ha-1.ano-1) na área de estudo.

A carta de perda do solo, representando o fator A, apresenta em tonalidades acinzentadas as áreas com menores riscos de perda de solo, enquanto as áreas em tonalidades avermelhadas denotam os maiores riscos de susceptibilidade à erosão e perda de solo. A análise das áreas classificadas como moderada até muito alta revela que aproximadamente um quarto do município



de Ouro Preto está abrangido por essas categorias, o que requer atenção, pois pode sinalizar um fator indesejado para o município.

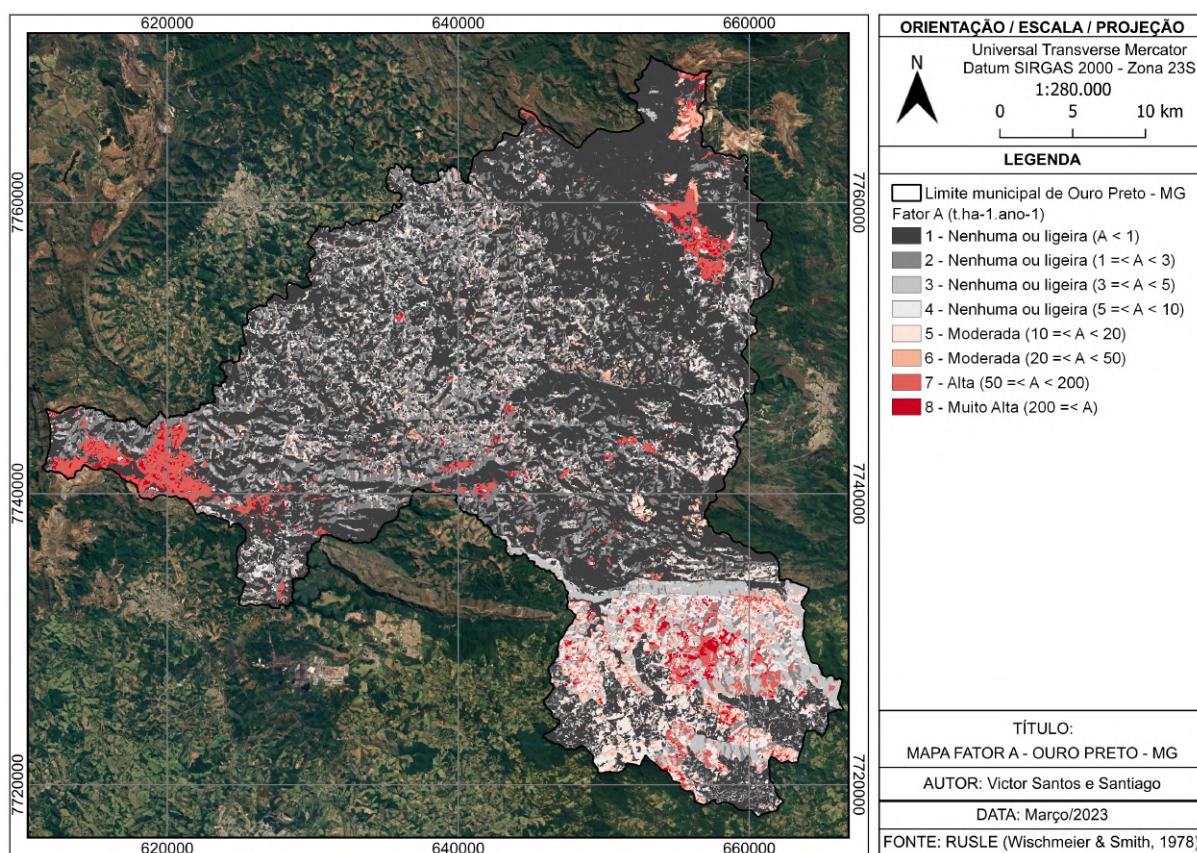


Figura 7 – Carta de perda de solo, fator A, de Ouro Preto, Minas Gerais.

A região a oeste do município exibe uma significativa concentração de áreas com alto índice de perda de solo. Parte dessas áreas pode refletir as atividades mineradoras presentes na região, as quais também são evidenciadas pelas representações avermelhadas no noroeste. As áreas centrais, caracterizadas por índices mais elevados de perda de solo, são suscetíveis a diversos processos erosivos naturais já identificados na localidade, que vão desde deslizamentos de massa até voçorocas. Por sua vez, as regiões a sudeste são conhecidas por abrigar atividades agrárias, as quais podem desempenhar um papel relevante na acentuada concentração de perda de solo de moderada a alta nessa área.

