

Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade – MG

Application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the Córrego Carneirinhos Urban Basin, in the city of João Monlevade - MG

Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en la Cuenca Urbana de Córrego Carneirinhos, en la ciudad de João Monlevade - MG

Recebido: 08/05/2022 | Revisado: 17/05/2022 | Aceito: 24/05/2022 | Publicado: 29/05/2022

Flávio Cota Guedes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1438-6015>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: flavio.cota@hotmail.com

Jean Aparecido Viegas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6204-9764>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: jeanviegas12@hotmail.com

Maisa Comar Pinhotti Aguiar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2070-5027>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: maisa.aguiar@uemg.br

Resumo

Um problema comum a muitos municípios brasileiros é a presença de erosão do solo, o que pode levar a perdas materiais e até de vidas. O principal fator interveniente nesse fenômeno é a maior ou menor resistência do solo a ação das águas que resulta na erodibilidade, definido como um atributo do solo que representa sua vulnerabilidade à remoção de partículas. Vários modelos matemáticos têm sido elaborados e desenvolvidos para estimar o potencial a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais. O objetivo do presente estudo foi apresentar uma avaliação da erodibilidade dos solos na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade, estado de Minas Gerais, através da caracterização e análise de indicadores de erosão na bacia, utilizando geotecnologias. O estudo mostrou que estas ferramentas foram eficientes na interpolação de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos aliadas à Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (Universal Soil Loss Equation), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA, da qual foram determinados os fatores R, K, LS e CP aplicados na USLE. O resultado final mostrou que a taxa de erosão oscilou entre valores próximos a zero a 23,154 ton/ ha⁻¹/ano⁻¹, sendo que as áreas classificadas como moderada a alta são as mesmas que possuem elevada declividade. Os resultados evidenciaram que as áreas identificadas como sendo de maior susceptibilidade erosiva apresentam também outros fatores que concorrem para que esse processo ocorra, como o tipo de solo, erosividade, a declividade acentuada e a pequena cobertura vegetal.

Palavras-chave: Erosão; Geotecnologia; USLE.

Abstract

A common problem in many Brazilian municipalities is the presence of soil erosion, which can lead to material losses and even loss of life. The main intervening factor in this phenomenon is the greater or lesser resistance of the soil to the action of water, which results in erodibility, defined as a soil attribute that represents its vulnerability to the removal of particles. Several mathematical models have been elaborated and developed to estimate the potential of soil erosion in different spatial and temporal scales. The objective of the present study was to present an evaluation of soil erodibility in the Urban Watershed of the Carneirinhos Stream, in the city of João Monlevade, state of Minas Gerais, through the characterization and analysis of erosion indicators in the watershed, using geotechnologies. The study showed that these tools were efficient in the interpolation of different thematic data and in the generation of new cartographic products allied to the Universal Soil Loss Equation (USLE), developed in the US Department of Agriculture, from which the factors R, K, LS and CP applied in the USLE were determined. The final result showed that the erosion rate ranged from values close to zero to 23,154 ton/ ha⁻¹/year⁻¹, and the areas classified as moderate to high are the same as those with high slope. The results showed that the areas identified as having greater erosive susceptibility also present other factors that contribute to this process, such as the type of soil, erosivity, steep slopes and little vegetation cover.

Keywords: Erosion; Geotechnology; USLE.

Resumen

Un problema común en muchos municipios brasileños es la presencia de la erosión del suelo, que puede conducir a pérdidas materiales e incluso a la pérdida de vidas. El principal factor que interviene en este fenómeno es la mayor o menor resistencia del suelo a la acción del agua, lo que se traduce en la erodibilidad, definida como un atributo del suelo que representa su vulnerabilidad a la remoción de partículas. Se han elaborado y desarrollado varios modelos matemáticos para estimar el potencial de erosión del suelo en diferentes escalas espaciales y temporales. El objetivo de este estudio fue presentar una evaluación de la erosionabilidad del suelo en la Cuenca Hidrográfica Urbana del Arroyo Carneirinhos, en la ciudad de João Monlevade, estado de Minas Gerais, a través de la caracterización y análisis de los indicadores de erosión en la cuenca, utilizando geotecnologías. El estudio demostró que estas herramientas fueron eficientes en la interpolación de diferentes datos temáticos y en la generación de nuevos productos cartográficos aliados a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), desarrollada en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, a partir de la cual se determinaron los factores R, K, LS y CP aplicados en la USLE. El resultado final mostró que la tasa de erosión osciló entre valores cercanos a cero y 23.154 ton/ha-1/año-1, y las áreas clasificadas como moderadas a altas son las mismas que tienen una alta pendiente. Los resultados mostraron que las zonas identificadas como de mayor susceptibilidad erosiva también presentan otros factores que contribuyen a este proceso, como el tipo de suelo, la erosividad, las pendientes pronunciadas y la escasa cobertura vegetal.

Palabras clave: Erosión; Geotecnología; USLE.

1. Introdução

O planejamento urbano é uma das mais difíceis tarefas dos gestores, pois exige a análise de componentes humanos, econômicos, do meio ambiente e de diversos problemas a serem resolvidos, entre eles a erosão presente nas áreas urbanas, problema comum a muitos municípios brasileiros e que pode se constituir em risco para a população em vulnerabilidade socioeconômica.

Facilmente acelerada pelas ações antrópicas, a erosão pode ser compreendida como um processo que resulta na degradação dos solos em decorrência de fatores naturais, como a pluviosidade, a cobertura vegetal, o relevo e os tipos de solos. A principal interveniente nesse fenômeno é a maior ou menor resistência do solo à ação das águas, que influencia o potencial de erodibilidade, definido como um atributo do solo que representa sua vulnerabilidade dos terrenos em face ao desenvolvimento dos processos erosivos (Santos et al., 2009).

Oliveira et al., (2011) destacam que a predição das perdas de solo é importante para avaliar os riscos e determinar a gestão e o uso do solo de forma adequada e, neste sentido, segundo Ferro (2010), vários modelos matemáticos têm sido elaborados e desenvolvidos para estimar a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais. Cook (1936) foi um dos primeiros a formular um modelo de erosão, onde os fatores considerados foram erodibilidade do solo, erosividade da chuva e cobertura vegetal. A partir disso, foram adicionados outros fatores aos modelos, com o objetivo de elaborar melhores hipóteses e predições de um determinado sistema (Mata et al., 2007).

Nesse contexto, conhecer as condições dos solos em bacias hidrográficas urbanas é de suma importância, pois seu mapeamento possibilita identificar a presença dos processos de erosão e sua potencialidade, criando meios para a compreensão destes processos e a realização de trabalhos em escala local e regional.

Para esses estudos, um dos critérios mais utilizados é a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (Universal Soil Loss Equation), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA na década de 1950, a qual representa um modelo preditivo de perda de solos por erosão e a deposição de sedimentos (Wischmeier & Smith, 1978). Esse modelo preditivo é amplamente utilizado em estudos aplicados a bacias hidrográficas ou a glebas experimentais e quando aplicados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem se mostrado eficiente na interpolação de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (Pinto & Garcia, 2005).

