

Artigos

Estimativa de perdas de solo na área de proteção ambiental do rio Uberaba

Estimation of soil losses in the area of environmental protection of the Uberaba river

Hygor Evangelista Siqueira^I , Gener Tadeu Pereira^{II} ,
Teresa Cristina Tarlé Pissarra^{II} ,
Marcilio Vieira Martins Filho^{III} , Carlos Alberto Araújo Campos^{III} 

^IGrupo de Pesquisa Política de Uso do Solo, Jaboticabal, SP, Brasil

^{II}Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil

^{III}Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil

RESUMO

As Unidades de Conservação são um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente que determinou a criação de espaços para a proteção e a garantia do equilíbrio ecossistêmico no território brasileiro. A Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba é uma Unidade de Conservação criada com o objetivo de garantir a qualidade das águas do rio Uberaba, sendo este o manancial de abastecimento público da cidade de Uberaba - MG. É caracterizada como uma unidade de conservação de uso sustentável, e algumas atividades altamente impactantes vêm sendo realizadas na sua área, com isso, causando diversas alterações no meio, tais como erosão, eutrofização de cursos d'água e alterações na qualidade e quantidade de água. O objetivo deste estudo foi estimar as perdas de solo e diagnosticar as áreas com potencial natural de erosão (PNE) utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e os produtos de sensoriamento remoto. O PNE apresentou valores baixos ($<100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em 38,72% da APA, médios ($100-200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em 31,29% e os valores alto ($200-600 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), muito altos ($600-1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e extremamente altos ($>1.000 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) totalizaram 29,99% da APA. As estimativas de perda de solo pela erosão hídrica com valores abaixo de $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ representam 43,81% da APA. Estimativas de perdas entre $5-10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ocorrem em 12,22% da área, de $10-20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 21,82%, entre $20-50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 17,89%, $50-100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 3,92% e perdas superiores a $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 0,34% da APA. O uso das geotecnologias e da Equação Universal de Perda de Solo possibilitou identificar espacialmente os locais em que ocorrem os maiores e os menores potenciais riscos de erosão, o que permitiu estimar as taxas de perda de solo ao longo da APA do rio Uberaba.

Palavras-chave: Sistema de informação geográfica; Sensoriamento remoto; Erosão hídrica; Equação Universal de Perda de Solo

ABSTRACT

Conservation Units are National Environment Policy instruments that determined the creation of areas for protection and guarantee of ecosystem balance in the Brazilian territory. The Uberaba River Environmental Protection Area (APA) is a water conservation unit in the city of Uberaba - MG. It is characterized as a sustainable use conservation unit, and some highly impacting activities have been occurring in this area, leading to erosion, water eutrophication, and changes in water quality and quantity. The aims of this study were to evaluate soil losses and to diagnose areas of natural potential for erosion (PNE) using the Universal Soil Loss Equation (USLE), the Geographic Information System (GIS), and remote sensing products. Adjusted PNE was low ($<100 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) in 38.72% of the APA and moderate ($100\text{-}200 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) in 31.29% of the area. High ($200\text{-}600 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), very high ($600\text{-}1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and extremely high indexes ($> 1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) were observed in 29.99% of the APA. Estimates of soil loss due to water erosion below $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ represented 43.81% of the APA. Estimated losses between 5 and $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ occur in 12.22% of the area; from 10 to $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, 21.82% of the area; between 20 and $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, 17.89% of the area; from 50 to $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, 3.92% of the area; and losses over $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ involved 0.34% of the APA. The use of geotechnology, remote sensing products, geographic information systems, and the Universal Soil Loss Equation enabled spatial identification of sites of greater and lesser potential erosion risk, which enabling the estimation of soil loss rates throughout the Uberaba River Environmental Protection Area.

Keywords: Geographic information system; Remote sensing; Water erosion; Universal Soil Loss Equation

1 INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo aliado à ausência de práticas conservacionistas vem gerando significativas alterações na relação solo-paisagem de modo a intensificar os processos erosivos e suas dinâmicas. A erosão do solo, fenômeno natural, vem sendo acelerado por práticas errôneas e não conservacionistas. Ela é uma das principais causas da degradação do solo, que, conseqüentemente, ocasiona a desestruturação, carreamento e transporte, assoreamento e a deposição das partículas do solo ao longo das vertentes. A erosão do solo influencia negativamente as características geomorfológicas, na fertilidade do solo, na produtividade agrícola, na qualidade da água e na capacidade de reservatórios (DEMIRCI; KARABURUN, 2012; XU; XU; MENG, 2013).

Conforme apontando pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, na publicação "Status of the world's soil resources" (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2015), mais de 30%

dos solos do mundo estão degradados por processos como erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação. Estimou-se ainda que as perdas anuais de culturas causadas pela erosão representam 0,3% da produção e que se estes índices permanecerem ocorrerá a redução total de mais de 10% até 2050. O estudo mostra que as erosões em solos agrícolas e em pastagem intensiva variam entre cem a mil vezes a taxa de erosão natural e, ainda, que o custo anual de fertilizantes para substituir os nutrientes perdidos pela erosão será de US\$ 150 bilhões bilhões (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2015).

Ao longo dos anos, pesquisas com o objetivo de estimar as perdas de solo pela erosão utilizando modelos empíricos foram elaborados, testados e validados para diversas regiões do mundo (WISCHMEIER; SMITH, 1978; AIELLO; ADAMO; CANORA, 2015). No entanto, não há um modelo único que pode ser aplicado em todas as regiões, pois a utilização do modelo depende de inúmeros fatores, tais como objetivos do estudo, características da bacia, disponibilidade de dados, escalas de trabalho, *softwares* disponíveis, validade e confiabilidade do modelo, disponibilidade de informações, entre outros.

Um dos modelos para estimativa de perdas de solo por erosão é a Equação Universal de Perda de Solo – (USLE) proposto por Wischmeier e Smith (1978). Dada a necessidade de adequação dos parâmetros às necessidades locais e regionais, novos modelos foram criados e aprimorados como a “Modified Universal Soil Loss Equation” - MUSLE (WILLIAMS, 1975), a “Revised Universal Soil Loss Equation” - RUSLE (RENARD *et al.*, 1997), a “Revised Universal Soil Loss Equation complex terrain” - RUSLE3D (MITAS; MITASOVA, 1999), a “Unit Stream Power - Based Erosion Deposition” - USPED (MITASOVA *et al.*, 1996; MITAS; MITASOVA, 1998; 1999) e o “Water Erosion Prediction Project” – WEPP (FLANAGAN; GILLEY; FRANTI, 2007). No Brasil, várias estimativas de perdas de solo pela erosão com o emprego da USLE foram elaboradas levando em consideração informações de precipitação, susceptibilidade do solo à erosão, morfologia do terreno, uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (VALLE JUNIOR *et al.*, 2010; MENDONÇA *et al.*, 2014; BASSO, 2018).

