

# Uso do geoprocessamento para mapeamento da perda de solos na bacia do Córrego Vargem de Caldas no município de Poços de Caldas - MG

## Use of geoprocessing to mapping soil loss in the Vargem de Caldas Stream watershed in the municipality of Poços de Caldas - MG

Rafael de Souza Mendes da Silva  
UNIFAL-MG

<https://orcid.org/0000-0002-8214-2699>  
[rafael.souza@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:rafael.souza@sou.unifal-mg.edu.br)

Letícia Oliveira Nicácio  
Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas  
<https://orcid.org/0009-0000-4321-3493>  
[leticia.nicacio@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:leticia.nicacio@sou.unifal-mg.edu.br)

Carem Aparecida Mesquita  
UNIFAL-MG  
<https://orcid.org/0000-0002-2263-929X>  
[carem.mesquita@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:carem.mesquita@sou.unifal-mg.edu.br)

Débora Zumkeller Sabonaro  
UNESP-SP  
<https://orcid.org/0000-0001-6445-2872>  
[debora.sabonaro@unifal-mg.edu.br](mailto:debora.sabonaro@unifal-mg.edu.br)

### Resumo

O solo é vital para a vida humana e os ecossistemas, mas está sendo degradado devido à erosão, seja por causas naturais ou humanas, com esta última sendo mais prejudicial. A Equação Universal da Perda de Solos é um modelo matemático que ajuda a estimar essa redução. Este estudo utilizou geoprocessamento para mapear a perda de solos, através da equação supracitada, na bacia do Córrego Vargem de Caldas, mostrando que mais de  $\frac{1}{3}$  da área está sofrendo perda moderada a alta, principalmente em seu norte e oeste, o que pode levar a inundações e prejuízos agrícolas. Propõe-se uma solução integrada que inclui proteção da vegetação nativa, manejo sustentável das áreas agrícolas, educação ambiental, fiscalização e incorporação da conservação do solo no planejamento territorial no intuito de promover a sustentabilidade ambiental.

**Palavras-chave:** Conservação do solo, Equação Universal da Perda de Solos, Mapeamento, Erosão.

**Abstract**

Soil is crucial for human life and ecosystems, but it is being degraded due to erosion, whether from natural or human causes, the latter being more detrimental. The Universal Soil Loss Equation is a mathematical model that aids in estimating this reduction. This study utilized geoprocessing to map soil loss, using the aforementioned equation, in the Vargem de Caldas Stream watershed, revealing that over one-third of the area is experiencing moderate to high soil loss, primarily in its northern and western regions, which may lead to flooding and agricultural losses. A comprehensive solution is proposed, including protection of native vegetation, sustainable management of agricultural areas, environmental education, enforcement, and incorporation of soil conservation into territorial planning to promote environmental sustainability.

**Keywords:** Soil conservation, Universal Soil Loss Equation, Mapping, Erosion.

**1. Introdução**

No Brasil, a partir da década de 1960, houve uma expansão urbana expressiva resultante ao início do processo de industrialização do país, gerando um importante êxodo rural. A partir deste marco, a expansão urbana não planejada, foi uma condicionante para a ocorrência de ocupações inadequadas e irregulares de áreas não propícias à urbanização (Lima *et al.*, 2019), além disso, a falta de acompanhamento necessário das devidas políticas públicas, ocasionaram ao longo do tempo, implicações econômicas, sociais e principalmente ambientais para os centros urbanos (Pereira *et al.*, 2022).

Conforme Santos *et al.* (2021), as mudanças significativas na dinâmica da paisagem e as modificações recorrentes de uso e ocupação do solo, são fatores resultantes principalmente de ações antrópicas. Sendo assim, para que haja concordância no planejamento do potencial de ocupação de uma área, é fundamental que ocorra uma análise vinculada às alterações da paisagem no que afeta sua evolução, potencialidade e restrições relacionadas ao seu uso final (Moraes e Jiménez-Rueda, 2005). Para Davis Jr. (2002), a utilização do geoprocessamento como ferramenta de gestão pública, é incontestável dentro do avanço tecnológico e da busca pela modernização de sistemas de análises territoriais. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), realizam de forma automatizadas as coletas, manipulações e armazenamentos de dados cartográficos, permitindo ao usuário identificar diferentes tipos de dados de origem e produzir informações sobre as relações espaciais e temporais de localização geográfica existentes (Burrough e McDonnell, 1998; Silva, 2001).

Circunstancialmente, a expansão urbana no município de Poços de Caldas ocorre através da ocupação sentido montante dos rios, que realizam a drenagem da área urbana da cidade. Devido a esse padrão de ocupação, há consequências negativas voltadas à cobertura vegetal da terra, em decorrência dos desmatamentos das áreas de vegetação nativa, e a infiltração da água de precipitação no solo. Consequente a essa problemática, ocorrem processos de deslizamento de terra onde há solo exposto e enchentes a jusante dos cursos d'águas nas áreas susceptíveis (Sardinha *et al.*, 2016; Ferreira, 2020).

Neste contexto, faz-se necessário a compreensão das dinâmicas ambientais que afetam a qualidade do meio ambiente de uma região. Logo, atrelado aos processos de uso e ocupação da terra, o estudo da susceptibilidade à erosão e perda de solos, apresenta informações e parâmetros importantes sobre as áreas que estão sujeitas a degradação ambiental, auxiliando assim, nas tomadas de decisão no que diz respeito ao planejamento de ocupação da terra de uma área bem como, subsidiar ações de reconstruções ecológicas (Melo *et al.*, 2023).

