

## Zoneamento de áreas vulneráveis a perda de solo na sub bacia hidrográfica à montante do parque das Águas de Caxambu (MG)

Os processos erosivos são influenciados pela chuva, infiltração, topografia, cobertura vegetal e natureza do solo sendo que sua medição é importante para o planejamento das bacias hidrográficas, auxiliado pelo uso das geotecnologias. Por isso, objetiva-se neste trabalho estimar a perda do solo na área à montante do Parque das Águas de Caxambu/MG, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, anos 2015 e 2019, aplicando-se a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) em função das mudanças do uso e cobertura da terra, além da identificação de áreas consideradas prioritárias para propor medidas de conservação do solo e da água. Para o cálculo dos fatores e confecção dos mapas utilizou-se das ferramentas QGIS 3.16 e SagaGis 7.8.1 e bases de dados Mappiomas e Classificação dos Solos Mineiros. Após a estimativa dos fatores e aplicação da EUPS verificou-se predomínio das classes “muito alta” (de 20 a 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e “extremamente alta” (> 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), já considerando a tolerância de perda para o tipo de solo da área de estudo. Esse predomínio está ligado principalmente à falta de práticas conservacionistas, identificando domínio das classes pastagem e mosaico e agricultura e pastagem, influenciadas pelo fator topográfico, intensidade e duração das chuvas devido à localização da cidade, região Serra da Mantiqueira, além do tipo de solo argissolo, que é propenso à erodibilidade. As classes pastagem e mosaico de agricultura e pastagem foram consideradas prioritárias para propor medidas conservacionistas. Assim, necessário planejamento no uso e manejo do solo, com o emprego de práticas conservacionistas, visando controlar a erosão hídrica.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica; Geoprocessamento; Solo; USLE/EUPS; Práticas conservacionistas.

## Zoning of areas vulnerable to soil loss in the upstream watershed of Águas de Caxambu Park (MG)

Erosive processes are influenced by rainfall, infiltration, topography, vegetation cover and soil nature, and its measurement is important for the planning of hydrographic basins, aided by the use of geotechnologies. Therefore, the objective of this work is to estimate the soil loss in the area upstream of the Parque das Águas de Caxambu/MG, in a Geographic Information System environment, years 2015 and 2019, applying the Universal Soil Loss Equation (EUPS) as a result of changes in land use and land cover, as well as the identification of priority areas for proposing soil and water conservation measures. To calculate the factors and make the maps, we used the Qgis 3.16 and SagaGis 7.8.1 tools and the Mappiomas and Mineiro Soil Classification databases. After estimating the factors and applying the EUPS, there was a predominance of the “very high” (from 20 to 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) and “extremely high” (> 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) classes, considering the loss tolerance for the soil type. This predominance is mainly linked to the lack of conservation practices, identifying the domain of the pasture and mosaic and agriculture and pasture classes, influenced by the topographic factor, intensity and duration of rainfall due to the location of the city, Serra da Mantiqueira region, in addition to the type of argisol soil, which is prone to erodibility. The pasture and agriculture and pasture mosaic classes were considered as priorities for proposing conservation measures. Thus, it is necessary to plan the use and management of the soil, with the use of conservation practices, in order to control water erosion.

**Keywords:** Water erosion; Geoprocessing; Soil; USLE / EUPS; Conservationist practices.

Topic: Engenharia da Sustentabilidade e Meio Ambiente

Received: 08/03/2022

Approved: 26/03/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Karine Inácio Magalhães**

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3624573777011739>  
[karine.magalhaes28@gmail.com](mailto:karine.magalhaes28@gmail.com)

**Felipe Bernardes Silva**

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0244633441883158>  
[prof.felipe.silva@unincor.edu.br](mailto:prof.felipe.silva@unincor.edu.br)

**Alisson Souza de Oliveira** 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6716188774645620>  
<https://orcid.org/0000-0001-7885-9542>  
[prof.alisson.oliveira@unincor.edu.br](mailto:prof.alisson.oliveira@unincor.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0015