Para Gelagay e Minale (2016), o grande avanço tecnológico e a disponibilização das informações em “Big Datas” mundiais são importantes facilitadores de acesso a diferentes informações espaciais que servem de base para aplicação de modelos de estimativas de perdas de solo por erosão. Estudo realizado por Aiello, Adamo e Canora (2015) avaliando as perdas de solo a partir de modelos empíricos com a utilização de produtos do sensoriamento remoto e SIG em uma bacia hidrográfica, mostrou que mesmo com grandes extensões, a modelagem pode ser uma importante ferramenta no planejamento ambiental, desenvolvendo cenários de gestão e fornecendo opções para formuladores de políticas para o gerenciamento de riscos de erosão do solo (GANASRI; RAMESH, 2016).

As Unidades de Conservação instituídas no Sistema nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000) são áreas com elevado grau de interesse ecológico, que objetivam garantir a preservação e a conservação da natureza e da diversidade biológica. Nas unidades de conservação de uso sustentável, como no caso das Áreas de Proteção Ambiental (APA), objetiva-se a exploração do meio e a garantia de sustentabilidade dos recursos naturais.

Na APA do rio Uberaba, diversas atividades econômicas e de exploração dos recursos naturais são desenvolvidas. O avanço da urbanização, mineração, desmatamento e das atividades agropecuárias vem contribuindo negativamente na qualidade ambiental dos recursos naturais (ABDALA, 2005; CANDIDO, 2008; VALLE JUNIOR, 2008; VALLE JUNIOR *et al.*, 2019).

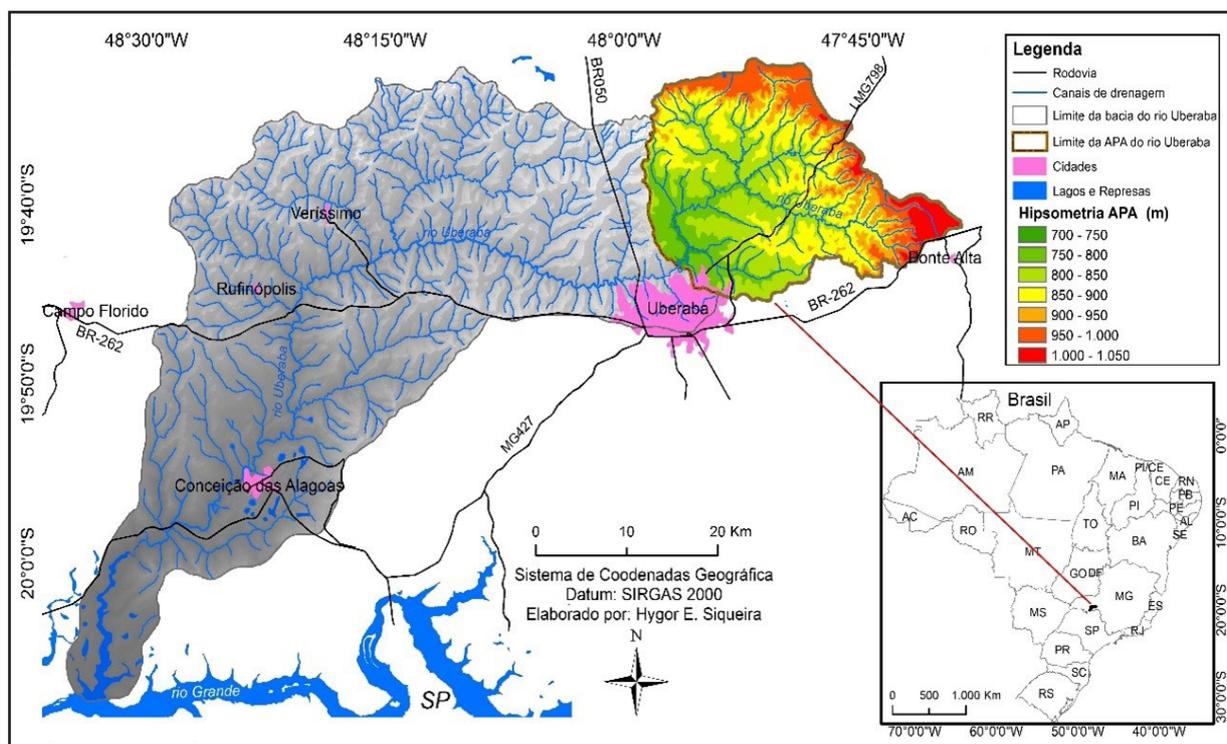
Dessa maneira, o objetivo deste estudo é identificar na APA do rio Uberaba as áreas com maiores riscos de erosão e estimar as perdas de solo utilizando a Equação Universal de Perda de Solo de modo a servir como uma ferramenta de planejamento conservacionista e tomada de decisão para o uso sustentável dos recursos naturais, além de possibilitar o diagnóstico de áreas susceptíveis de modo que subsidie a definição e aplicação de políticas públicas para a conservação do solo e da água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba (Figura 1) está localizada entre as coordenadas geográficas 19.51° e 19.74° sul e 47.64° e 47.98° oeste, no município de Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Com uma área total estimada de 528,1 km², a APA do rio Uberaba é constituída legalmente pela Lei Municipal nº 9.892/2005 e está delimitada geograficamente pelas sub-bacias com foz no curso principal do rio Uberaba, situadas a montante do ponto de captação para posterior tratamento e abastecimento público. A APA do rio Uberaba é uma importante Unidade de Conservação de Uso Sustentável, e seus principais objetivos de criação são garantir o uso racional dos recursos naturais aliados à preservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos que abastece a cidade de Uberaba - MG.