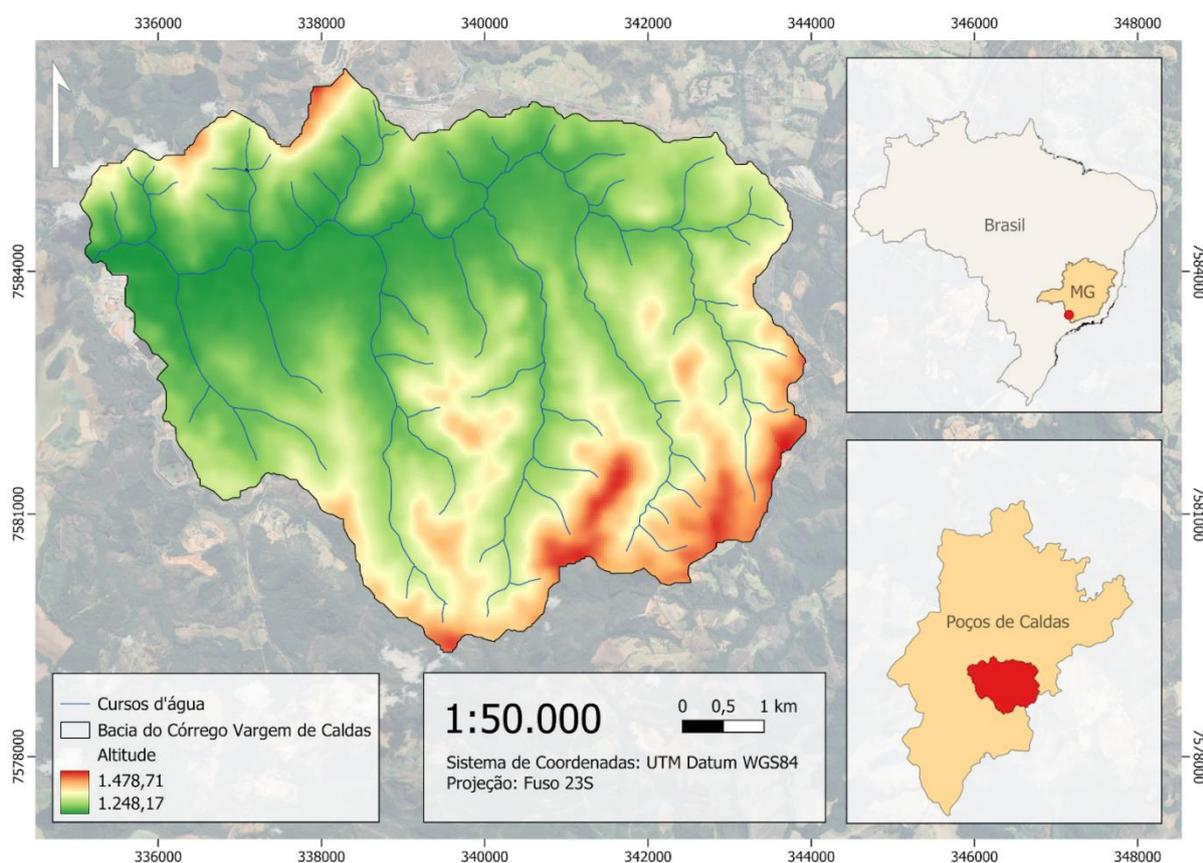
De acordo com Santos e Almeida (2019), a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), que aborda temáticas ligadas a declividade, erosividade, erodibilidade, geomorfologia e cobertura dos solos, tem sido aplicada como um dos pilares para a realização de análises de vulnerabilidade ambiental, que compreende a predisposição de uma região em sofrer alterações negativas na paisagem, advindas de ações antrópicas, que podem causar desequilíbrios a curto, médio e longo prazo. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar, localizar e quantificar a perda de solos na bacia do Córrego Vargem de Caldas, no município de Poços de Caldas - MG, utilizando técnicas de geoprocessamento.

## **2. Metodologia**

### *2.1. Caracterização da área de estudo*

A área de estudo corresponde à bacia do Córrego Vargem de Caldas, o qual pertence à bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo (BHARP) que é afluente do Rio Grande (Reis e Sardinha, 2022). A bacia, tem uma área de cerca de 4208,2 ha (42,08 km<sup>2</sup>) localiza-se na região sudeste do município de Poços de Caldas (Figura 1), tem seu exutório localizado próximo à região oeste da porção urbana denominada Zona Sul e apresenta diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

**Figura 1. Mapa da Localização da Bacia Córrego Vargem de Caldas no município de Poços de Caldas/MG, incluindo sua altimetria e cursos d'água.**



**Fonte:** Os autores, com base em dados do IBGE e da Agência Nacional das Águas.

Poços de Caldas é um município localizado na região geográfica intermediária de Pouso Alegre, no sul do estado de Minas Gerais. Possui uma população de 163.742 habitantes com densidade demográfica de 299,37 habitantes por quilômetro quadrado, conforme o último censo, realizado em 2022 (IBGE, 2022). Sua economia é baseada nos setores de mineração, turismo e setor secundário (Mataveli e Morato, 2011) e, ainda de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021), o PIB per capita do município é de R\$50.234,29.

O clima do município é classificado, conforme Koppen, em “cwb”, o que lhe confere verões amenos e chuvosos, e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 17°C e o volume de precipitação média anual é de 1430 mm (PMPC, 2017).

O Maciço Alcalino de Poços de Caldas, fruto de uma complexa evolução geológica, registra uma série de eventos tectônicos e magmáticos correlatos à abertura do Oceano Atlântico. Sua

idade, situada entre 86-89 milhões de anos, remonta à Era Mesozóica, especificamente ao Período Cretáceo. Essa cronologia é corroborada por diversos estudos que indicam intrusões de rochas félsicas e manifestações magmáticas alcalinas, seguidas por processos pós-magmáticos significativos. A evolução do maciço abrange desde domeamento até a formação de estruturas em caldeira e intrusões subvulcânicas, resultando na diversidade litológica observada. Esses eventos culminaram na formação de rochas como fonolitos, nefelina, sienitos e eudialita, além de processos pós-magmáticos como fenitização, mineralizações e alterações hidrotermais, fundamentais para a geodiversidade da região. A erosão tardia e a formação de depósitos de argila e bauxita complementam o quadro geológico do maciço (Monteiro, 2019).

Explorando a geodiversidade do Maciço Alcalino de Poços de Caldas-MG é crucial compreender a complexa formação desse cenário, incluindo a intrigante caldeira vulcânica presente na região. A Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas constitui um complexo alcalino de notável importância geológica, caracterizado por sua estrutura ligeiramente elíptica, com um eixo principal de cerca de 35 km na direção NW-SE, e um eixo secundário de aproximadamente 30 km na direção NE-SW, abrangendo uma área total de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>. Este complexo vulcânico apresenta-se como um objeto de estudo fascinante para compreender os processos geológicos associados à sua formação e evolução (Chapman *et al.*, 1991).

A vegetação natural de Poços de Caldas é composta principalmente por Florestas Estacionais Semidecíduais, entretanto também ocorrem outras formações florestais como a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila dos tipos Aluvial, Montana e Altomontana. Também ocorre no município uma formação campestre restrita aos topos de morros, os Campos de Altitude (Araújo e Monteiro, 2020).