### Referencing this:

MAGALHÃES, K. I.; SILVA, F. B.; OLIVEIRA, A. S.. Zoneamento de áreas vulneráveis a perda de solo na sub bacia hidrográfica à montante do parque das Águas de Caxambu (MG). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.3, p.185-199, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0015>

## **INTRODUÇÃO**

Um dos problemas ambientais de maior degradação do solo é a erosão hídrica, sendo que as chuvas, a topografia, o tipo de solo e a cobertura vegetal são fatores que influenciam o processo erosivo. Os modelos matemáticos ajudam a compreender, avaliar e analisar as implicações relacionadas ao impacto negativo correspondente à erosão hídrica (PRIMAVESI, 2017; GUERRA et al., 2015; LENSE et al., 2019).

Diante da importância na predição do fenômeno da erosão hídrica esses modelos matemáticos foram desenvolvidos objetivando estimar a perda de solo, como é o caso da EUPS, que contempla fatores da erosividade da chuva erodibilidade do solo, condição topográfica, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (WISCHMEIER et al., 1978; DURÃES et al., 2016).

O uso de programas computacionais, de igual forma, tornou-se método essencial para auxiliar nas questões relacionadas ao meio ambiente, tal como o uso do geoprocessamento aliado SIG, instrumentos importantes para o conhecimento da realidade, através de banco de dados que possibilitam o mapeamento de todo o local de interesse (FITZ, 2009; DURÃES et al., 2016; LENSE et al., 2019).

A cidade de Caxambu, situada no sul do estado de Minas Gerais, e escolhida para realizar o trabalho, necessita de gestão e planejamento ambiental em razão da constatação de solo degradado com processos erosivos, especialmente a região à montante do Parque das Águas.

Registre-se que no interior do referido Parque existe uma lagoa artificial com uma área total aproximada de 50.000 m<sup>2</sup> tendo como contribuinte principal o Ribeirão Bengo. Há anos a alusiva lagoa está em avançado processo de assoreamento, local de sedimentação de rejeitos sólidos provavelmente provenientes da área de interesse e que vem causando danos principalmente ao ecossistema local e ao setor turístico<sup>1</sup>.

Portanto, objetivou-se com este trabalho estimar a perda de solo na área à montante do Parque das Águas da cidade de Caxambu/MG, por meio da EUPS acoplada ao SIG, em função das mudanças do uso e cobertura da terra, nos anos de 2015 e 2019. Também objetivou-se identificar áreas consideradas prioritárias para propor medidas de conservação do solo e da água, viabilizando redução na produção de sedimentos que são transportados até o reservatório.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo localiza-se na região à montante do Parque das Águas da cidade de Caxambu, no Sul do estado de Minas Gerais (Figura 1). A cidade de Caxambu apresenta 100,20 km<sup>2</sup> de área, sob coordenadas geográficas 21°58'20" S e 44°56'20" W. Possui uma população estimada de 21.610 habitantes e o bioma é a Mata Atlântica<sup>2</sup>.

A cidade caxambuense Integra o Circuito das Águas e inserida no Corredor Ecológico da Serra da

<sup>1</sup> <http://www.fokro.com.br/index.php/elaboracao-de-estudos-e-projetos-ambientais>

<sup>2</sup> <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/caxambu/panorama>

Mantiqueira, sendo detentora da maior estância hidromineral, com suas 12 (doze) fontes de águas minerais carbogasosas<sup>1</sup>.

Registra-se que o Parque das Águas de Caxambu, denominado Doutor Lisandro Carneiro Guimarães, está sob o domínio da Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (CODEMGE) e tombado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais. Ele é banhado pelo Ribeirão Bengo, que tem aproximadamente 7 km de extensão, drenando uma área de 10 km<sup>2</sup>. No interior do parque existe uma lagoa artificial que está em processo de assoreamento, local de sedimentação de rejeitos sólidos, provavelmente provenientes da região à montante<sup>1</sup>.