O presente estudo teve como objetivo identificar áreas de maior susceptibilidade erosiva na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade, estado de Minas Gerais, através da caracterização e análise de indicadores de erosão na bacia, utilizando geotecnologias e a Equação Universal de Perda de Solos.

2. Material e métodos

Este estudo apresenta-se como uma pesquisa explicativa, que utilizou dados quantitativos sobre o processo erosivo na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, com o objetivo de identificar as áreas de maior susceptibilidade erosiva e compreender as causas e efeitos do potencial da erosão.

Os procedimentos para avaliação da perda de solo foram executados no software livre o QGIS 3.16.5, através de alguns algoritmos das ferramentas do GRASS GIS, referenciadas no sistema SIRGAS 2000 / UTM zona 23S. Apesar da opção de utilização do QGIS, todas as funções utilizadas podem ser encontradas em outros softwares de geoprocessamento, tornando possível a aplicação da metodologia aqui utilizada em outros softwares.

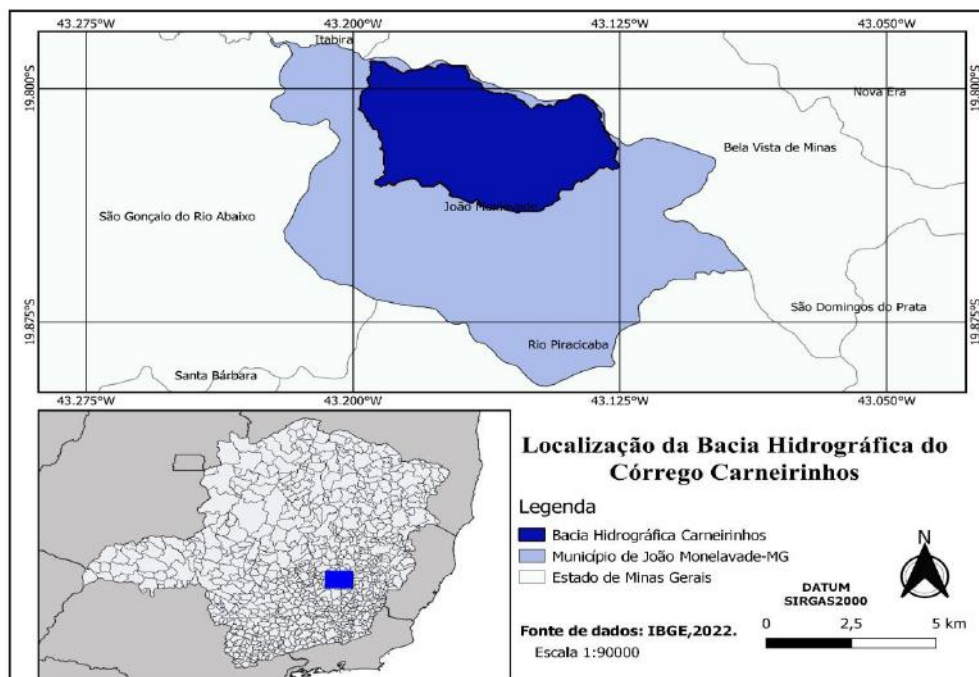
2.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no município de João Monlevade, na região do Médio Piracicaba, interior do estado de Minas Gerais. De acordo com Gomes et al. (2014), o município é delimitado pelos municípios de Itabira e Bela Vista de Minas e encontra-se totalmente inserido na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, afluente da bacia hidrográfica do Rio Doce, composta pelas sub-bacias do Rio do Peixe e do Rio Santa Bárbara, pela margem esquerda, e pela sub-bacia do Rio da Prata, pela margem direita.

A cidade possui uma população estimada em 80.416 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020) e uma área territorial de 99,158 km², com 64 bairros distribuídos em três sub-bacias: Carneirinhos, onde localizam-se 52% desses bairros, Jacuí com 8% dos bairros e Santa Bárbara com 40% dos bairros. Estas sub-bacias possuem corpos d'água de menores dimensões como o Córrego Areão, Loanda, Metalúrgico e Tietê (Franco et al., 2016).

A área objeto de estudo é a bacia hidrográfica do Córrego Carneirinhos, situado no bairro de mesmo nome e localizado na região do centro comercial da cidade (Figura 1). Possui uma extensão aproximada de 26,60 Km² com um curso principal com extensão de 8,96 km e situa-se na latitude 19,5°S e longitude 43,8°W (Silva et al., 2020).

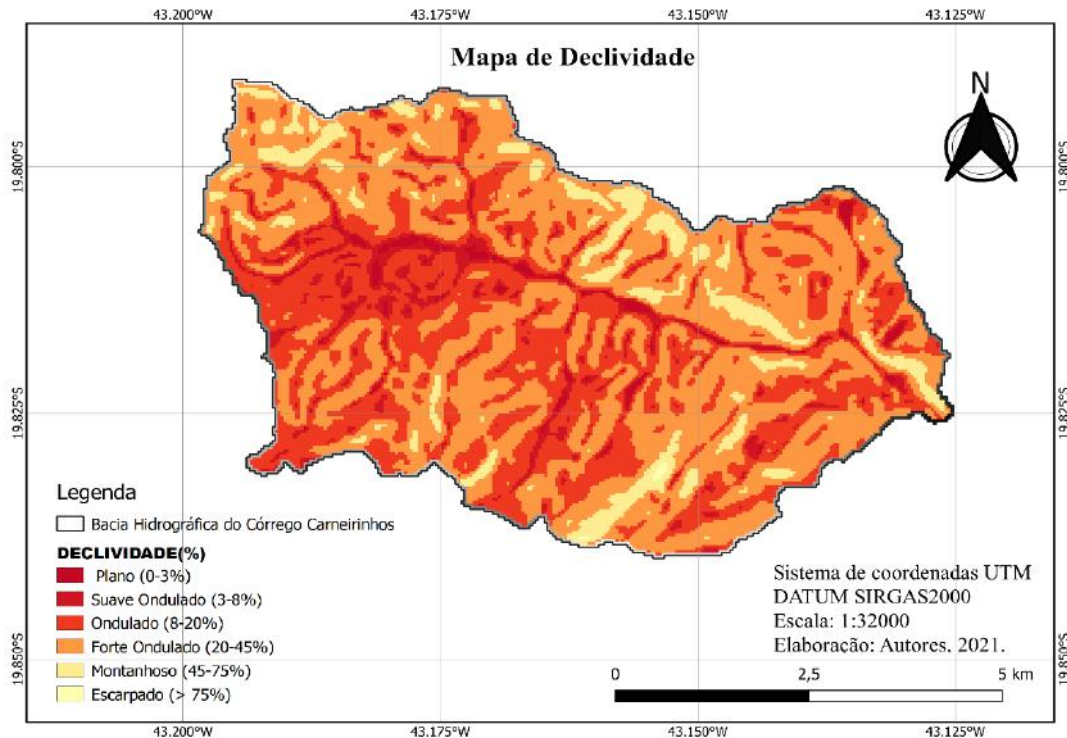
Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do córrego Carneirinhos, em João Monlevade (MG).



Fonte: Autores (2022).