## 2.2. Identificação da sub-bacia abrangente a área de estudo

Inicialmente, através do site de metadados da Agência Nacional das Águas, foram pesquisados dados hidrológicos para a área de estudo através das palavras-chave “bacias hidrográficas Minas Gerais”. Escolheu-se entre os resultados, aquele denominado “Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Grande”, a qual abrange o município de Poços de Caldas. Neste resultado, foi possível obter dados, em formato *shapefile*, dos cursos de água da bacia em questão, bem como suas áreas de contribuição hidrográfica (microbacias).

Os dados foram inseridos em um programa computacional de geoprocessamento, denominado QGIS versão 3.32.0. No entanto, verificou-se que as microbacias não abrangiam a

área de interesse. Destarte, encontrou-se o curso d'água principal, bem como seus afluentes e foram selecionadas todas as microbacias que abrangiam tais corpos hídricos, que foram exportadas para uma nova camada vetorial e posteriormente unidas em um polígono singular através da ferramenta “dissolver” da opção “geoprocessamento” inserida na aba “vetor”. Assim, obteve-se a sub-bacia que abrange a área de interesse.

### 2.3. Estimativa da perda de solos

A metodologia utilizada para este estudo de caso foi baseada nas propostas apresentadas por Magalhães *et al.* (2012), Pinese Júnior e Rodrigues (2012), Souza *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2017) e aplicadas por Melo *et al.* (2023), que definem uma análise dos processos erosivos de uma determinada área a partir da integração calculada das variáveis ambientais: uso e cobertura de solo, declividade, geologia, geomorfologia e precipitação. Todos os procedimentos de geoprocessamento, exceto a classificação de uso e ocupação do solo, foram realizados utilizando o programa QGIS versão 3.32.0

Para calcular a erosão do solo, foi empregada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1978 e adaptada para as condições brasileiras por Bertoni e Lombardi Neto em 1999, como expresso na Equação 1.

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

Onde:

PS = perda anual de solo por unidade de área (ton ha<sup>-1</sup>);

R = erosividade anual da chuva (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

K = erodibilidade do solo (ton ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>);

L = comprimento de rampa (m);

S = declividade (%);

C = uso e manejo (adimensional);

P = práticas conservacionistas (adimensional).

### 3. Determinação das variáveis da USLE

#### 3.1. Erosividade Anual da Chuva (R)

A série histórica de precipitação utilizada neste estudo de caso foi obtida através de dois postos pluviométricos da cidade de Poços de Caldas, gerenciados pela Companhia Brasileira de Alumínio - CBA e pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto - DMAE (Quadro 1), ambas contínuas, ou seja, sem falha de dados durante o período, contemplando um intervalo temporal de 15 anos entre os anos de 2003 a 2018 (Andrade *et. al.*, 2021).

**Quadro 1: Série histórica de precipitação para a área de estudo no período de 2003 a 2018.**

Órgão	Ano	Máxima Mensal (mm)											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
CBA	2003	456,0	179,0	188,0	130,0	81,0	0,0	14,0	12,0	7,0	114,0	212,0	327,0
	2004	342,0	491,0	101,0	143,0	247,0	44,0	39,0	8,0	28,0	159,0	188,0	316,0
	2005	483,0	171,0	290,0	51,0	127,0	33,0	33,0	3,0	121,0	137,0	134,0	231,0
	2006	336,0	262,0	240,0	96,0	3,0	7,0	7,0	35,7	62,0	201,3	239,9	328,7
	2007	603,8	247,0	177,1	170,9	79,4	13,6	132,3	0,0	5,0	97,5	234,2	303,5
	2008	382,4	97,5	234,6	145,2	63,2	16,6	0,0	41,6	83,8	180,3	231,8	300,0
	2009	366,8	325,6	162,7	85,4	62,9	77,2	64,6	130,5	234,8	238,4	228,8	394,8
	2010	311,0	164,0	131,3	55,6	18,2	33,4	18,0	0,0	102,4	135,5	238,7	361,9
	2011	413,9	202,4	294,0	151,5	13,0	38,0	0,0	25,0	17,0	233,0	293,0	252,0
	2012	274,7	100,5	148,0	153,0	96,0	113,0	52,0	0,0	21,0	116,0	275,5	380,5
	2013	493,0	295,0	226,0	85,0	107,0	35,0	52,3	6,0	79,0	114,7	241,9	346,8
	2014	96,0	46,0	165,0	126,0	52,0	9,0	91,0	4,0	96,0	45,0	256,0	229,0
2015	73,0	132,0	175,5	34,0	57,5	29,1	10,0	0,0	61,0	77,5	166,2	229,5	
DMAE	2016	445,0	277,0	201,5	3,6	75,5	129,0	0,0	54,5	7,5	129,0	187,1	139,5
	2017	358,1	142,1	238,0	72,0	97,5	37,5	2,5	25,0	0,0	74,5	320,5	111,5
	2018	265,5	192,0	199,0	8,1	32,0	5,0	2,0	31,0	67,7	211,5	240,0	226,0

Fonte: Adaptado de Andrade *et al.*, 2021.

Os dois postos de pluviométricos citados, localizam-se na porção Sul e Oeste do município, com uma distância aproximada de 3,93 Km, próximo a sub bacia de influência do Córrego Vargem de Caldas (Tabela 1).

**Tabela 1: Descrição dos postos pluviométricos em Poços de Caldas/MG.**

<b>Órgão Responsável</b>	<b>Localização (latitude/longitude)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Período (ano)</b>
CBA	21°49' S / 46°38' O	1255	2003 - 2015
DMAE	21°50' S / 46°36' O	1255	2015 - 2018

Fonte: Adaptado de ANDRADE *et. al.*, 2021.

Para a realização do cálculo da variável “R” (erosividade do solo) Equação 2, foi necessário obter a “Média mensal do índice de erosividade - EI” (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), calculado através das médias totais mensais e anuais de precipitação do período. Desta forma, após a análise estatística dos dados, os valores obtidos de precipitação foram substituídos na Equação 3, proposta por Melo *et al.*, (2023).

$$EI = 67,355 \times \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

Onde:

EI = Média mensal do índice de erosividade (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

r = Média total mensal de precipitação (mm);

P = Média total anual de precipitação (mm).