Figura 1 – Localização da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba



Fonte: Autores (2019)

Segundo Novais, Brito e Sanches (2018), o clima da região, na qual está inserida a APA do rio Uberaba, é classificado como Tropical semisseco meridional dos patamares do chapadão Uberlândia/Uberaba e do planalto de Araxá, no clima zonal quente de domínio Tropical, com influência da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Possui um período chuvoso definido de novembro a março com precipitações mensais variando de 100 mm a 300 mm e com seis meses secos correspondendo aos meses de abril a setembro com precipitações abaixo de 100 mm, totalizando uma precipitação pluviométrica anual de 1350 a 1600 mm (NOVAIS; BRITO; SANCHES, 2018).

A APA do rio Uberaba, conforme Cruz, Paterniani e Carvalho (2003), está localizada na bacia Sedimentar do Paraná cuja geologia é constituída por rochas sedimentares do grupo Bauru (Formação Uberaba e Formação Marília) e por derrames de basalto nas rochas do grupo São Bento (Formação Serra Geral).

No estudo de Pedroso Neto (2013), existem na APA do rio Uberaba a ordem dos Latossolos, Cambissolos, Argissolos e Gleissolos que variam suas características físico-químicas, fertilidade natural, potencialidades de uso e risco de erosão em função dos diferentes materiais de origem e formas de relevo, sendo, os Gleissolos recomendados para o uso não agrícola e para preservação ambiental, por apresentarem na APA do rio Uberaba, características e localização de interesse ecológico.

A Geomorfologia da APA do rio Uberaba é caracterizada por relevos suavemente planos localizados no Pediplano, em altitudes variando de 1000 m a 1050 m com declividade inferior a 3%; Dissecado homogêneo de topo convexo nas rupturas do Pediplano, no qual se localizam as nascentes em anfiteatros Alveolares com altitudes entre 950 a 1000 m e declividades entre 20% e 45%; Rampa de colúvio com altitudes variando de 900 a 950 m com declive entre 8% e 20%; e Dissecado homogêneo de topo tabular com altitudes inferiores a 900 m e com declividades entre 3% e 8%.

O uso e cobertura da terra é variado, sendo a pecuária predominante na região do Triângulo Mineiro. Na APA do rio Uberaba, o uso da terra caracteriza-se por atividades agrícolas, como o cultivo de grãos (soja, milho e café), pastagens naturais e cultivadas para a criação de gado de leite e de corte, silvicultura e mineração de cascalhos, basalto e de solo para construção civil.

2.2 Equação universal de perda de solo (USLE)

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) foi utilizada para estimar as perdas médias anuais de solo pela erosão hídrica, como proposto por Wischmeier e Smith (1978) na Equação (1):

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

Em que: A = a perda de solo medidos em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$; R = o fator erosividade, medidos em $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$; K = o fator erodibilidade, $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$; LS = o fator topográfico, adimensional; C = o fator de manejo e cobertura, adimensional; e P = o fator prática conservacionista, adimensional.

Os valores do fator erosividade da chuva (R) foram extraídos do *software* NetErosividadeMG (MOREIRA *et al.*, 2008), que disponibiliza os valores médios de Erosividade (EI_{30}) mensal e anual no estado de Minas Gerais. Para a APA do rio Uberaba, a altimetria, conforme o Modelo Digital de Elevação (MDE), varia de aproximadamente 700 a 1050 m. Dada a variabilidade de altitude e extensão da área de estudo, foram reclassificados os intervalos de altitude e atribuídos os respectivos valores de erosividade, calculados no *software* NetErosividadeMG, conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de EI_{30} da chuva na região de Uberaba – MG

Município	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Fator R ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)
Uberaba	19°44'23.00"S	47°55'47.00"O	700 – 750	6933
			750 – 800	6933
			800 – 850	7252
			850 – 900	7688
			950 – 1000	7864
			1000 – 1050	7794

Fonte: Relatório NetErosividadeMG (20/03/2019)

Em que: EI_{30} é a energia cinética (EC) por sua intensidade máxima em 30 min (I_{30}).

O fator erodibilidade (K) dos solos, que representa a susceptibilidade de um solo à erosão, foi determinado a partir de valores estimados por pesquisadores em diferentes tipos de solo (Tabela 2), conforme a variabilidade de solos na APA do rio Uberaba. Os arquivos vetoriais das classes de solos foram adquiridos do Mapa de Solos do estado de Minas Gerais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE *et al.*, 2010), disponíveis na plataforma WebGis IDE-SISEMA, na escala 1:650.000. Uma vez adquirido o arquivo vetorial, foi realizada a reprojeção para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* do Sistema de Referência Geocêntrico das Américas - SIRGAS 2000 e fuso 23 Sul. Posteriormente, foi realizada a extração das classes de solo na APA do rio Uberaba e, em seguida, a conversão de arquivo vetorial para raster, com resolução de 10 m, atribuindo os valores do fator K aos diferentes tipos de solo, conforme pesquisas e simulações de erodibilidade com chuvas naturais e simuladas por diferentes autores (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de Erodibilidade (K) dos solos adotados

Classe de Solo	Fator K (t h MJ⁻¹ mm⁻¹)	Fonte
Gleissolos	0,0044	Ribeiro e Alves (2007)
Latossolo Vermelho distroférico	0,0266	Valle Junior <i>et al.</i> (2010)
Latossolo Vermelho distrófico	0,0250	Roloff e Denardin (1994)
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,0200	Roloff e Denardin (1994)
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,0330	Roloff e Denardin (1994)

Fonte: Autores (2019)

O fator topográfico LS foi obtido de forma fragmentada a partir do MDE, com base em Desmet e Govers (1996) na estimativa do fator L e McCool *et al.* (1987) para obtenção do fator S. A metodologia para o comprimento de rampa L envolve o conceito de área de contribuição e o procedimento é específico para ambientes SIG, com a

utilização dos Modelos Digitais de Elevação (MATOS, 2015). Desmet e Govers (1996) propuseram a seguinte equação para o fator L, na Equação (2):

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot x_{ij}^m \cdot (22,13)^m]} \quad (2)$$

Em que: x_{ij} = as coordenadas de cada *pixel* na cena que situa a bacia; L = o fator de comprimento de rampa; A = a área de fluxo acumulado; D = a resolução da imagem; e m = o expoente do comprimento da inclinação, em função do seu ângulo.