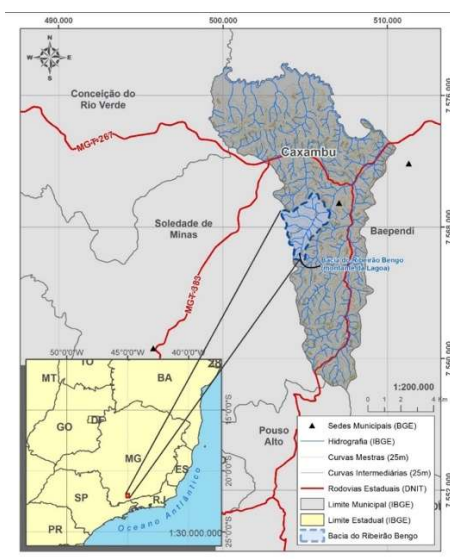


Figura 1: Localização da área de estudo.

Conforme classificação de Köppen e Geiger, o clima da região pode ser classificado como CWb, tropical de altitude, típico de áreas mais elevadas e regiões serranas. Possui temperatura média de 18,8° C, temperatura máxima anual de 27,1° C e índice pluviométrico anual correspondente a 1568,9 mm<sup>1</sup>.

## Base de Dados

Todos os mapas produzidos foram confeccionados em ambiente SIG por meio dos softwares QGIS 3.16 e SagaGis 2.1.4, tendo como imagem referência o Modelo Digital de Elevação (MDE), bem como uso do Sistema de Coordenadas Geográficas Sirgas 2000, UTM, zone 23S.

## Modelo Digital de Elevação

A imagem do MDE foi extraída da plataforma *Earth Explorer*, formato *raster*, via missão espacial SRTM (Missão Topográfica Radar *Shuttle*) e com resolução espacial de 30 metros, servindo de referência para a elaboração dos mapas deste trabalho. Todo o mapeamento foi feito com base no limite municipal, utilizando-se a sub bacia hidrográfica do Ribeirão Bengo como referência e posterior recorte da região à montante do Parque das Águas de Caxambu.

## Uso e Cobertura da Terra

Para a apresentação dos resultados relacionados ao uso e ocupação da terra foram utilizadas as imagens do Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (*MapBiomas*), Coleção 5.0, publicada em agosto de 2020, com seleção dos anos de 2015 e 2019. Acessando a plataforma Mapbiomas, opção “mapas e dados”, fez-se downloads dos arquivos em formato *raster*, transformadas para arquivo *shapefile* e posterior recorte da área de estudo em ambiente SIG. A legenda de cores e divisão das classes optou-se pela Coleção 5.0 e também estão disponíveis na plataforma em formato PDF, com identificação das classes, subclasses e ID numérico

## Classificação do Solo da Área de Estudo

Com relação à classificação do solo na área de estudo fez-se uso do mapa disponibilizado pela Fundação Espacial do Meio Ambiente (FEAM), elaborado no ano de 2010, disponibilizado no site do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

## Estimativa da Perda de Solo – Equação Universal de Perda de Solo

Para estimar a perda de solo foi escolhido o modelo matemático da EUPS, sendo expresso pela Equação 01, adotada por Wischmeier et al. (1978).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{Equação 1}$$

Onde, A é a perda de solo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ); R, o fator erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); K, o fator erodibilidade do solo ( $t \text{ ha}^{-1} / \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); L, o fator comprimento de rampa (adimensional); S, o fator declividade de encosta (adimensional); C, o fator uso e manejo do solo (adimensional); P, o fator práticas conservacionistas (adimensional).

Utilizando-se a Equação 1, os resultados para cada parâmetro foram obtidos através de álgebra de mapas e, a partir da multiplicação simples dos fatores em ambiente SIG, através da ferramenta *raster calculator*, calculou-se a perda do solo por erosão hídrica atual.