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI \quad (3)$$

Onde:

R = somatório dos 12 meses calculados do EI, ou seja, média anual do índice de erosividade (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>).

Por fim, foi criada uma cópia do dado vetorial que representa a área da bacia, inserido em sua tabela de atributos o valor de R e realizada uma rasterização do dado com resolução espacial de 30 metros, para representação espacial da variável em questão.

### 3.2. Erodibilidade do solo (K)

Inicialmente, foi obtido um dado vetorial que apresenta o mapeamento dos solos do Estado de Minas Gerais através do da plataforma digital do IDE Sisema. Tais dados foram reprojatados

para o sistema de coordenadas UTM WGS 84 23S e recortados a partir da camada que continha a forma poligonal da área de estudo, para que se obtivessem informações apenas para a área de interesse. Após isto, na tabela de atributos da camada, foram inseridos os valores de “K”, conforme Machado *et al.*, (2009) (Tabela 2). A camada foi rasterizada, utilizando parâmetros de saída que a fizessem apresentar o mesmo tamanho que a camada modelo digital de elevação (MDE) (altura e largura em pixels), descrita na próxima subseção.

**Tabela 2. Valores de erodibilidade (k) do solo para a área de estudo.**

Código	Solo	K - ton. h/mj.mm
LVAd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	0,0100
RLd	Neossolo litólico distrófico	0,0400

Fonte: Machado *et al.*, (2009).

### 3.3. Comprimento de rampa relacionado à declividade (LS)

Primeiramente, para a obtenção do fator LS, foi obtido no programa de geoprocessamento, através do plugin *OpenTopography DEM*, um MDE, em formato raster, que abrangesse a área de estudo. Na caixa de pesquisa desse plugin, optou-se por dados do programa europeu Copernicus, o mais recente, e com resolução de 30 metros, a maior disponível. Após isto, utilizou-se a ferramenta “*r.fill.dir*”, disponibilizada através do programa *GRASS 8.3.2* que pode ser obtido em conjunto e instalado ao *QGis*. Tal ferramenta possibilita o preenchimento de regiões com erros (anomalias nos dados), suavizando-as em relação ao seu entorno. A camada resultante deste procedimento foi recortada a partir daquela que continha a forma poligonal da área de estudo, para que se obtivessem informações apenas para a área de interesse e posteriormente reprojatados para o sistema de coordenadas UTM WGS 84 23S. Através desta camada, utilizando a ferramenta “*Ls-factor, field based*”, foi possível obter uma camada *raster* que representa o fator LS. Para isto, na caixa da ferramenta, selecionou-se o método de cálculo mais recente disponível, proposto por Desmet e Govers (1996). Também utilizou-se parâmetros de saída que fizessem a camada apresentar o mesmo tamanho que a camada MDE (altura e largura em pixels).

### 3.4. Uso e manejo e práticas conservacionistas (CP)

Inicialmente, foi realizada uma classificação temática do uso e ocupação do solo da área de estudo. Para isto foi utilizada a ferramenta *code editor*, da plataforma *Google Earth Engine*

(*GEE*), onde obteve-se uma imagem do satélite Sentinel 2 através do código “`ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")`”. Solicitou-se que a imagem contivesse a bacia hidrográfica de estudo, que compreendesse o período de 07/04/23 até 07/04/24 e que a cobertura de nuvens máxima fosse de 0,0012%, para que englobasse apenas uma imagem de interesse. Após isto, foram criadas e mescladas pelo menos 15 amostras para seis classes de uso e ocupação do solo que foram as seguintes: mata, campo nativo, solo exposto, água, agropecuária e urbanização. Então utilizou-se o código de referência “`ee.Classifier.libsvm`” do pacote de classificadores presente no *GEE* para obter as áreas dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo presentes na imagem anteriormente obtida, utilizando as amostras. Tal código cria um classificador baseado em *Support Vector Machine (SVM)*, onde foram inseridos parâmetros padrão. Após isto a imagem foi exportada para um serviço de arquivos em nuvem, a qual foi descarregada, inserida no programa QGIS, reprojeta para para o sistema de coordenadas UTM WGS 84 23S, recortada e redimensionada para que apresentasse as mesmas dimensões e formas do MDE de 30 metros de resolução espacial. Em sua tabela de atributos, foi criada uma nova coluna para receber os valores de CP, conforme as classes de uso e ocupação, que foram transcritos a partir de adaptações do trabalho de Melo *et al.*, (2023).

### 3.5. Perda de Solo

Por fim, através da ferramenta “*Raster Calculator*”, disponível no software QGIS, foi realizada uma multiplicação dos dados matriciais (*rasters*) finais correspondentes aos fatores R, K, CP e LS de acordo com as especificações do método USLE, para a obtenção da estimativa final de perda de solos na área de estudo do município.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1. Erosividade da chuva (R)

O fator R - Erosividade da chuva, é diretamente proporcional a precipitação local, sendo assim, à medida que a precipitação aumenta, a erosividade da chuva também aumenta, elevando a chance de provocar erosão no solo (Amaral *et al.*, 2020). Conforme pontuado por Ferreira *et al.* (2020), o fator físico relacionado a esta variável corresponde ao produto da energia cinética da chuva pela intensidade média máxima em um período correspondente a 30 minutos.

Após a obtenção da Média mensal do índice de erosividade “EI” para os doze meses do período de estudo, realizou-se a somatória desses valores através da equação 3, chegando a um

valor médio final para a variável R de **8707,2 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>**. Esse valor, de acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008), demonstrada na Tabela 3, se enquadra dentro da classificação “alta” de erosividade.

**Tabela 3. Classes de erosividade da chuva (R) em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de acordo com Carvalho (2008).**

Classes de erosividade da chuva	
Classes de erosividade	Valores correspondentes
Muito baixa	$R \leq 2452$
Baixa	$2453 < R \leq 4905$
Média	$4906 < R \leq 7357$
Alta	$7358 < R \leq 9810$
Muito alta	$R > 9811$

**Fonte:** Adaptado de Carvalho, 2008.

A área de estudo, respectiva a sub bacia Córrego Vargem de Caldas, possui uma relativa pequena extensão, descrita anteriormente e, desta forma, não foi necessário a obtenção de dados de precipitação relativos a mais postos pluviométricos, pois considerou-se que os dois postos analisados, já se enquadraram na faixa de representatividade espacial. Observa-se ainda que, em decorrência do pequeno tamanho da área, é possível obter uma maior uniformidade da distribuição das chuvas no local, tornando o valor encontrado para o fator R representativo para toda extensão da sub bacia.