Já o fator S (declividade) foi determinado por meio das equações de McCool *et al.* (1987), que é bastante utilizado na RUSLE – Equação Universal de Perda de Solo Revisada. Essas equações, (3) e (4), são descritas da seguinte forma:

$$S = 10,8 \cdot \sin \theta + 0,03, \text{ se } \tan \theta < 9 \quad (3)$$

$$S = 16,8 \cdot \sin \theta - 0,5, \text{ se } \tan \theta > 9 \quad (4)$$

Em que: θ = o ângulo de declividade em radianos.

O Fator CP (Cobertura e Práticas Conservacionistas), neste estudo, foi estabelecido com base em valores médios apresentados por Valle Junior (2008) para usos e cobertura do solo na bacia do rio Uberaba e ainda, para coberturas não definidas pelo autor, foram utilizados os valores definidos por Stein *et al.* (1987).

O uso e cobertura da terra foi elaborado a partir da interpretação visual para o mapeamento das diferentes classes de uso e cobertura da terra, de imagens do Sentinel 2B, órbita 28, datada de 03 de janeiro de 2019, com resolução espacial de 10 m adquiridas do Serviço Geológico dos Estados Unidos, em inglês “Unit States Geological Survey” (USGS) na plataforma Earth Explorer. O processamento das

imagens foi realizado no ArcGIS, versão 10.1, a partir da criação de um banco de dados geográfico. Foi realizada a reprojeção das imagens para o SIRGAS 2000 e fuso 23 sul. Uma vez reprojctadas, foi realizado a composição colorida R4G3B2 (cor natural) e extraído (recortada) o limite da área de estudo. Foram vetorizados polígonos a partir da interpretação visual de cores, formas, textura, localização e tamanho dos objetos utilizados para diferenciar as classes de uso e ocupação da terra (pastagem; fragmentos florestais; culturas perenes; culturas anuais; silvicultura; urbanização; construções rurais; mineração e chacreamento).

De posse da classificação de uso e cobertura da terra, foram escolhidos 40 pontos aleatórios para as diferentes classes de uso interpretadas para checagem, verificação e validação em campo do mapeamento. Para o campo, foi utilizada a ferramenta auxiliar de navegação no aplicativo “mobile” Avenza Maps, versão 3.6.3, e nele adicionada a camada de uso da terra gerado e juntamente ativado o localizador do dispositivo móvel. Foram percorridas, nos dias 22/03/2019, 23/03/2019 e 14/03/2019, as principais estradas rurais e rodovias inseridas na APA do rio Uberaba de modo a conferir os usos da terra classificados. Dos 40 pontos verificados, em 37 (92,5%) observou-se concordância entre o uso mapeado e o observado no campo.

As classes de uso e cobertura da terra utilizadas no mapeamento seguiram a descrição no Manual Técnico de Uso da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), objetivando também a escolha para que se criasse um padrão de classificação e legenda para futuros estudos, almejando-se a análise temporal e mudanças no uso e cobertura da terra.

Os fatores da USLE e seus respectivos valores foram atribuídos aos mapas e reclassificados com o uso da ferramenta “reclassify” do SIG (Figura 2). Posteriormente, realizou-se a álgebra de mapas, em resolução de 10 m para a execução da equação 1, resultando na estimativa das perdas de solo por erosão hídrica mediante a Equação Universal de Perda de Solo.

Tabela 3 – Valores do fator CP adotados

Cobertura do solo	Fator CP (adimensional)	Fonte
Pastagem, Construções Rurais e Chacreamento	0,1	
Fragmentos Florestais e Silvicultura	0,00004	Adaptado de Stein <i>et al.</i> (1987), Valle Junior (2008); Ferreira e Francisco (2009).
Culturas anuais e Culturas Perenes	0,25	
Urbanização e Mineração	0,0001	

Fonte: Autores (2019)

Em que: CP é o fator Cobertura e Práticas Conservacionistas da USLE.

2.3 Potencial natural de erosão

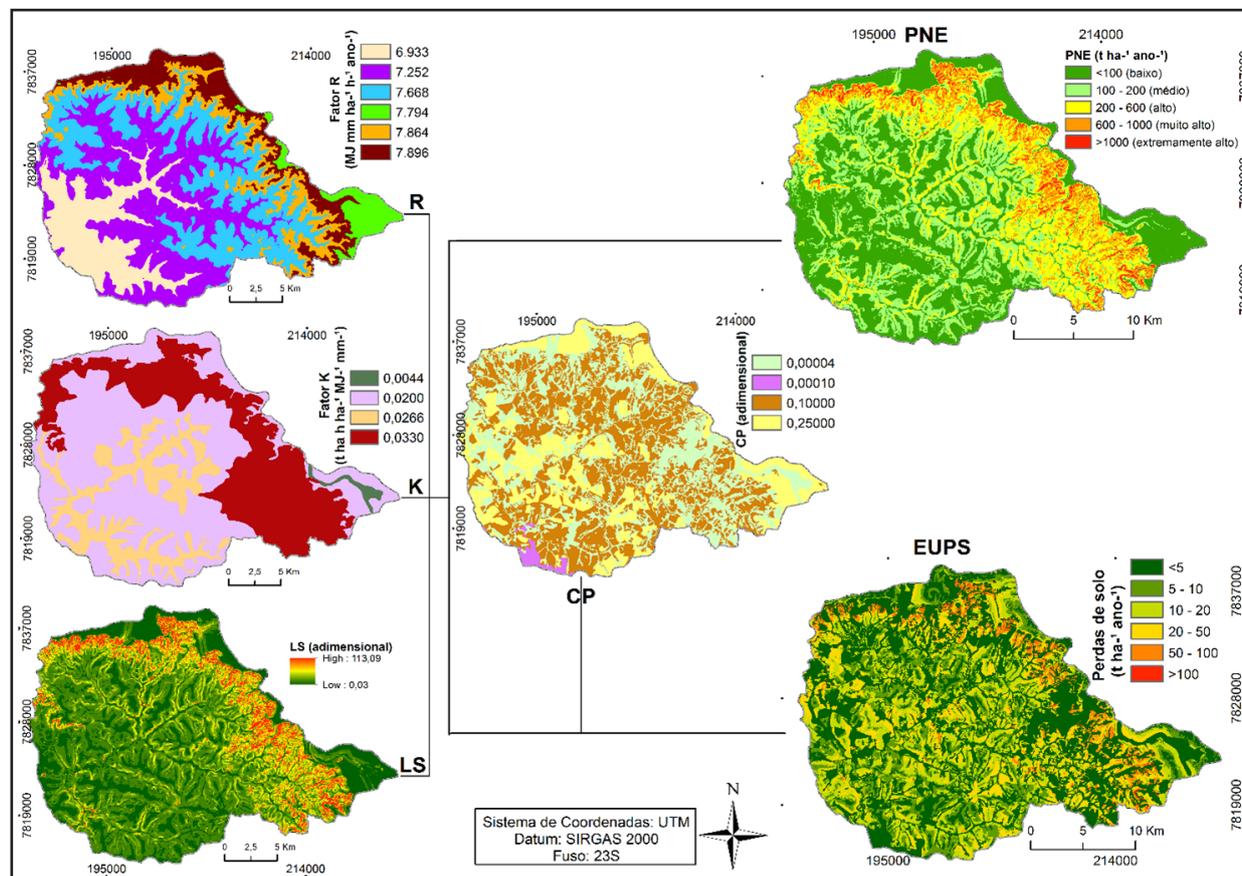
O potencial natural de erosão (PNE) representa a susceptibilidade de determinada área em ocorrer perdas de solo por erosão hídrica sem considerar os fatores antrópicos de uso e cobertura da terra e de manejo e práticas conservacionistas. A elaboração do PNE neste estudo contribuiu para a identificação e espacialização das áreas susceptíveis ao processo erosivo. O PNE foi determinado como mostra a Equação (5):