Por fim, o objetivo geral deste trabalho demonstrou a viabilidade de realizar a análise da susceptibilidade à erosão do solo no município de Ouro Preto, com base no modelo RUSLE e sensoriamento remoto em ambiente SIG. O resultado obtido foi considerado satisfatório, entretanto, requer uma abordagem crítica, uma vez que se trata de uma estimativa contendo muitos dados empíricos. Nesse sentido, é de interesse realizar uma investigação mais aprofundada das áreas com maior potencial de perda de solo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve o intuito de sistematizar um breve roteiro para a aplicação de uma análise de susceptibilidade à erosão do solo, com o modelo equacional RUSLE e sensoriamento remoto em ambiente SIG. As etapas de identificação dos fatores da equação RUSLE, coleta de dados georreferenciados, análise das variáveis, consulta a pesquisas correlacionadas, geoprocessamento das informações e interpretação dos resultados foram cruciais para a obtenção do produto esperado.

O objetivo de produzir as cartas temáticas da equação RUSLE foi atingido, contudo o modelo aplicado, assim como as informações disponíveis para sua execução, podem e devem ser aprimorados, visando aperfeiçoar a predição computacional.

O fator R, correspondente à erosividade da precipitação, requer informações pluviométricas apuradas para obtenção de seu valor correspondente, o que torna a apuração dessa variável complexa, considerando que diversas fontes de dados carecem de detalhamentos necessários. A escassez de boas informações pluviométricas pode ser um fator limitante para estimar essa variável, exigindo, assim, maior expertise do pesquisador para dimensioná-la.

Para a variável de erodibilidade do solo, fator K, foi necessária uma boa base pedológica georreferenciada para o desenvolvimento de sua carta temática. Existem diversas bases pedológicas disponíveis na web, porém a classificação dos grupos pedológicos e a qualidade das informações datadas variam de base para base. O portal "PromoSat-OP" foi de grande valia para este trabalho, disponibilizando informações diferenciadas devido à sua qualidade em relação às demais fontes de dados pesquisadas.

O portal web "MapBiomas" exerce um excelente trabalho em monitorar e datar a cobertura e uso da terra no território brasileiro, divulgando, atualizando e disponibilizando informações relevantes para indivíduos e entidades interessadas. A carta temática do fator CP foi desenvolvida com grandes contribuições das informações mapeadas por esse portal, assim como das pesquisas correlacionadas ao uso e manejo do solo e às práticas conservacionistas. A análise separada das variáveis C e P seria interessante, porém, para critérios de praticidade, sua junção mostrou-se mais viável, considerando o prazo estipulado para esta pesquisa.

Por fim, o resultado final do fator A revelou que aproximadamente um quarto do município de Ouro Preto está em áreas de relevante potencial de susceptibilidade à perda de solo. Essa informação encontra respaldo em levantamentos recentes da CPRM e diversos outros estudos voltados à geotecnia ouro-pretana do Quadrilátero Ferrífero. Percebe-se também que áreas onde se concentram atividades minerárias e agrícolas tendem a apresentar os maiores índices de susceptibilidade à perda de solo. Outro ponto relevante é que diversos processos erosivos naturais também são tendência de apontamento para susceptibilidade de perda de solo.

Modelos matemáticos computacionais podem ser automatizados, o que é uma forte tendência para a roteirização de processos cada vez mais eficientes e abrangentes. Contudo, um bom modelo matemático necessita de uma boa série histórica de dados, assim como uma reavaliação constante, a fim de aperfeiçoar as informações geradas.

Importante ressaltar que o modelo RUSLE é um modelo empírico e sua aplicabilidade em ambiente computacional ainda exige muito aperfeiçoamento. O modelo em questão foi originalmente concebido para abranger estudos de pequenas áreas, devido à escassez de ferramentas computacionais apropriadas à época. Entretanto, ao longo do tempo, esse modelo foi progressivamente adaptado e aplicado em áreas de maior extensão territorial, acompanhando o avanço das tecnologias computacionais. Atualmente, observa-se uma crescente implementação desse modelo em sistemas computacionais mais abrangentes, o que possibilita sua utilização em escala mais ampla e diversificada.

As ferramentas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica estão, cada vez mais, se tornando indispensáveis para a avaliação mais ampla e detalhada de dados relevantes sobre localidades geográficas. A compilação de dados em campo e sua datação em ambiente virtual abrem espaço para implementação de diversas técnicas apuradas para a geração de um geoprocessamento relevante, o que pode contribuir para diversos princípios altruístas. Dessa forma, em um entendimento geral, a conservação do solo é um propósito social.