É importante ressaltar que o mapa do fator R não foi representado na Figura 2, devido à sua homogeneidade, ou seja, não se encontrou sentido na representação de um dado sem variação espacial.

#### 4.2. Erodibilidade do solo (K)

O fator de erodibilidade do solo (K) é uma medida da vulnerabilidade de um solo à erosão. Ele representa a quantidade de solo que é perdida por unidade de energia erosiva da chuva (Melo *et al*, 2023).

Na região de estudo, foram identificados dois tipos de solos, cuja representação cartográfica de seus valores de erodibilidade (K), que foram retirados da Tabela 2, está disponível na Figura 2.

O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, caracterizado por um fator de erodibilidade (K) de 0,01 K - ton. h/mj.mm, está localizado na parte centro-sul da área mapeada. Latossolos são solos bastante comuns em regiões tropicais e subtropicais, geralmente caracterizados por sua alta capacidade de drenagem e coloração avermelhada devido à presença de óxidos de ferro. O termo "distrófico" refere-se à sua baixa fertilidade natural, o que pode torná-lo mais suscetível à erosão em comparação com solos mais férteis. Formado pelo processo de latolização, caracterizado pela remoção de sílica e bases do perfil do solo, resulta em uma composição enriquecida com óxidos de ferro e alumínio (Embrapa,2021).

Enquanto isso, na porção norte, encontra-se o Neossolo Litólico Distrófico, cujo fator de erodibilidade é de 0,04 K - ton. h/mj.mm. Neossolos são solos jovens com pouco desenvolvimento e características pedogenéticas insuficientes, apresentando fraca diferenciação entre horizontes e ausência de horizontes subsuperficiais diagnósticos. Neossolos Litólicos, por sua vez, são caracterizados pela pequena profundidade, assentando-se diretamente sobre a rocha ou sobre saprolito com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo (Reis,2020).

Esta distinção nos valores de K entre os dois tipos de solos indica que o Neossolo Litólico Distrófico é mais suscetível à erosão em comparação com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Isso significa que, sob condições similares de precipitação e uso da terra, o Neossolo Litólico tenderá a perder uma quantidade de solo maior devido à erosão do que o Latossolo Vermelho-Amarelo.

Essa distinção na magnitude de K destaca a importância de considerar as características específicas do solo ao planejar práticas de conservação e manejo adequadas para prevenir a erosão e manter a saúde do solo na região em questão.

#### *4.3. Comprimento de rampa relacionado à declividade (LS)*

De acordo com Melo *et al.* (2021) e Silva *et al.* (2017), o potencial topográfico de erosão hídrica laminar é representado pelo comprimento da rampa relacionado a declividade (LS), que potencializa a força erosiva da água, conforme demonstrado na Figura 2. Quanto menor a taxa de escoamento superficial, menor será a erosão hídrica laminar da área, sendo assim, os valores de LS obtidos para a área de estudo, foram uma variação entre **0,04 - 12,78**, indicando a predominância de uma baixa taxa de escoamento superficial, logo, uma baixa erosão hídrica laminar.

Conforme observado no mapa da Figura 2, as cabeceiras da sub bacia possuem uma maior influência deste fator, por se tratarem de áreas mais íngremes e com maiores declividades. Já o centro, se trata de um terraço fluvial do córrego principal, uma área mais plana com um baixo valor de declividade e, conseqüentemente, uma menor influência para o fator topográfico analisado.

#### 4.4. *Uso e manejo e práticas conservacionistas (CP)*

O fator CP relaciona-se a classificação de uso e cobertura do solo, sendo dados baseados nas condições antrópicas do ambiente, o que os difere dos demais fatores analisados anteriormente que são dependentes de circunstâncias naturais (Melo *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2017).

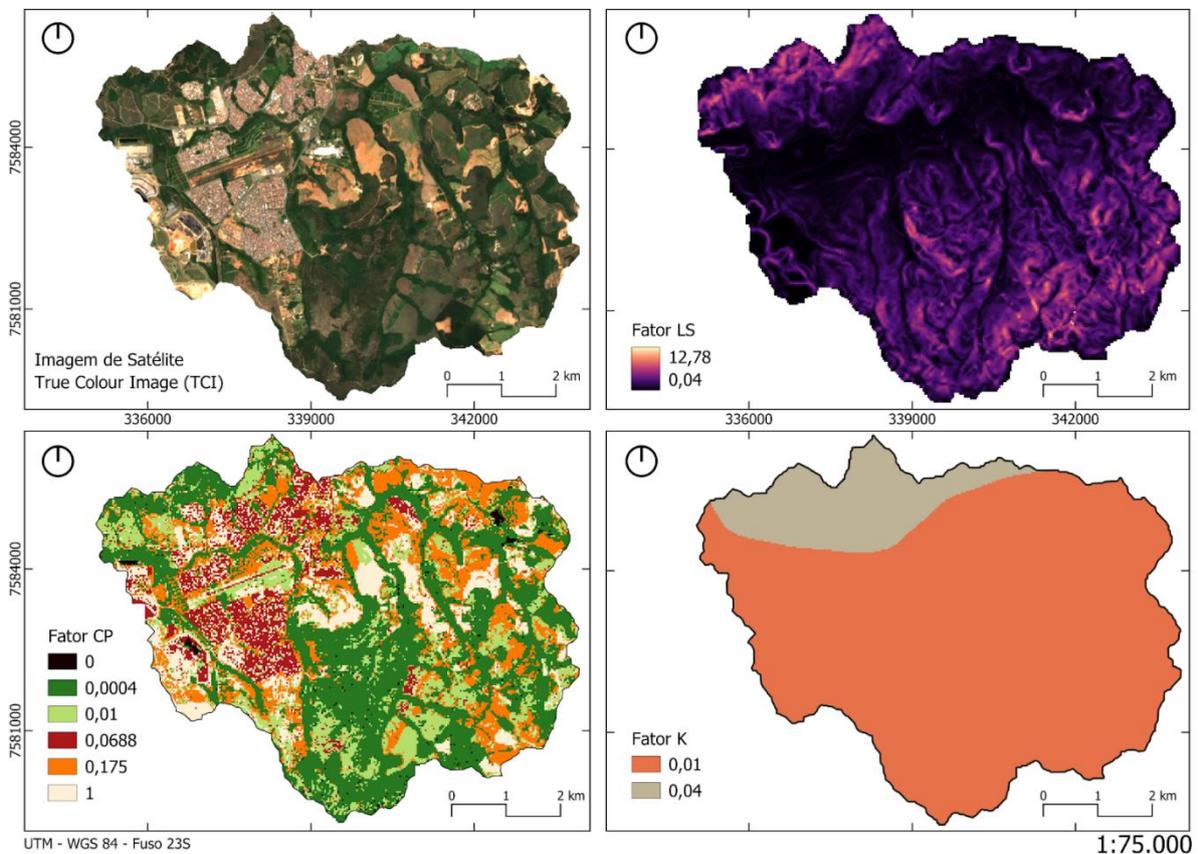
De acordo com o mapa do fator CP da Figura 2, construído através valores referenciais utilizados na Tabela 4, observa-se que atualmente, a área de estudo possui um considerável índice de áreas antropizadas (agropecuária, solo exposto e urbanização) quando comparadas às áreas naturais (florestas e campos nativos). Conseqüentemente, essas áreas antropizadas apresentam maior susceptibilidade da perda de solos e contribuem diretamente para a avaliação estimada da mesma, que são decorrentes da mínima faixa de vegetação que protege a superfície da terra nesses ambientes. Essa análise corrobora com o estudo realizado por Melo *et al.* (2023) que, ao analisar a perda de solos da bacia do Médio Araguaia, classificou as áreas de maior influência a esta condição, como as áreas que sofreram maiores intervenções antrópicas e que possuem grandes extensões de solo exposto, com mínima ou nenhuma cobertura vegetal.