$$PNE = R K LS \quad (5)$$

Em que: PNE = o potencial natural de erosão dos solos, medidos em $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R = o fator erosividade, medidos em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; K = o fator erodibilidade, $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; LS = o fator topográfico (adimensional).

O PNE foi calculado no SIG utilizando a álgebra de mapas com a ferramenta “Raster Calculator”. Em seguida, os valores foram reclassificados em 5 (cinco) classes (baixo, médio, alto, muito alto e extremamente alto) conforme Valle Junior (2008).

Figura 2 – Esquema metodológico dos fatores utilizados e seus respectivos valores atribuídos para a estimativa do PNE e da USLE



Fonte: Autores (2019)

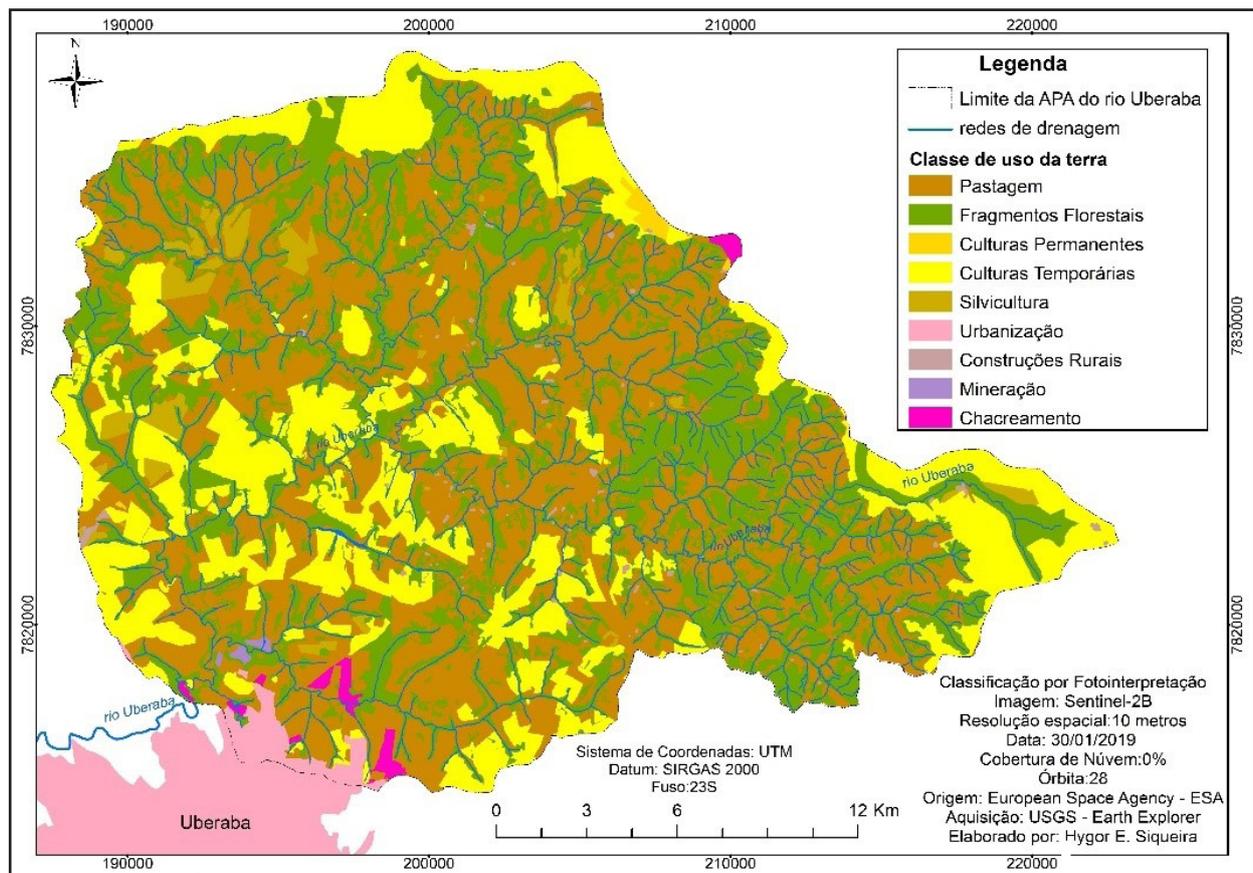
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Uso e cobertura dos solos

O mapeamento da ocupação da terra na APA do rio Uberaba (Figura 3 e Tabela 4) mostra que a pastagem é a atividade com maior uso e que ocupa 38,83% da área total. Os fragmentos florestais ocupam 34,68%, culturas anuais e perenes totalizam 22,73%, silvicultura 2,12% da área, urbanização 1,06%, chacreamento 0,58%, construções rurais 0,30% e mineração 0,11% de ocupação.