De acordo com o mapeamento geomorfológico disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE em escala 1:250.000 (IBGE, 2021), a geomorfologia do município, de maneira geral, é constituída por relevos de dissecação, com serras e planaltos, com altitudes variando de 600m à 1330m. A Figura 2, obtida do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission da NASA) a partir do banco de dados topodatas, ilustra a declividade da área de estudo e mostra a predominância de relevo ondulado a fortemente ondulado, com áreas planas situadas nos vales.

Figura 2. Mapa de Declividade (%).



Fonte: Autores (2022).

O tipo climático da bacia hidrográfica é classificado conforme a classificação zonal de Köppen como Aw, correspondente a um clima tropical úmido de savana, em que a época mais seca coincide com o inverno e caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio maior que 18°C, e precipitação podendo atingir a média de 1400mm anual (Sá Júnior, 2009).

De acordo com o IBGE (2021), utilizando-se o recorte geográfico do Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil na escala 1:250.000, observa-se na bacia uma predominância pedológica das classes de solos Latossolos Vermelho e Cambissolos Háplicos. Os Latossolos se caracterizam por serem profundos e bem drenados e são encontrados principalmente nos planaltos dissecados e os Cambissolos Háplicos compreendem solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, sendo eles que apresentam maior potencial de erosão na bacia de estudo (Instituto Mineiro de Gestão de Águas, 2010).

2.2 Equação Universal de Perda de Solo

De acordo com Mata et al. (2007), a Universal Soil Loss Equation (USLE) foi desenvolvida em 1954 pelo National Runoff and Soil Loss Data Center pela Agricultural Research Service em colaboração com a Universidade de Purdue (USA). A proposta foi revisada por Wischmeier e Smith (1965, 1978) e constitui um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar além de fornecer informações relevantes para a elaboração do planejamento urbano e ambiental para bacias hidrográficas, ressalta Franco et al. (2016) e Teixeira et al. (2017).

Como destacam Mata et al. (2007), sua aplicação inicialmente foi proposta para pequenas áreas de clima temperado, contudo pode também ser aplicada em regiões tropicais e em escala regional, com enfoque quantitativo, para discriminar áreas de maior e menor suscetibilidade à erosão.

A equação USLE considera fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser estimados e especializados a partir de adequação do modelo da USLE em ambiente computacional de um SIG, que permite uma otimização das interpolações dos dados e resultados espaciais mais precisos. Os parâmetros naturais considerados são: clima, solo, relevo e os antrópicos consideram o resultado decorrente das ações antrópicas quanto ao uso do solo, o que promove impactos diretos na bacia hidrográfica (Silva et al, 2007).

A USLE (Equação 1) é representada pelo produto de seis fatores (A = R, K, L, S, C, P) e o resultado é expresso em ton/ha.ano (Mata et al., 2007):

$$\text{Equação 1 - A Universal Soil Loss Equation (USLE)} \\ A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Sendo:

A - Perda de solo calculada, em ton/ha.ano;

Fator R - da erosividade, índice de erosão pela chuva, ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

Fator K - da erodibilidade do sol, em ton. ha.h./ha. (MJ.mm);

Fator L - do comprimento de rampa (m);

Fator S - do gradiente da declividade em %;

Fator C – adimensional, relacionado à cobertura superficial ou uso/manejo;

Fator P - adimensional, refere-se às práticas conservacionistas.

Os valores dos parâmetros R, K, LS e CP são estimados através de mapas temáticos desenvolvidos com o uso das ferramentas de Sistema de Informações Geográficas.

A metodologia utilizada para o processamento dos dados abrange 6 etapas principais: (a) obtenção do mapa do fator topográfico através do Modelo Digital de Elevação (MDE); (b) geração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal através da classificação do bioma do Brasil em que se encontra a área de estudo; (c) aquisição do mapa de solos com base em mapas pedológicos do Brasil; (d) obtenção da erosividade da chuva através do Software NetErosividade; (e) aplicação da Erosividade com base em pesquisa e revisão literária dos fatores erodibilidade do solo (K), uso e manejo de práticas conservacionistas (CP); e (f) resultado da interpolação entre os mapas com os fatores da USLE.

2.3 Fator Erosividade (R)

Para a obtenção do fator de erosividade (R), utilizou-se o software NetErosividade MG, desenvolvido por Pruski et al. (2007) e Moreira et. al (2008) e que pode ser obtido gratuitamente no endereço eletrônico do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O programa computacional realiza a estimativa dos valores mensais e anual da erosividade da chuva para qualquer localidade do Estado de Minas Gerais, utilizando a metodologia de interpolação “inverso do quadrado da distância” (Camargo et al., 2017).

O software considera o valor anual da erosividade da chuva obtido pelo somatório dos valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} ou $KE > 25$, e que, para o cálculo desses índices, existem dois métodos de obtenção da energia cinética de precipitação pluvial (Foster et al., 1981; Wagner & Massambani, 1988). Moreira et al. (2007) estimaram os valores mensais de erosividade para todo o estado de Minas Gerais com o auxílio de Redes Neurais Artificiais (RNAs).

A metodologia proposta por Pruski et al. (2007) e Moreira *et al.* (2008) estima a erosividade da chuva considerando os dados pluviométricos de séries resumidas uma vez que a energia cinética da chuva está inteiramente ligada com a intensidade de precipitação. Contudo, para precipitações atmosféricas naturais, utilizando esta metodologia, pode-se calcular a energia cinética por unidade de área pela equação proposta por Wischmeier e Smith (1958) e modificada por Foster et al., (1981) (Equação 2), ou pela equação (Equação 3) apresentada por Wagner e Massambani (1988) que convertidas para unidades do sistema internacional são:

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

$$EC = 0,153 + 0,0645 \log I \quad (3)$$

Em que:

EC = energia cinética da chuva natural, MJ ha⁻¹ mm⁻¹; e

I = intensidade da chuva, mm h⁻¹.

O NetErosividade MG permite imprimir relatórios com as informações pertinentes à localização do local de interesse (Nome, Latitude, Longitude e Altitude) e os resultados de índice de erosividade anual médio EI₃₀. Nesta pesquisa buscou-se identificar entre as estações pluviométricas cadastradas as que melhor representavam a área de estudo, por meio da inserção das suas coordenadas no software. A obtenção do índice foi feita utilizando-se a média aritmética entre os EI₃₀ pelos métodos de Foster et al. (1981) e Wagner e Massambani (1988), como uma maneira de se obter melhor precisão das informações da erosividade. Os valores obtidos são então classificados de acordo com as classes propostas no Quadro 1.

Quadro 1. Classe para interpretação do índice de Erosividade anual.

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

Fonte: Carvalho (2008).

As coordenadas das estações de monitoramento pluviométrico da área de estudo do Quadro 2, são do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HIDROWEB/ANA).

Quadro 2. Localização das estações pluviométricas utilizadas.