**Tabela 4. Valores de Uso e manejo e práticas conservacionistas (CP) para as classes de uso e ocupação da área de estudo.**

Classe	Fator CP	Área (ha)	Percentual (%)
Florestas	0,0004	1638,29	38,93
Campos Nativos	0,01	737,34	17,52
Água	0	37,06	0,88
Agropecuária	0,175	830,64	19,74
Solo Exposto	1	568,41	13,51
Urbanização	0,0688	396,46	9,42

Fonte: Adaptado de Melo *et al.* (2023).

**Figura 2: Mapa contendo: imagem de satélite na composição True Colour Image (TCI), fator comprimento de rampa relacionado à declividade (LS), fator uso, manejo e práticas conservacionistas (CP) e fator erodibilidade (K) do solo para a Bacia do Córrego Vargem de Caldas, Poços de Caldas/MG.**

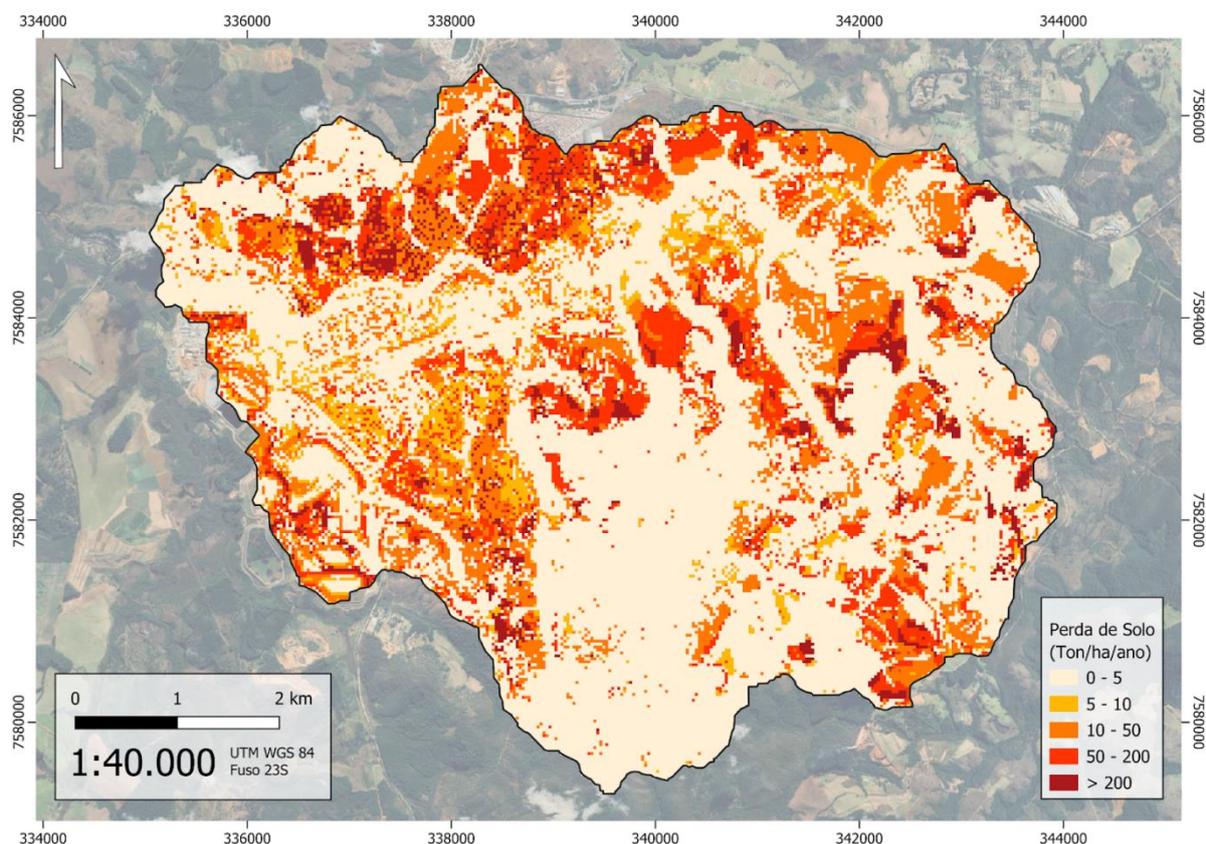


**Fonte:** Os autores.

#### 4.5. Perda de Solo

A partir da álgebra dos produtos de geoprocessamento encontrados anteriormente para cada variável da USLE, foi possível elaborar um mapa para a perda de solos na bacia do Córrego Vargem de Caldas, o qual é apresentado da Figura 3.