Estudos apontam mudanças na cobertura da terra ao longo dos anos na bacia do rio Uberaba, na qual houve perdas de áreas de vegetação nativa e mudanças de uso de pastagens para lavouras. Na década de 60 até a década de 90, em estudo realizado por Cruz, Paterniani e Carvalho (2003), houve redução de 41,0% para 19,7% da vegetação nativa que deram lugar para o avanço da agricultura de 11,3% para 19,6% e ainda para avanço da pastagem de 46,8% para 58,5%. Segundo Cândido (2008), a vegetação nativa correspondia, em 2008, a 17,96% de ocupação, seguindo de 27,99% de agricultura, 50,21% de pastagens e 3,84% para outros usos. Em 2017, no estudo de Silva (2018), o uso da terra na bacia do rio Uberaba era de 20,95% ocupados por vegetação nativa, 34,36% de agricultura, 36,29% de pastagem e outros usos em 8,39%.

Figura 3 – Uso e cobertura do solo na APA do rio Uberaba, 2019



Fonte: Autores (2019)

Tabela 4 – Uso e cobertura dos solos na APA do rio Uberaba, 2019

Classe de uso	Área (hectares)	Área (%)
Pastagem	20.504,17	38,83
Fragmentos Florestais	18.313,23	34,68
Culturas Perenes	139,32	0,26
Culturas Temporárias	11.654,76	22,07
Silvicultura	1.118,82	2,12
Urbanização	561,20	1,06
Construções Rurais	158,50	0,30
Mineração	56,25	0,11
Chacreamento	303,75	0,58
Total	52.810,00	100,00

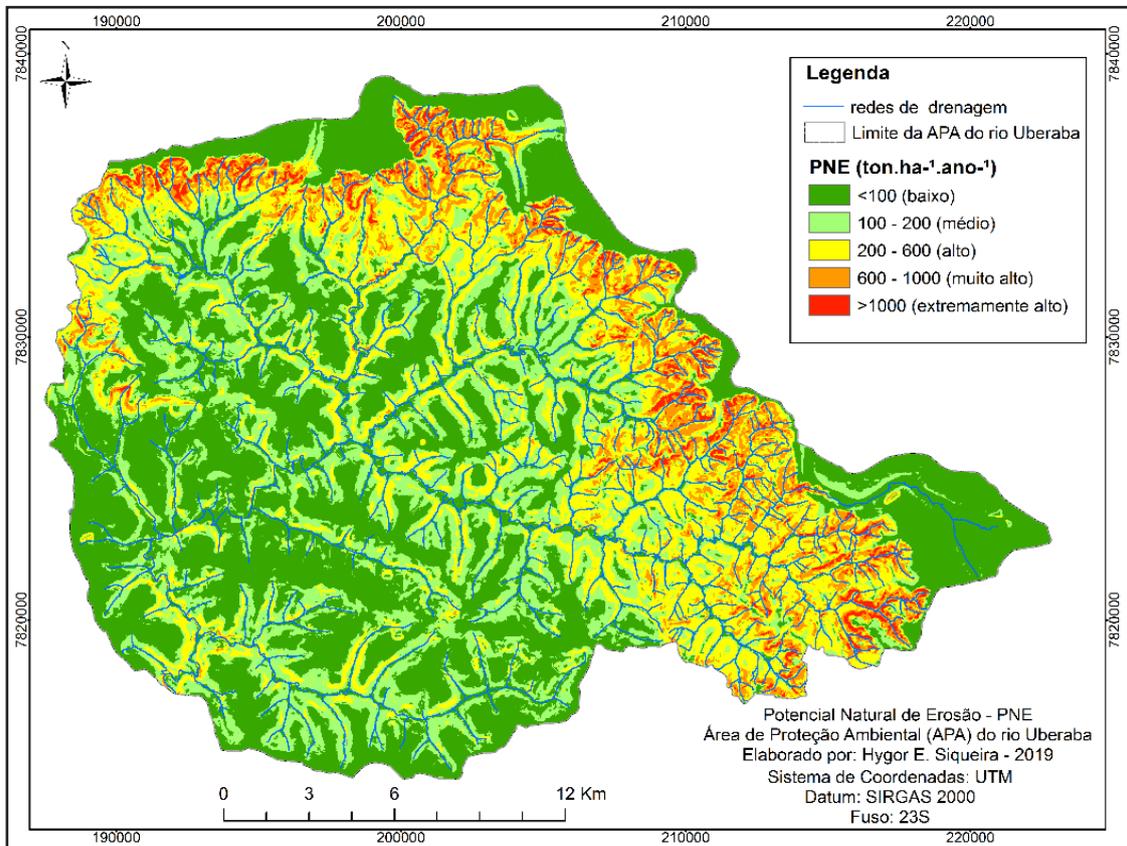
Fonte: Autores (2019)

Na APA do rio Uberaba, o uso da terra em 2016, segundo Valle Junior *et al.* (2019), correspondia a 50,9% de pastagens, 26,2% de agricultura, 22,1% de florestas e 0,8% de urbanização. Em comparação com resultados de uso da terra deste estudo (Tabela 4), houve redução das áreas de pastagem e aumento das áreas de urbanização e agricultura. Observa-se, nestes históricos de mudanças no uso da cobertura da terra, o avanço da agricultura, necessitando estudos e propostas para planejamento de uso do solo visando reduzir os impactos destas atividades ao ambiente.

3.2 Potencial natural de erosão

O potencial natural de erosão (Figura 4) (Tabela 5) é maior nas áreas em que o fator R e LS da equação obtiveram altos valores devido às características físicas e morfológicas da APA do rio Uberaba. Os potenciais riscos de erosão classificados como baixo ocorrem na APA em 38,72% da área, seguidos de médio potencial em 31,29% e alto, muito alto e extremamente alto em 29,99%, indicando a necessidade de se obter cuidados especiais no manejo e práticas de conservação do solo adequadas. No uso agrícola, torna-se necessário o emprego de técnicas de preparo e manejo do solo que mantenham a cobertura do solo com vegetação e cobertura durante todo o ano.

Figura 4 – Potencial Natural de Erosão na APA do rio Uberaba



Fonte: Autores (2019)

Tabela 5 – Potencial Natural de Erosão calculado na APA do rio Uberaba

Classificação*	Potencial Natural de Erosão (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Área (hectares)	Área (%)
Baixo	<100	22.174,76	41,99
Médio	100 - 200	13.539,04	25,64
Alto	200 - 600	11.847,68	22,43
Muito Alto	600 - 1000	4.124,48	7,81
Extremamente alto	>1000	1.124,04	2,13
Total		22.174,76	41,99

Fonte: Autores (2019), adaptado de Valle Junior (2008)

Nas áreas em que o solo é exposto, como em estradas rurais, é imprescindível atentar-se quanto à construção, manejo e recuperação das estradas principalmente as localizadas nas áreas de médio a alto potencial erosivo, necessitando assim mecanismos de contenção do escoamento e de infiltração de modo a reduzir os processos erosivos.