CODIGO	NOME	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE
1942029	Mario de Carvalho	232	19°31'28.92"S	42°38'39.12"O
1943001	Rio Piracicaba	623	19°55'22.08"S	43°10'40.08"O
1943003	Ferros	470	19°15'1.08"S	43°00'51.84"O
1943007	Santa Barbara	748	19°56'43.08"S	43°24'3.96"O
1943027	Usina Peti	1110	19°52'50.88"S	43°22'3.00"O
2043009	Acaiaca - Jusante	423	20°21'45.00"S	43°08'38.04"O
2043027	Fazenda Ocidente	462	20°17'8.16"S	43°05'56.04"O
2043059	Colégio Caraça	1300	20° 5'48.84"S	43°29'17.16"O
1943008	Santa Maria de Itabira	538	19°26'25.08"S	43°07'6.96"O

Fonte: HidroWeb (2021).

2.4 Fator L e Fator S

O fator L e o fator S representam o efeito da topografia na erosão do solo (Renard et al., 1997). Geralmente os fatores L (comprimento da encosta) e S (declividade da encosta) são avaliados em conjunto na previsão da erosão e os valores que constituem o fator LS podem ser obtidos diretamente no terreno ou a partir da informação altimétrica (curvas de nível ou MDE-Modelo Digital de Elevação) segundo Renard et al. (1997). Este fator está relacionado ao relevo, que infere na intensidade do escoamento superficial, e por consequência, no grau de perdas de solos (Sousa & Paula, 2019).

Para obtenção do fator LS, optou-se pela metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2012), que considera a integração da declividade em porcentagem e o comprimento de rampa em metros, conforme a Equação 4.

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (4)$$

Onde:

LS= Fator topográfico;

C= Comprimento de rampa (metros);

D= Fator de declividade (%).

O cálculo do fator LS foi obtido pela ferramenta calculadora raster do software Qgis 3.16.5 com Grass 7.0, tendo por entrada mosaico de imagens do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e Modelos Digitais de Elevação (MDE), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados do TOPODATA, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, foram obtidos por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (pixel) para aproximadamente trinta metros, a partir de interpolação de todo universo de dados pelo método de krigagem, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que melhor respondem ao modelo de superfície real (Valeriano & Rossetti, 2012).

2.5 Fator K

A erodibilidade do solo (K) é a relação entre a intensidade de erosão e a erosividade da chuva, para um solo específico mantido continuamente sem cobertura. Representa a susceptibilidade do solo à erosão, da mesma forma que também representa a resistência à erosão (Carvalho, 1994).

De acordo com Florenzano (2011), o tipo e a intensidade da erosão variam com as propriedades dos solos, portanto cada tipo de solo possui um fator K próprio, que depende de vários atributos como: textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (Resende, 1985). Portanto, para determinar o fator K no presente trabalho, foram reunidos os resultados obtidos em diversas pesquisas desenvolvidas em solos do Brasil com unidades pedológicas semelhantes à da área de estudo, que possui dois tipos de unidade pedológica: Cambissolo e Latossolo.

Das características esperadas para os dois tipos de solos existentes na área de estudo, segundo Matos (2015), os Latossolos são os mais resistentes, geralmente são profundos e coesos, além de possuírem alto grau de estabilidade, alta porosidade e permeabilidade. Os Cambissolos são geralmente rasos, estruturados em blocos e de baixa permeabilidade, favorecendo o deflúvio e a erosão acelerada, no contexto apresentando maior erodibilidade.

Para comparação dos valores obtidos foi utilizado do trabalho de Chaves (1994) que desenvolveu um modelo de regressão tendo como base os dados de K obtidos por Denardin (1990) que, em seu trabalho, desenvolveu uma equação geral para todos os solos brasileiros. Entretanto, Chaves (1994) aplicou a mesma metodologia apenas para os solos que ocorrem na bacia do Rio São Francisco. Tal regionalização da metodologia possibilitou obter melhores coeficientes de determinação para a equação (Matos, 2015).

2.6 Fator C e Fator P

O fator C é usado para aferir o efeito das culturas praticadas e das práticas associadas para a sua manutenção nos níveis de erosão do solo, ou seja, está diretamente relacionado ao uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo. O fator prática conservacionista (P) mede a relação entre a perda de solo e determinada prática conservacionista com a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (Wischmeier & Smith, 1978).

Conforme Borges (2009), os fatores C e P podem variar ao longo dos anos como consequência das mudanças na forma e intensidade deste uso e assim, assumir o valor até 1 para solo nu e valores menores que 1 conforme o aumento da cobertura do solo, o que implica menos erosão do solo (Pimenta, 1998).

Portanto, é indispensável a utilização de imagens da mesma época da qual se deseja estimar a perda do solo, uma vez que para determinar os fatores C e P precisa-se saber o uso e a cobertura do solo adotados na época estudada. O fator C é estimado a partir do cálculo de áreas dos mapas em formato raster do projeto MapBiomias, uma iniciativa desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia, com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso do solo do Brasil e monitorar as mudanças do território (MapBiomias, 2021).

O MapBiomias é um projeto que envolve pesquisadores e especialistas em sensoriamento remoto, ciência da computação e dos biomas e dos principais usos do solo do país e os dados do MapBiomias são públicos, gratuitos e encontram-se disponíveis no endereço eletrônico da instituição (MapBiomias, 2021).

Para a classificação do uso e cobertura do solo, estabeleceu-se a classificação conforme o Quadro 3, baseado nos trabalhos de Matos (2015) que está representada de acordo com os códigos de legenda do raster.

Quadro 3. Classificação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Nível I	Nível II
1. Áreas construídas	1.1 Urbana de Alta intensidade
	1.2 Urbana de Média intensidade
	1.3 Industrial
2. Áreas Agrícolas	2.1 Pastagem
	2.2 Cultura Permanente
	2.3 Cultura Temporária
	2.4 Silvicultura
3. Áreas Florestal	3.1 Vegetação Arbórea
	3.2 Vegetação Campestre
4. Água	4.1 Corpos de água

Fonte: Matos (2015), adaptado.

Os valores de CP foram adotados com base nas classificações obtidas na geração do mapa de uso do solo e cobertura vegetal, a partir dos trabalhos realizados por Anderson et al. (1976), Stein et al. (1987) e Oliveira (2012) (Quadro 4). Posteriormente, gerou-se o mapa dos fatores CP em formato raster, para o cruzamento com os demais fatores da USLE.

Quadro 4. Valores dos fatores C e P em função das classes de uso e ocupação do solo.

USO	CP
Corpos d'água	0
Urbano	0
Vegetação Arbórea	0,00004
Silvicultura	0,0001
Vegetação Campestre	0,01
Pastagem	0,01
Cultura Temporária	0,2
Solo Exposto	0,2
Cultura Permanente	0,2

Fonte: Anderson et al. (1976), Matos (2015) e Oliveira (2012), adaptado.

Para o fator CP, o valor de 0 considera os cursos d'água, área urbana e vegetação arbórea (menor erosão hídrica). A vegetação diminui o contato direto da chuva com o solo, dissipando a energia proveniente da chuva e diminui o escoamento

superficial. Consequentemente, reduz a desagregação de partículas e/ou fragmentação do material e o arraste de material sólido, assim facilitando a infiltração de água no solo e reduzindo a erosão hídrica (Guadagnin et al., 2005). Os maiores valores de CP estão associados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo, como, por exemplo, o solo exposto caracterizado pela ausência de vegetação ou áreas de cultura temporária que apresentam alto potencial de susceptibilidade à erosão.