**Figura 3. Mapa da perda de solo para a bacia do Córrego Vargem de Caldas - Poços de Caldas/MG.**



**Fonte:** Os autores.

O solo é um recurso natural fundamental para o desenvolvimento das atividades humanas, além do equilíbrio dos ecossistemas naturais, servindo como base de elementos imprescindíveis de suporte à vida (Simonetti; Silva; Rosa, 2022). Elevados níveis de perda do solo, geram a sua degradação, resultante de processos erosivos, que correspondem ao arraste de partículas, principalmente devido aos fenômenos hidrológicos (Rosa; Cherem; Siame, 2023). A erosão do solo é uma das principais causas da sua degradação e ocasiona a desestruturação, carreamento e transporte, assoreamento e a deposição de partículas ao longo das vertentes, influencia negativamente as características geomorfológicas, na fertilidade do solo, na produtividade agrícola, na qualidade da água e na capacidade de reservatórios (adaptado de Siqueira *et al.*, 2022, p. 1206).

Na Figura 3, é possível verificar a distribuição espacial das classes de perda de solos, onde as três com maiores níveis se encontram nas regiões norte e oeste da bacia. Tais regiões correspondem aquelas com menores índices de vegetação, bastante antropizadas e com extensas áreas de solo exposto, classe de ocupação que apresenta o maior fator CP, que influi diretamente

sobre a perda de solos. Vale destacar também, a região sudeste da bacia, que também apresenta uma relevante extensão dessa classe.

É importante ressaltar que, as elevadas perdas das regiões norte e oeste, onde também localiza-se a área urbana da bacia, contribuem com o assoreamento dos recursos hídricos locais. Assim, sugere-se que a perda de solos esteja elevando a propensão de inundações no local, fenômeno que já ocorre com frequência na bacia e eleva a vulnerabilidade ambiental das comunidades que nela residem (Silva *et al.*, 2023).

Outra questão é que a perda de solo, como visto anteriormente, gera a perda de fertilidade e conseqüentemente, a redução da produtividade de culturas. Há a presença de agropecuária em quase  $\frac{1}{3}$  da área de estudo, além de que grande parte da classe de uso denominada florestas, corresponderem à silvicultura. Deste modo, tais culturas devem estar sendo afetadas negativamente por processos erosivos.

Na Tabela 5, apresentam-se as classes de perda, suas definições, áreas e percentual de área para a bacia do Córrego Vargem de Caldas.

**Tabela 5. Classe de perda, sua definição, área e percentual de área para a bacia do Córrego Vargem de Caldas - Poços de Caldas/MG.**

Classe de perda	Definição	Área	Percentual (%)
0 - 5	Muito baixa	2489,94	59,17
5 - 10	Baixa	248,53	5,91
10 - 50	Moderada	751,66	17,86
50 - 200	Alta	506,563	12,04
> 200	Muito alta	211,162	5,02

**Fonte:** Os autores [definição: adaptado de Santos *et al.* (2019)].

Então, percebe-se que cerca de 34,92% (mais de  $\frac{1}{3}$ ) da área da bacia compõe-se de regiões onde a perda de solos pode ser considerada de moderada a muito alta, o que é bastante preocupante em relação à conservação pedológica. Assim, urge a necessidade de elaborar práticas que possam contribuir para a redução da perda de solos na área de estudo.

De acordo com Melo *et al.* (2023), a perda de solos, afetada pelas mudanças constantes no uso e ocupação do solo, interfere diretamente na dinâmica e na qualidade da paisagem de uma

área, ou seja, conforme pontuado anteriormente, o ambiente se torna mais susceptível quanto maior for o número de alterações em suas características naturais. Neste contexto, é necessário realizar a avaliação das áreas naturais não antropizadas, que possuem remanescentes de vegetação nativa na sub-bacia, para enquadrá-las dentro das normativas das APP's que, consideram como áreas de preservação, aquelas que visam mitigar os riscos de enchentes e deslizamentos de terra, bem como para conter a erosão do solo, conforme o Art. 6º da Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012).

Para abordar a perda de solos na bacia do Córrego Vargem de Caldas/MG, em Poços de Caldas, propõe-se uma solução integrada que combina práticas de conservação do solo, como a proteção da vegetação nativa, controle de erosão e manejo sustentável das áreas agrícolas, com programas de educação ambiental e capacitação de agricultores. Além disso, é importante também fortalecer a gestão ambiental por meio de monitoramento, fiscalização, incentivos econômicos e integração da conservação do solo no planejamento territorial, com a finalidade de promover a sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região ao longo prazo.

## **5. Considerações finais**

A utilização dos métodos de geoprocessamento para análise espacial de uma determinada região, se mostrou eficaz na aplicação da USLE e na obtenção dos mapas e informações referentes aos fatores de influência da equação, bem como a localização e identificação das áreas em que ocorrem a perda de solos da sub-bacia do Córrego Vargem de Caldas/MG. Conforme observado, a menor classe de perda ( $0 - 5 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) concerne às áreas preservadas de florestas, enquanto as maiores classes de perda ( $50 - >200 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), referem-se às áreas urbanizadas e as de solo exposto, corroborando com os resultados esperados para este estudo.

Sendo assim, a metodologia proposta pode ser aplicada e utilizada para compor as tomadas de decisões dos órgãos públicos e também na criação e renovação das políticas públicas no que diz respeito a preservação do solo e, conseqüentemente, de tudo em que influencia, fomentando o desenvolvimento sustentável e a adequação do uso e manejo pedológico, a fim de promover o equilíbrio social, econômico e ambiental da região.

## Referências

Amaral, L. K.; Cadorin, S. B.; Voltar, A. J.; Szymanski, F. D.; Corseuil, C. W. (2020). Estimation of soil loss by the USLE model in a mountain basin in the south of Santa Catarina State, Brazil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia** 24, 20. <https://doi.org/10.5902/2236117062695>

Andrade, M. L.; Oliveira, T. A.; Santos, B. C.; Vieira, G. F.; Andrade, A. C. (2021). Análise Pluviométrica do município de Poços de Caldas-MG usando a metodologia de Anos-Padrão. **Caderno de Geografia**, 31(2). p. 52-68.

Araújo, L. L. S.; Monteiro, E. Z. (2020). Análise morfológica de padrões espaciais da vegetação nativa remanescente do município de Poços de Caldas, MG, como subsídio para construção de infraestrutura verde. **Arquitetura e Urbanismo: Abordagem Abrangente e Polivalente** 2. Atena. Ponta Grossa, PR.