Nas áreas com pastagens, torna-se necessário o correto manejo das plantas forrageiras e do pastejo de modo a evitar o processo de degradação da pastagem que, dentre suas consequências, estão a redução da área foliar e da cobertura do solo, tornando-o altamente suscetível aos efeitos das chuvas erosivas e consequentemente aos processos erosivos. Valle Junior *et al.* (2019) empregando o sensoriamento remoto, análises bromatológicas de forrageiras, análises físico-químicas de solo como fertilidade, textura e resistência à penetração, diagnosticaram que das áreas de pastagem na APA do rio Uberaba, 60% delas estão degradadas. No solo, a compactação e a perda da fertilidade são processos facilitadores para a ocorrência de erosão.

Assim, dadas às estimativas e levando-se em consideração a preservação da paisagem, a redução dos processos erosivos é altamente recomendada, nas áreas com alto potencial natural à erosão ($PNE > 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), a destinação destas áreas para o reflorestamento e preservação ambiental, com a possibilidade de implantar mecanismos de compensação e de pagamento por serviços ambientais aos produtores com recursos de fundos municipais e estaduais relacionados ao meio ambiente e preservação.

3.3 Estimativas das perdas de solo pela erosão

Na APA do rio Uberaba, os valores de perdas de solo estão apresentados na Tabela 6 e as áreas de perdas espacializadas na Figura 5. As estimativas de perdas menores que $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ correspondem a 43,81% da área ocupada por fragmentos florestais ao longo da bacia e nos terrenos suavemente planos com menos de 3% de declividade pela agricultura e silvicultura.

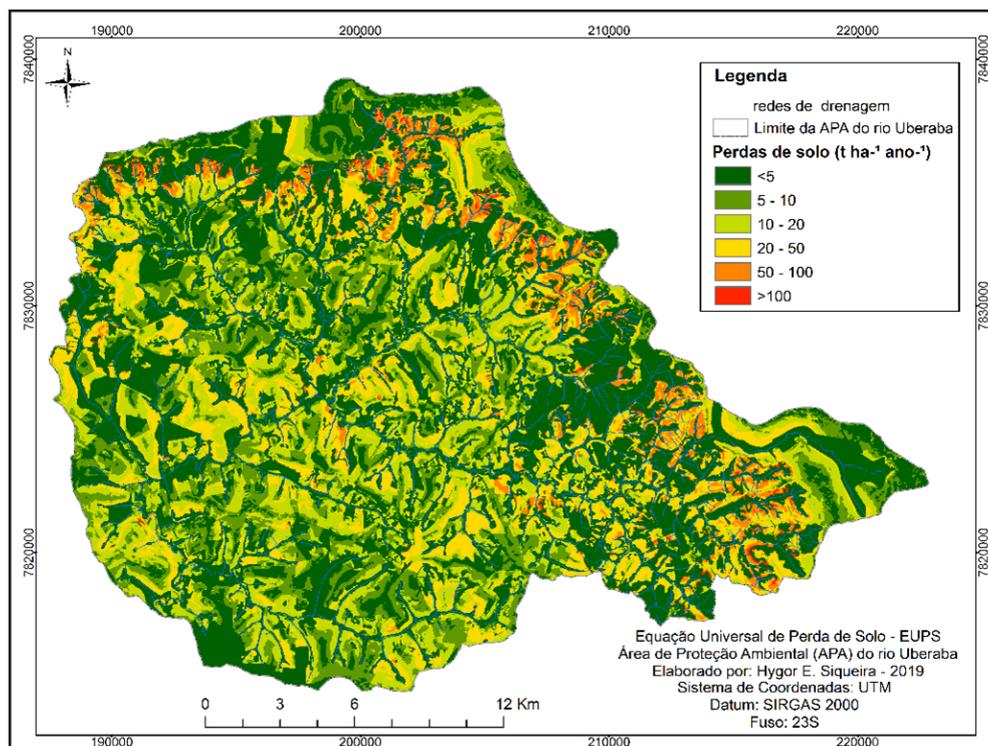
As áreas com perdas de solo estimadas entre $5 \text{ a } 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ correspondem a 12,22% da APA. Nas áreas ocupadas por agricultura e pastagens, são importantes os métodos e técnicas de conservação do solo de modo a reduzir os processos de perdas de solo pela erosão.

Tabela 6 – Estimativas de perdas de solo pela erosão hídrica na APA do rio Uberaba

Perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Área (hectares)	Área (%)
<5	23.136,37	43,81
5 - 10	6.455,06	12,22
10 - 20	11.524,04	21,82
20 - 50	9.446,43	17,89
50 - 100	2.070,57	3,92
>100	177,52	0,34
Total	52.810,00	100,00

Fonte: Autores (2019)

Figura 5 – Estimativa das perdas de solo na APA do rio Uberaba



Fonte: Autores (2019)

Já as estimativas de perda entre 10 e 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ correspondem a 21,82% da APA com usos destinados a pastagens e agricultura, assim como nas perdas estimadas entre 20 e 50 t ha⁻¹ ano⁻¹ que corresponde a 17,89% da APA. Nestas áreas, devem ser adotadas práticas de conservação do solo de modo a minimizar suas perdas, o que é fundamental para minimizar os processos erosivos, as perdas de solo e nutrientes e reduzir o assoreamento dos canais de drenagem.

Para evitar a degradação da terra, a FAO (2015) recomendou algumas técnicas e medidas protetivas para o solo no cultivo agrícola e nas pastagens, dentre elas o mínimo revolvimento do solo, a redução dos processos de gradeamento e subsolagem que ocasionam a desestruturação e desagregação das partículas dos solos tornando-os mais susceptíveis aos processos erosivos. Em áreas cultivadas em terrenos inclinados (declividades > 15%), a construção de terraços e bolsões como forma de redução do escoamento e facilitador de infiltração é indispensável. A manutenção de uma camada de cobertura orgânica de modo a proteger o solo de efeitos da erosividade, o plantio em nível, o plantio direto na palha, os usos consorciados e ou integrados, a redução no uso de agrotóxicos, o uso adequado e criterioso de fertilizantes e da irrigação e a redução e o controle de uso de mecanização tanto relacionados ao cultivo como no escoamento da safra nas estradas rurais são técnicas fundamentais para reduzir os processos erosivos. Essas técnicas aplicadas corretamente buscam garantir modos sustentáveis de produção, que se idealizam com as características e objetivos deste tipo de unidade de conservação.