3. Resultados e Discussão

A erosividade das chuvas do município, obtida pelo procedimento de interpolação dos resultados de índice de erosividade anual médio EI_{30} , de cada estação representada no Quadro 5, pode ser observada no mapa de erosividade (R) (Figura 3), em que os valores máximo e mínimo para a área de estudo são 6.807,98 e 6.881,80 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}ano^{-1}$, respectivamente. Os valores obtidos neste trabalho aproximam-se dos valores indicados como sendo a erosividade anual média no estado de Minas Gerais que varia de 5.000 a mais de 12.000 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, segundo Mello et al. (2007).

Quadro 5. Erosividade por Estação Pluviométrica.

Código	Nome	EI30 (F)	EI30 (W&M)	Média
		$MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}ano^{-1}$		
1942029	Mario de Carvalho	6.482	5.639	6.061
1943001	Rio Piracicaba	6.661	6.785	6.723
1943003	Ferros	6.414	6.083	6.249
1943007	Santa Barbara	7.171	7.221	7.196
1943027	Usina Peti	7.408	7.198	7.303
2043009	Acaiaca - Jusante	6.753	6.789	6.771
2043027	Fazenda Ocidente	6.767	6.757	6.762
2043059	Colégio Caraça	7.485	7.512	7.499
1943008	Santa Maria do Itabira	6.629	6.168	6.399

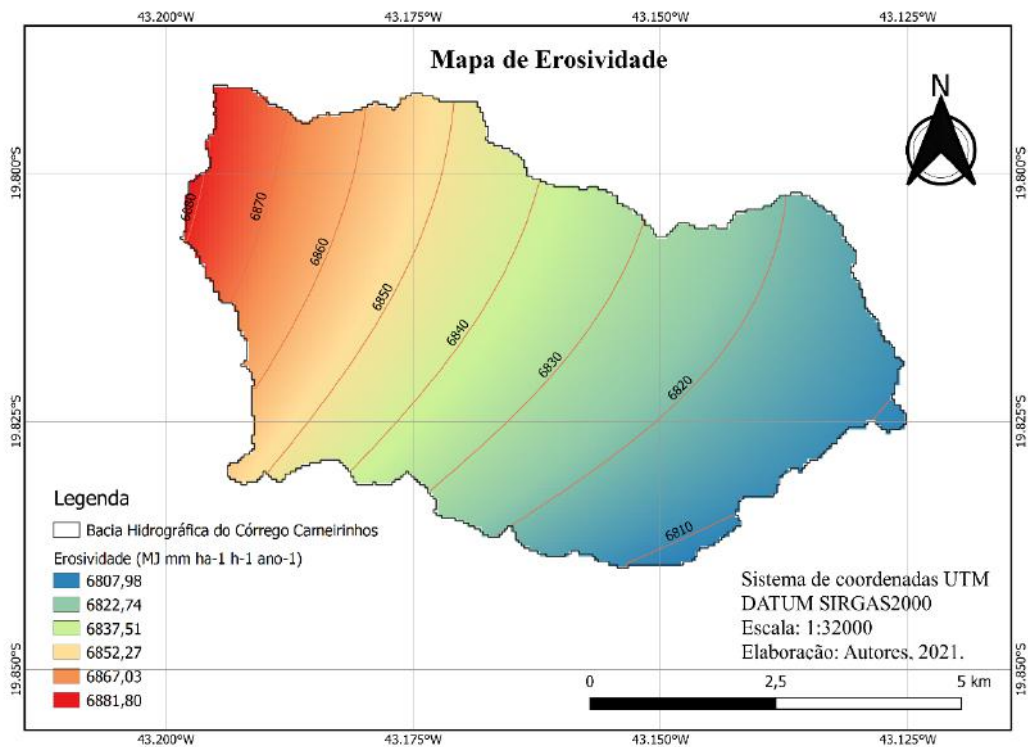
Fonte: Moreira (2008).

EI30 (F)- Foster et al (1981)

EI30 (W&M)- Wagner & Massambani (1988)

A distribuição espacial da Erosividade (Figura 3) mostra que a intensidade maior do fator Erosividade coincide com as áreas topograficamente mais elevadas da área de estudo (Figura 2). Os valores obtidos para a área de estudo permitem classificar a erosividade como erosividade moderada a forte ($4905 < R < 7357\ MJ\ mm.ha^{-1}\ h^{-1}ano^{-1}$), conforme proposta de Carvalho (2008).

Figura 3: Mapa de Erosividade (R).



Fonte: Autores (2022).

Conforme o Quadro 6, a erodibilidade (K) variou na área de estudo entre 0,013 e 0,06 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹. Esses valores relacionam-se com os tipos de solo indicados na área, isto é, latossolos e cambissolos, uma vez que erodibilidade (K) é um fator que se relaciona a uma característica intrínseca de cada classe de solo.

Quadro 6. Erodibilidade das classes de solos de ocorrência nas bacias hidrográficas em estudo.

Classes de solos	Sigla	K (Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Fonte
Latossolo Vermelho Escuro	LVd...	0,013	Chaves (1994)
Cambissolo Háplico	CX...	0,06	Chaves (1994)

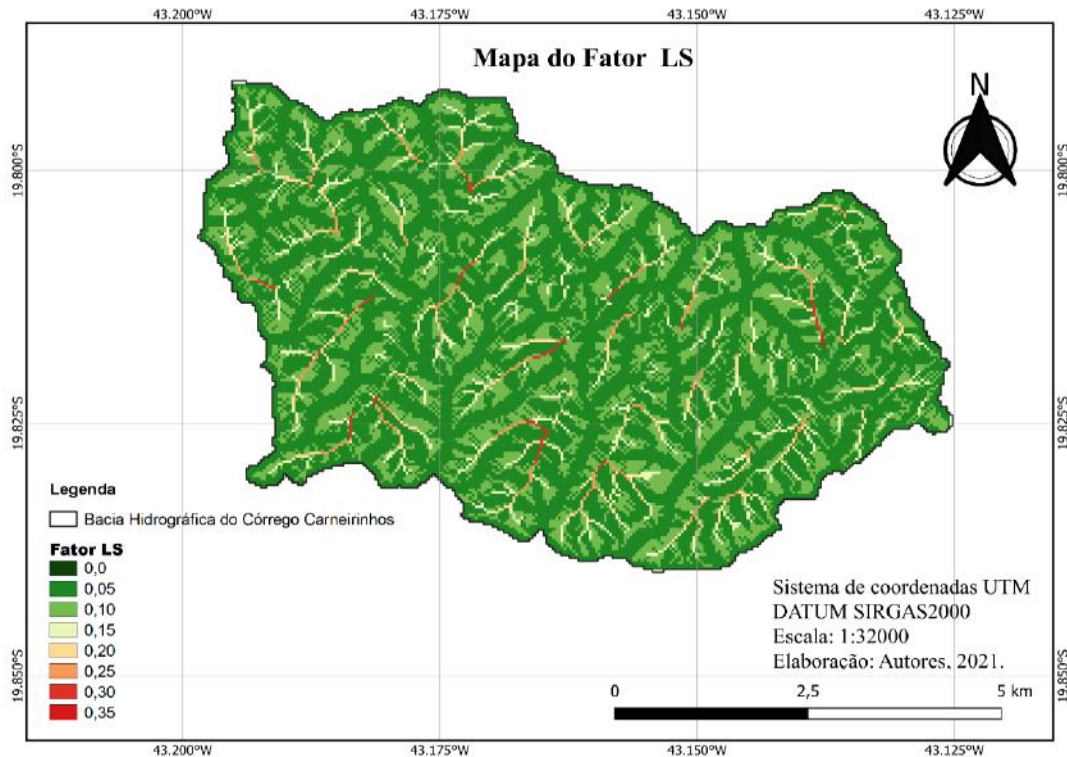
Fonte: Autores (2022).