Com relação ao fator da erosividade da chuva, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Mello et al. (2013), considerada um modelo multivariado que calcula a erosividade média anual com base na regressão linear múltipla, em função da latitude, longitude e altitude, cujos dados são extraídos do modelo digital de elevação, em especial a altitude (BARROS, et al., 2018). Ele é expresso pela Equação 2.

$$R = -399433 + 420,49 \times A - 78296 \times LA - 0,0178 \times A^2 - 1594,04 \times LA^2 + 195,84 \times LO^2 + 17,77 \times LO \times A - 1716,27 \times LA \times LO + 0,1851 \times LO^2 \times A + 1,002 \times 10^{-5} \times LO^2 \times A^2 + 1,389 \times LO^2 + LA^2 + 0,01364 \times LA^2 \times LO^3 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: R é a erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ); LA, a latitude, em graus decimais negativos; LO, a longitude, em graus decimais negativo; A, a Altitude (m). Para a interpretação da erosividade da chuva, utilizou-se da interpretação proposta por Carvalho (1994), apud Matos (2015). A Tabela 1 demonstra a referida interpretação.

O valor da erodibilidade do solo, representado por K, foi extraído da literatura com relação a região mineira, especificamente na bacia hidrográfica do Rio Verde, sul de Minas Gerais, obtido no trabalho de Sá

et al. (2004) correspondente a  $0,033 \text{ t ha}^{-1} / \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para o tipo de solo argissolo (OLIVEIRA et al., 2014).

**Tabela 1:** Classe de interpretação da erosividade da chuva

Fator R ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ )	Classes de interpretação
< 2452	Baixa
2452 a 4905	Média
4095 a 7357	Média- Forte
7357 a 9810	Forte
>9810	Muito Forte

**Fonte:** Carvalho (1994).

No que se refere à interpretação do valor K ( $\text{t ha}^{-1} / \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) utilizando-se o método desenvolvido por Carvalho (1994), conforme Tabela 2.

**Tabela 2:** Classificação da erodibilidade

Fator K ( $\text{t ha}^{-1} / \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Classes de interpretação
< 0,0198	Baixa
0,019 a 0,040	Média
>0,040	Alta

**Fonte:** Carvalho (1994)

O cálculo dos fatores L e S foi feito com base na declividade e área de captação específica e processado nos Sistemas de Informação Geográfica *softwares* Saga Gis 7.8.1 e QGIS 3.16. Em ambiente SIG junto ao SAGA GIS e inserido o arquivo MDE como “imagem de elevação” e metodologia empregada por Wischmeier et al. (1978), utilizando o *LS calculator* do SAGA, gerou-se o mapeamento. A equação utilizada e processada pelo SAGA (Equação 3) do fator LS foi desenvolvida por Wischmeier et al. (1978) assim expressada:

$$LS = (L / 22,13)^m (65,41 \text{ sen}^2 \alpha + 4,56 \text{ sen} \alpha + 0,065) \quad \text{Equação 3}$$

Onde: L é comprimento do declive ou comprimento da encosta;  $\alpha$ , o ângulo de inclinação;  $m = 0,5$  se a inclinação percentual for 5 % ou mais, 0,4 em declives de 3,5 a 4,5 %, 0,3 em declives de 1 a 3 % e 0,2 em gradientes uniformes de menos de 1 %.