A realização desta trabalho foi bastante satisfatória, pois a aplicação de diversos conhecimentos para a elaboração de um produto pode ser de grande valia para a gestão territorial do uso e manejo do solo. Espero que este trabalho contribua para futuros projetos e beneficie demais interessados.

## REFERÊNCIAS

- ANGIMA, S. et al. Soil erosion prediction using rusle for central kenya highland conditions. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 2003. v. 97, p. 295–308, 07 2003. p. 8.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p. p. 10.
- BIGARELLA, J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. [S.l.]: Ed. UFSC, 2003. p. 10.
- BURROUGH, P. *Principles of Geography Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1994. p. 11.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos de geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). *Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p. 3–11. p. 11.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. *Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, 2000. 124 p. (RIPSA). p. 11.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p. p. 10.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p. p. 5 e 19.
- CHAVES, H. M. *Projeto produtor de água, bacia do rio Taquarussu. 2º Relatório de Consultoria, Produto D.1*. [S.l.], 2012. Consultor: Henrique M.L. Chaves, PhD. p. 15.
- DENARDIN, J. E. *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. 81 p. Tese (Tese de Doutorado) — USP-Esalq, Piracicaba, 1990. p. 15.
- FIORIO, P. R. *Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da região de Piracicaba-SP*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1998. p. 15.
- FONSECA, M. A. d.; SOBREIRA, F. G. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em ouro preto, brasil. *Geotecnica*, 2001. Lisboa, v. 92, p. 5–28, 2001. p. 16.
- GOES, H. et al. *Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Ouro Preto, MG*. [S.l.], 2016. p. 8.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2022. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>. Acessado em 15/10/2022. p. 11.
- KNIJFF, J. M. Van der; JONES, R. J.; MONTANARELLA, L. *Soil erosion risk assessment in Italy*. [S.l.], 1999. 52 p. p. 15.
- LIMA, J. E. F. W. et al. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio jardim – df. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2007. v. 8, n. 2, 2007. Acesso em: nov. 2022. Disponível em: <<https://www.rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/92>>. p. 21.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de são paulo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2002. v. 24, p. 1335–1340, 2002. p. 5 e 20.

MENESES, P. R. d.; ALMEIDA, C. M. d. *Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: Embrapa, 2012. 266 p. p. 11.

MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do alto gurguéia, piauí-brasil, com uso de sistema de informação geográfica. *Caderno de Geografia*, 2017. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, v. 27, n. 1, p. 84–105, 2017. p. 15.

MOREIRA, M. C. et al. Neterosividade mg: erosividade da chuva em minas gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008. SciELO Brasil, v. 32, p. 1349–1353, 2008. p. 13.

PAULO, A. de Ciências do Estado de S. *Glossário de Ecologia*. 1. ed. [S.l.]: Publicação ACIESP no 57, 1987. p. 10.

PINTO, S.; GARCIA, G. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise e modelos de bacias hidrográficas. *Revista do Departamento de Geografia*, 2005. v. 17, p. 30–37, 2005. p. 8.

PREFEITURA DE OURO PRETO. *Secretaria Municipal de Cultura e Turismo*. 2023. <https://ouropreto.mg.gov.br/turismo/dados-geograficos>. Acessado em 04/10/2022. p. 11.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. *Introdução ao Geoprocessamento: sistema de informação geográfica*. Uberlândia: Editora da UFU, 1996. 104 p. p. 11.

SANTOS, C. A. d.; SOBREIRA, F. G.; NETO, A. L. C. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de santo antônio do leite, distrito de ouro preto-mg. *Rem: Revista Escola de Minas*, 2002. SciELO Brasil, v. 55, p. 285–290, 2002. p. 8.

SILVA. *Análise de perda de solo, utilizando o modelo (RUSLE) Revised Universal Soil Loss Equation, aplicado com auxílio das técnicas de geoprocessamento da Bacia do Ribeirão Reis, Maringá-PR*. Dissertação (Mestrado) — Dissertação de Mestrado apresentada em Florianópolis-SC, 2008. p. 10.

SILVA, J. et al. *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004. p. 10.

SILVA, M. et al. *Manejo e Conservação de Sol e da Água*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2015. 74 p. p. 10.

TEIXEIRA, A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. *Introdução aos sistemas de informações geográficas*. Rio Claro: Edição do autor, 1992. 80 p. p. 11.

TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a terra*. 2007. Companhia Editora Nacional; 2ª edição, 2007. p. 8.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. [S.l.]: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978. p. 8.