De acordo com os valores de K propostos por Chaves (1994), comparadas as informações da área de estudo, o menor valor de erodibilidade está relacionado ao Latossolo Vermelho com A moderado, com textura muito argilosa, enquanto o Cambissolo A moderado e A proeminente, com textura média/argilosa é mais erodível.

Os índices calculados para o fator topográfico LS foram separados em 8 classes e apresentam valores entre 0 e 0,35, conforme mostrado no mapa da Figura 4. Observa-se que há predominância de valores entre 0 e 0,10, com grande representatividade para os valores abaixo de 0,1, o que representa menores taxas de escoamento superficial e, portanto, a erosão hídrica laminar menos representativa.

Destaca-se que a declividade é preponderante para a estimativa do fator declividade da vertente (Fator S) e assim, o produto do fator S com o fator declividade da vertente (Fator L) resulta no fator topográfico da USLE (LS).

Figura 4. Mapa do fator topográfico (LS).



Fonte: Autores (2022).

Para avaliar o efeito da declividade sobre o fator LS, foi analisada a distribuição das classes de declividade de acordo com classificação apresentada no Quadro 7, conforme proposta pela Embrapa (2018).

Quadro 7. A distribuição das classes de declividade na área.

Classificação	Classe (%)*	Área (km ²)	Área (%)	Acumulado (%)
Plano	0-3	0,60	2,25%	2,25%
Suave	3-8	1,70	6,38%	8,63%
Ondulado	8-20	8,90	33,45%	42,08%
Forte Ondulado	20-45	13,09	49,22%	91,30%
Montanhoso	45-75	2,19	8,24%	99,54%
Escarpado	>75	0,12	0,46%	100,00%
TOTAL		26,60	100,00%	-

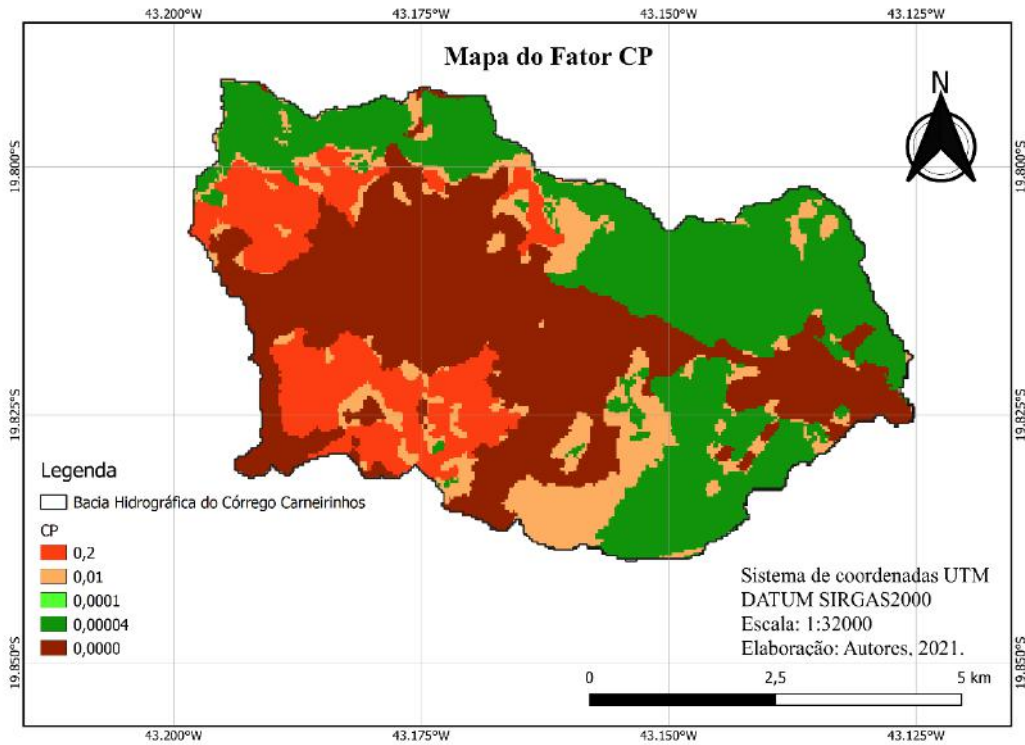
Fonte: Autores (2022). *baseado em Embrapa (2018).

Observa-se de acordo com o Quadro 7 e a Figura 2, a predominância da classe de relevo forte ondulado, que ocupa aproximadamente metade da área total, enquanto em cerca de 33% da área, o relevo ondulado também pode constituir áreas de riscos à erosão.

Na Figura 5 observa-se o resultado da integração e espacialização dos valores de cobertura, manejo e práticas conservacionistas (CP), realizada conforme a classificação mostrada no Quadro 4, adaptados das propostas de Anderson et al. (1976), Matos (2015) e Oliveira (2012).

Constata-se que na área de estudo os valores variam de 0 a 0,2 de acordo com a classificação, baseada no uso e ocupação do solo. As classes de uso e cobertura vegetal apresentam 61,45% da área como ambiente natural (Corpos D'água, Floresta, Agropecuária, Pastagem/Campo) com valores mais próximos de zero, enquanto a área considerada não vegetada (Infraestrutura Urbana, uso diversificado) compõe 38,55% da área de estudo.

Figura 5. Mapa do Fator CP.



Fonte: Autores (2022).

Como resultado obteve-se os valores de perda do solo- fator A, dado em toneladas por hectare ano, que é determinado a partir do produto dos fatores R, K, LS e CP obtidos para aplicação da USLE (Figura 6). Apesar da área em estudo possuir característica de relevo com declives acentuados, o potencial de perda de solos (PPS), oscilou entre o mínimo de zero e o máximo de 23,154 ton/ha.ano.

O Quadro 8 apresenta a classificação de classes de erosão atual, adaptada de Guimarães (2011), e sua distribuição percentual na Bacia Hidrográfica do Córrego Carneirinhos.