As áreas com perdas estimadas entre 50 e 100 t ha⁻¹ ano⁻¹ ocupam 3,92% e as perdas superiores a 100 t ha⁻¹ ano⁻¹ ocupam 0,34%, as quais são utilizadas principalmente com pastagem devido às dificuldades de uso para a agricultura por conta das altas declividades. O uso destas áreas, em que as perdas de solo são superiores a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹, acarreta em grande potencial de ocorrência e aumento da intensidade de processos erosivos, como ravinas e voçorocas que podem gerar mais perdas de solo, desequilíbrio nos recursos ecossistêmicos em níveis extremos e a degradação da terra. Por isso, um planejamento conservacionista e medidas protetivas do solo devem ser implementadas.

4 CONCLUSÃO

A pastagem é o uso com maior percentual de ocupação (38,83%) na APA do rio Uberaba.

As estimativas de perda de solo possibilitaram identificar áreas para a conservação do solo e da água e ainda estabelecer os locais com prioridades para conservação, sendo o fator topográfico um grande influenciador das perdas de solo pela erosão.

O Potencial Natural de Erosão - PNE permitiu identificar as áreas com maiores potenciais e necessidades de conservação do solo, o que torna estas informações importantes na definição de áreas para a conservação dos recursos ambientais da APA do rio Uberaba.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L. **Zoneamento ambiental da bacia do alto curso do rio Uberaba – MG como subsídio para gestão do recurso hídrico superficial**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- AIELLO, A.; ADAMO, M.; CANORA, F. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. **Catena**, Amsterdam, v. 131, p. 174-185, 2015.
- BASSO, B. T. **Estimativa de erosão utilizando a equação universal de perdas de solos (EUPS): o caso do alto curso do rio Chopim**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2018.
- BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 14 out. 2021.
- CANDIDO, H. G. **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba - MG**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.
- CRUZ, L. B. S.; PATERNIANI, J. E. S.; CARVALHO, R. M. B. Caracterização e manejo sustentável do solo na Bacia do Rio Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 9, p. 31-49, 2003.
- DEMIRCI, A.; KARABURUN, A. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v. 66, n. 2, p. 903-913, 2012.

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

FERREIRA, A. S.; FRANSISCO, C. N. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009. **Anais [...]**. Natal: [s. n.], 2009. p. 3777-3784.

FLANAGAN, D. C.; GILLEY, J. E.; FRANTI, T. G. Water erosion prediction project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, p. 1603-1612, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG) *et al.* **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 29 nov. 2018.

GELAGAY, H. S.; MINALE, A. S. Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: a case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 126-136, 2016.

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, Beijing, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019.

MATOS, T. V. da S. **Determinação de Áreas de Vulnerabilidade à Erosão Hídrica com Base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

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

MENDONÇA, H. F. P. *et al.* Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19; p. 1027-1038, 2014.

MITAS, L.; MITASOVA, H. Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, p. 505-516, 1998.

MITAS, L.; MITASOVA, H. Spatial Interpolation. In: LONGLEY, P. *et al.* **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**. [S. l.: s. n.], 1999. p. 481-492.

MITASOVA, H. *et al.* Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v. 10, n. 5, p. 629-641, 1996.

MOREIRA, M. C. *et al.* NetErosividade MG: erosividade da Chuva em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1349-1353, 2008.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. O. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], ano 14, v. 23, p. 223-243, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **State of World Soil Resources Report**. Rome, 2015.

PEDROSO NETO, J. C. **Solos da bacia hidrográfica do rio Uberaba**. 1. ed. Uberaba: Epamig Triângulo e Alto Paranaíba, 2013. 256 p.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. *In*: IMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: [s. n.], 2007. p. 3039-3046. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.16.01/doc/3039-3046.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2018.

RENARD, K.G. *et al.* **Predicting soil erosion by water**: a guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, US: Gov. Print Office, 1997.

ROLOFF, G.; DENARDIN, J. E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. **Resumos**. Florianópolis: SBCS, 1994. p. 150-151.

SILVA, M. M. A. P. M. **Efeitos naturais e antrópicos na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG utilizando técnicas de geoprocessamento**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2018.

STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., 1987, Marília. **Anais** [...]. Marília: ABGE; DAEE, 1987. p. 105-135.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 20.08. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F. *et al.* Potencial de erosão da Bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, 2010.

VALLE JUNIOR, R. F. *et al.* Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: an application to the environmental protection area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 14, p. 20-33, 2019.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Water Research Bulletin**, [s. l.], v. 11, p. 965-974, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

XU, L.; XU, X.; MENG, X. Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: a case study of Bohai Rim, China. **Catena**, Amsterdam, v. 100, p. 74-82, 2013.

Contribuição de Autoria

1 – Hygor Evangelista Siqueira

Tecnólogo em Gestão Ambiental, Dr., Pesquisador Autônomo

<https://orcid.org/0000-0003-2715-554X> • hygorsiqueira@yahoo.com.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Análise Formal, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Gener Tadeu Pereira

Bacharel em Estatística, Dr.

<https://orcid.org/0000-0002-3057-4115> • gener.t.pereira@unesp.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Administração do projeto, Escrita – revisão e edição

3 – Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Engenheira Agrônoma, Dra.

<https://orcid.org/0000-0001-8261-2470> • teresa.pissarra@unesp.br

Contribuição: Supervisão, Escrita – revisão e edição

4 – Marcilio Vieira Martins Filho

Engenheiro Agrônomo, Dr.

<https://orcid.org/0000-0002-3232-0637> • marcilio.martins-filho@unesp.br

Contribuição: Escrita – revisão e edição

5 – Carlos Alberto Araújo Campos

Geógrafo, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9318-7764> • carlos.campos@uftm.edu.br

Contribuição: Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Siqueira, H. E.; Pereira, G. T.; Pissarra, T. C. T.; Martins Filho, M. V.; Campos, C. A. A. Estimativa de perdas de solo na área de proteção ambiental do rio Uberaba. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1205-1226, 2022. DOI 10.5902/1980509841259. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509841259>.