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, seção 1, 1.

Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. Oxford.

Carvalho, N. O. (2008). Hidrossedimentologia prática (2ª ed.). Interciência.

Chapman, N. A.; McKinley, I. G.; Shea, M. E.; Smellie, J. A. T. (1991). The Poços de Caldas Project: Summary and Implications for Radioactive Waste Management. **SKB-Technical Report** 90(24). Stockholm.

Davis Júnior, C. A. (2002). Geoprocessamento: dez anos de transformações. Belo Horizonte, MG.

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

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16747645>

Ferreira, A. R. (2020). Análise multicritério para determinação das áreas suscetíveis a inundação no município de São José dos Campos - SP. Monografia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro.

Latossolos. (2021). **Portal Embrapa**.

Lima, D. F.; Sousa Junior, A. M.; Lima-Júnior, F. O.; Silva, M. M. N. (2019). Formação urbana e organização imobiliária: estudo acerca das cidades de São Miguel/RN e Pau dos Ferros/RN. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, 8(3). p. 475-496.

Machado, M. L.; Vieira, E. M.; Gomes, I.; Simão, M. L. R.; Miranda, D. V.; Silva, D. C. (2009). Delineamento de Áreas com Potencial Erosivo para Assoreamentos de Rios e Lagos na Bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais com o Uso de Sistemas de Informações Espaciais. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 18. ABRHidro.  
<https://doi.org/10.18285/geonomos.v27i1.23744>

Mataveli, G. A. V.; Morato, R. G. (2011). Estudo da expansão urbana do município de Poços de Caldas-MG e suas implicações ambientais por meio de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. **XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Dourados/Brasil.

Magalhães, I. A. L.; Nery, C. V. M.; Zanetti, S. S.; Pena, F. E. R.; Cecílio, R. A.; Santos, A. R. (2012). Uso de geotecnologias para estimativa de perda solo e identificação das áreas suscetíveis a erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Vieira, município de Montes Claros, MG. **Cadernos de Geociências**, 9. p. 74-84.

Melo, A. C. A.; Albuquerque, L. B.; Vilela, M. F. (2021). Relação do uso e da ocupação do município de Águas Lindas e seus impactos ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14. p. 634-649.

Melo, A. C. A.; Bettioli, G. M.; Albuquerque, L. B.; Magalhães, I. A. L.; Sano, E. E. (2023). Susceptibilidade à erosão, perda de solos e vulnerabilidade natural na bacia do Médio Rio Araguaia - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16(6). p. 3103-3124.

Monteiro, V. A. (2019). Representação tridimensional com uso de maquete: geodiversidade do Maciço Alcalino de Poços de Caldas-MG. **Revista Continentes**, 8(15). p. 158.

Moraes, F. T.; Jiménez-Rueda, J. R. (2005). Caracterização morfoestrutural do município de Poços de Caldas, MG, visando o estabelecimento de zonas geoambientais. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.

Pereira, G. M.; Sousa-Júnior, A. M.; Vieira, A. H. (2022). Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, 11(01). p. 77-94. <http://dx.doi.org/10.3895/rbpd.v11n1.14541>

Pinese, J. J.; Rodrigues, S.C. (2012). O método de análise hierárquica - AHP - como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, 23(426). <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0001>

PMPC. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas. (2017). A Cidade: Clima.

Reis, R. I.; Sardinha, D. S. (2022). Transporte fluvial de sedimentos e nutrientes a montante do Reservatório da Hidrelétrica Caconde, bacia do Alto Rio Pardo (MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(05). p. 2646-2663.

Reis, A. L. M.; Siqueira, R. G.; Davila, R.B.; Sacramento, I. F.; Ladeira, F. L.; Schaefer, C. E. (2020). Características físicas e químicas de Neossolos Litólicos nos Biomas Brasileiros. **Cadernos de Agroecologia**, 15(1).

Rosa, L. E.; Cherem, L. F. S.; Siame, L. (2023). O papel de fatores naturais e antrópicos na variabilidade da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 e 2018. **Sociedade & Natureza**, 35. p. 66034.

Santos, K. A. dos; Formiga, K. T. M.; Braga, V. S.; Faria, K. M. S. (2021). Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização,

Goiânia - GO. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 13. p. 1-23.  
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200047>

Santos, M.T.P.; Almeida, M.I.S. (2019). Vulnerabilidade da paisagem à perda de solos do município de Francisco Sá-MG. **Revista Cerrados** 17. p. 290-311.

Santos, R. B.; Almeida, A. Q.; Almeida-Santos, W. (2019). Estimativas de Perdas de Solo para Diferentes Cenários de Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga-SE. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(1). [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_1\\_672\\_681](http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_672_681).

Sardinha, D. S.; Pena, Y. T. L.; Tiezzi, R. O.; Almeida, M. C. J. (2016). Base de dados de desastres naturais no município de Poços de Caldas/MG: ferramenta para o planejamento e a gestão territorial. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 8(3). p. 318-331.  
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.008.003.AO03>.

Silva, D. C. C.; Filho, J. L.; Sales, J. C. A. (2017). Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **RA'E GA. O Espaço Geográfico em Análise**, 42. p. 72-85.

Silva, J. X. (2001). Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro.

Silva, R. M.; Botezelli, L.; Riondet-Costa, D. R. T.; Leite, I. C. S. (2023). Rios urbanos em Poços de Caldas, Minas Gerais: indicadores de sustentabilidade e segurança ambiental. **Revista Contemporânea**, 3(11). p. 20780-20796.

Simonetti, V. C.; Silva, D. C. C.; Rosa, A. H. (2022). Reflexos Ambientais da Perda de Nutrientes do Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim (SP). **Caminhos de Geografia**, 23(87). p. 84-102. <http://doi.org/10.14393/RCG238758895>.

Siqueira, H. E., Pereira, G. T., Pissarra, T. C. T., Martins Filho, M. V., & Campos, C. A. A. (2022). Estimativa de perdas de solo na área de proteção ambiental do rio Uberaba. **Ciência Florestal**, 32(3), 1205-1226. <https://doi.org/10.5902/1980509841259>

Souza, J. L. L. L.; Borges, I. G. M.; Santos, R. L. (2015). Avaliação da eficiência do modelo AHP na análise de vulnerabilidade à erosão do município de Morro do Chapéu, BA. **XVII**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16747645>

**Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos. INPE. p. 5042-5049.**