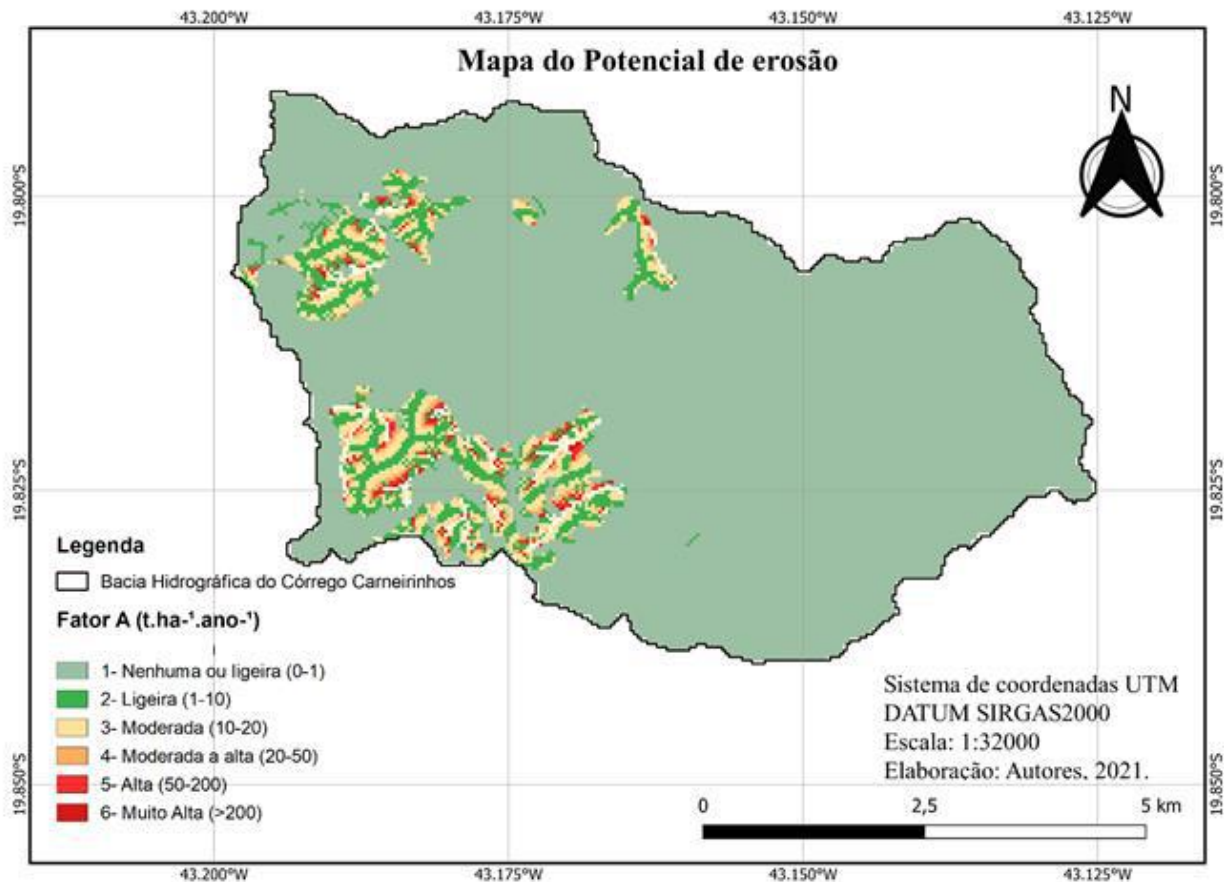
Quadro 8. Classificação de classes de erosão atual.

Classificação	Classe (%)	Área (km²)	Área (%)	Acumulado (%)
1-Nenhuma ou Ligeira	0-1	24,65	92,75%	92,75%
2-Ligeira	0-10	1,81	6,61%	99,36%
3-Moderada	10-20	0,07	0,26%	99,62%
4-Moderada a alta	20-50	0,11	0,38%	100,00%
5-Alta	50-200	0,0	0,00%	
6-Muito Alta	>200	0,0	0,00%	
Total		26,6	100,00%	

Fonte: Guimarães (2022), adaptado.

Analisando a classificação do Quadro 8, verifica-se que na Bacia do Córrego Carneirinhos, o fator A situa-se predominantemente entre 0 a 1 (mais de 90% da área), indicando risco nulo ou ligeiro de erosão, com predominância de erosão com intensidade menor que 15 ton/ha.ano, valor este obtido da reclassificação do raster de perda do solo. As áreas que apresentam maiores valores de erosão, classificados como moderado a alta, são as situadas em declividade de 20% a 75%. Assim, a bacia de estudo apresenta majoritariamente baixo potencial de erosão, com 92,75% da área de estudo classificada como apresentando pouca ou nenhuma erosão, como mostra a Figura 6.

Figura 6. Mapa de Perda de Solo.



Fonte: Autores (2022).

Alguns dos fatores que contribuem para isso são: os baixos valores do fator LS, pois quanto maiores os valores de LS, maior é a tendência de perda de solo. Identificou-se que as áreas que contêm floresta nativa e floresta plantada são as menos susceptíveis à erosão, tendendo ao valor 0. Enquanto os valores entre 10 a 50 ton/ha.ano, representam grau de erosão moderado a alto, estão relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo, o qual se refere ao solo exposto ou que possui mosaico de pastagens temporária com maior nível de inclinação.

4. Conclusão

A utilização do QGIS para a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE, demonstrou-se bastante eficiente na interpolação de diferentes dados temáticos e na geração dos mapas, conforme o objetivo do presente estudo, que era identificar as áreas de maior susceptibilidade, apresentando igualmente coerência com dados obtidos por outros autores que utilizaram outros softwares em ambiente SIG e métodos diretos.

Para maior confiabilidade dos resultados obtidos neste estudo é necessária a aplicação de métodos diretos e a conferência de campo em trabalhos posteriores, aliado à importância de uma classificação mais detalhada das tipologias de solo da Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, pois esses dados estão disponíveis em escala regional.

O estudo revelou que 92,75% da superfície da Bacia Hidrográfica apresentou nenhuma ou ligeira perda média anual de solo. O percentual de áreas de uso e cobertura vegetal apresentam 61,45% da área como ambiente natural (Corpos D'água, Floresta, Agropecuária, Pastagem/Campo), sendo o fator de perda de solo calculado entre 0 a 1 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Menos de 1% da

área da bacia estudada (0,64%) apresentou valores de entre 10 a 20 ton.ha⁻¹ ano⁻¹ e 20 a 50 ton ha⁻¹ ano⁻¹, o que se considera como grau de erosão moderada e moderada a alta, e que se relaciona ao tipo de uso e ocupação do solo, como ocorrência de solo exposto ou que possui mosaico de pastagens temporária com maior nível de inclinação. Além disso, a área de maior erosão localiza-se no topo da bacia, podendo obstruir ou prejudicar as galerias de águas pluviais através do acúmulo de sedimentos nas partes mais baixas, potencializando enchentes.

Para trabalhos futuros, os autores sugerem que estudos de erosividade na respectiva bacia sejam complementados por trabalhos de campo que incluam coleta de amostras de solo e verificações in loco, para calibração do modelo USLE com dados ainda mais representativos da área de estudo e que se incorpore uma análise temporal dos processos que ocorrem através do uso das geotecnologias.

Referências

- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification for use with Remote Sensing Data*. Washington: United States Department of the Interior, 41p. <https://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf>.
- Bertoni, J., & Lombardi Neto (2012). *Conservação do solo*. (8ª. ed.): Ícone.
- Borges, K. M. R. (2009). *Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos*. Brasília. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/4117>.
- Carvalho, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*: CPRM.
- Carvalho, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. (2ª.ed.): Interciência, 599p.
- Chaves, H. M. L. (1994). *Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco*: relatório final de consultoria. Brasília: CODEVASF, 35 p.
- Cook, H. L. (1936) *The nature and controlling variables of the water erosion process*. Soil Science Society of America Proceedings. V. 01, p. 487 – 494.
- Denardin, J. E. (1990). *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Piracicaba: ESALQ. 81p. Tese de Doutorado.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – (5ª. ed.,) rev. e ampl.: Embrapa, 2018.356 p.
- Florenzano, T. G. (2011). *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. (3ª. ed.) revisada e atualizada. Oficina de Textos, 2011.
- Ferro, V. (2010). Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. *Biosystems Engineering*, v.106, n.2, p.216-220. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2010.03.006
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI units. *J. Soil Water Conserv.*, 36:355- 9. https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/linkfiles/USLE%20Unit%20conversions.pdf.
- Franco, E. S., Luiz, T. A., Santos, N. A. dos., Narcizo, R. V., Lopes, J. de A., & Piedade, L. D. da C. (2016). Canalização do Córrego Carneirinhos e sua relação com os alagamentos em João Monlevade/MG. *Revista Científica Vozes dos Vales*, 10, 1– 16. <http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/09/Thiago.pdf>.
- Guadagnin, J. C., Bertol, I., Cassol, P. C., & Amaral, A. J. (2005). Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1), 1-10, abr. 2005. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ySZwC4T8bnqfyYPL38NCyMm/abstract/?lang=pt>.
- Guimarães, R. Z., Lingnau, C., Rizzi, N. E., Scheichi, R. G., & Bianchi, R. C. (2011). Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville/SC. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, [S.l.], v. 23, p. 534-554, abr. 2011.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). (2020). *Estimativa de população*. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/João_Monlevade.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) -. (2020). *Mapeamento geomorfológico em escala 1:250.000*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=acesso-ao-produto>.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE)-. (2020). *Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil, pedologia na escala 1:250.000*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=acesso-ao-produto>.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce -Volume I-Relatório Final*. Belo Horizonte: IGAM, 2010. 478. <http://10.47.16.18:8080/jspui/handle/123456789/969>.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Unidades de planejamento e gestão dos recursos hídricos de Minas Gerais. Relatório: junho de 2010*. Belo Horizonte: IGAM. <https://www.cbhdoce.org.br/pirhparhs/plano-diretor-da-bacia-do-doce-pirh>.
- MAPBIOMAS . Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. (2021). Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1: 5.000.000. https://mapbiomas.org/mosaicos-landsat?cama_set_language=pt-BR.

- Mata, C. L., Carvalho Junior, O. B., Carvalho, A. P. F., Gomes, R. A. T., Martins, E. S., & Guimarães, R. F. (2007). Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (Mg) por Meio da Equação Universal de Perda de Solos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S.L.], 8(2), 1-17, 18 dez. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/94>.
- Matos, T. V. S. (2015). *Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)*. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A3FETB/1/disserta__o_thiago_corre__o_setembro.pdf.
- Moreira, M. C., Pruski, F. F., Oliveira, T. E. C., Pinto, F. A. de C., & Silva, D. D. da. (2008). NetErosividade MG: erosividade da chuva em minas gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], 32(3), 1349-1353, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000300042>.
- Oliveira, J. S. (2012) *Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG*. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Dissertação de Mestrado, 103p. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705/publico/Julio_Storion_Oliveira_versao_revisada.pdf.
- Oliveira, P. T. S., Alves Sobrinho, T., Rodrigues, D. B. B., & Panachuki, E. (2011). Erosion risk mapping applied to environmental zoning. *Water Resources Management*, 25(3), 1021-1036, 2. 10.1007/s11269-010-9739-0
- Pimenta, M. T. (1998). *Directrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG, Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K*. INAG/DSRH (Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos), Lisboa, Portugal.
- Pinto, S. A. F., & Garcia, G. J. (2005). Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise e modelos de Bacias Hidrográficas. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 30-37.
- Pruski, F. F., Moreira, M. C., Gonçalves, F. A., Oliveira, T. E., Pinto, F. A. C., & Silva, D. D. (2007). *Erosividade da chuva a partir de séries sintéticas de precipitação*. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 36., Bonito, 2007. Anais. Bonito, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. CD-ROM.
- Renard, K. G., Foster. G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703, USDA-ARS. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf.
- Resende, M. (1985). *Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solo*. Informe agropecuário. Epamig, 11(128), 1985, p. 3-18.
- Sá Junior, Ariovaldo de. (2009). *Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais*. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3076>.
-
- Santos, G. G., Griebeler, N. P., & Oliveira, L. F. C. (2009). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, Pb, 14(2), 1-9, 19. <http://www.agriambi.com.br/>.
- Silva, A. M. da., Schulz, H. E., & Camargo, P. B. (2007). *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Paulo: Rima Editora, (2ª ed).
- Silva, J. J. R., Oliveira, G. de A., Monte-Mor, R. C. de A., Freitas, A. C. V., & Lima, F. N. (2020). Análise de eventos de inundação na sub-bacia do córrego Carneirinhos, João Monlevade, Minas Gerais. *Research, Society and Development*, [S. l.], 9(6), e33963383. 10.33448/rsd-v9i6.3383. <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3383>.
- Sousa, F. R. C. de., & Paula, D. P. (2019). Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreau (Ceará-Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia: Ceará-Brasil*, 20(3), 1-17, 1 jul. 2019. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>. <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1393/386386446>.
- Stein, D. P., Donzeli, A. F., Gimenez, A. F., Ponçano, W. L., & Lombardi Neto, F. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe Paranapanema. In: *4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, São Paulo. [Anais] São Paulo: ABGE/DAEE, 1987, p. 105-136.
- Teixeira, M. B., Camargo, P. L. T., & Martins Junior, P. P. M. (2017). Avaliação da perda universal de solos para o município de São Francisco - Minas Gerais. *Rev. Geogr. Acadêmica*, [s. l.], 11(2), 67-78, 01 jun. 2017. <https://revista.ufr.br/rga/article/download/4380/2369>.
-
- Valeriano, M. M., & Rosseti, D. F. (2012). *Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data*. *Applied Geography (Sevenoaks)*, v. 32, p. 300-309, 2012. <https://www.infona.pl/resource/bwmetal.element.elsevier-24cdb536-98f2-3917-ac02-18f4cddedf071>.
- Wagner, C S., & Massambani, O. (1988). Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier; Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, 12: 197-203.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1965). *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation: United States - Department of Agriculture*, 47 p. (USDA Agric. Handbook, n. 282). <https://naldc-legacy.nal.usda.gov/catalog/CAT87208342>.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1958). *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. *Trans. Am. Geophys Union*, 39:285-291.