Para determinar o valor do fator C, utilizou-se como parâmetro valores fixados na literatura, encontrados no trabalho de Durães et al. (2016). Para a agricultura o valor foi extraído do trabalho desenvolvido por Bertoni et al. (2005); a pastagem retirou-se do trabalho de Silva (2004); a floresta o valor foi extraído do trabalho de Martins et al. (2010); o cerrado por meio de Farinasso et al. (2006); eucalipto por Martins et al. (2010), corpos hídricos e urbanização e solo exposto por Durães et al. (2016). A Tabela 3 estabelece os respectivos valores para cada classe de uso e cobertura da terra:

**Tabela 3:** Classes e valores do fator C

Classes de uso e cobertura da terra	Valor fator C
Agricultura	0,25
Pastagem	0,025
Floresta	0,00013
Cerrado	0,042
Eucalipto	0,0026
Corpos hídricos e urbanização	0,00
Solo exposto	1,00

**Fonte:** Durães et al. (2016).

Já o fator P, práticas conservacionistas, foi considerado o valor 1, tendo em vista a diversidade de

estudos indicando que as bacias hidrográficas adotam pouca ou nenhuma prática conservacionista para evitar a erosão hídrica, conforme Silva et al., (2017) apud Ozcan et al. (2008), Beskow et al. (2009) e Avanzi et al. (2013), Lee (2004) e Aziz et al. (2012).

Para a interpretação da perda de solo com relação a erosão hídrica atual utilizou-se da metodologia proposta por Beskow et al. (2009), extraída do trabalho de Durães et al. (2016), que divide as classes de solo em ligeira, ligeira a moderada; moderada; moderada a alta; alta; muito alta e extremamente alta.

Porém, para o presente trabalho, procedeu-se à modificação nas classes para o fim de inserir “urbanização e rios” com valor nulo (Tabela 4), tendo em vista que nessas áreas ocorrem pequena perda de solo por erosão hídrica (MATOS, 2015).

**Tabela 4:** Interpretação para perda de solo na erosão atual.

Classes de interpretação	Valores de perda de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Urbanização e rios	0
Ligeira	0-25
Ligeira a moderada	2,5-5
Moderada	5-10
Moderada a alta	10-15
Alta	15-25
Muito alta	25-100
Extremamente alta	>100

**Fonte:** Adaptado de Mello et al. (2016).

De modo a avaliar as perdas de solo acima dos limites de tolerância encontrados para a área de estudo, utilizou-se valores e interpretações disponibilizados na literatura, proposto por Bertoni et al. (1990), que atribuiu o valor de 6.6 (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) para o tipo de solo argissolo.

A partir do valor atribuído ao tipo de solo, em ambiente SIG, utilizou-se a ferramenta *raster calculator* para o cálculo da subtração dos dados da EUPS do valor 6.6 (SIQUEIRA, 2019) (Equação 4) com posterior reclassificação pela ferramenta “*reclassify*” em 6 classes de perdas consideradas toleráveis, de 0-5, 5-10, 10-20, 20-50 e maiores que 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, impondo prioridade nas áreas de maior perda de solo, com inclusão da faixa considerada tolerável de – 6.6 (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) a 0, divididas igualmente em 6 classes: dentro da tolerância, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta (Tabela 5).

$$TPS = EUPS - 6,6$$

Equação 4

Onde, TPS é a tolerância de perda de solo (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); EUPS, a equação universal da perda de solo; 6,6 = valor tipo de solo argissolo (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

**Tabela 5:** Interpretação perdas superiores à tolerância

Classes de perdas de solo superiores à tolerância (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Prioridade	Áreas prioritárias
-6,6 – 0	0	Dentro da Tolerância
0-5	1	Baixa
5-10	2	Média
10-20	3	Alta
20-50	4	Muito Alta
>50	5	Extremamente Alta

**Fonte:** Adaptado de Siqueira (2019).

### Validação dos Resultados

Para validar os resultados obtidos, foi utilizado o satélite CBERS-4A, sensor WPM (Câmera

Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), com resolução espacial de 2 metros, que se processou após a fusão das imagens. A imagem foi extraída do “catálogo de imagens” do INPE.

Na plataforma foi selecionado o município de Caxambu/MG, optando pelo nível de processamento L4, além das bandas PAN, *blue*, *green* e *red*, bem como PAN XL e XML, *green* XML; *blue* XML e *red* XML. A cena escolhida e baixada é datada de 08/08/2020.

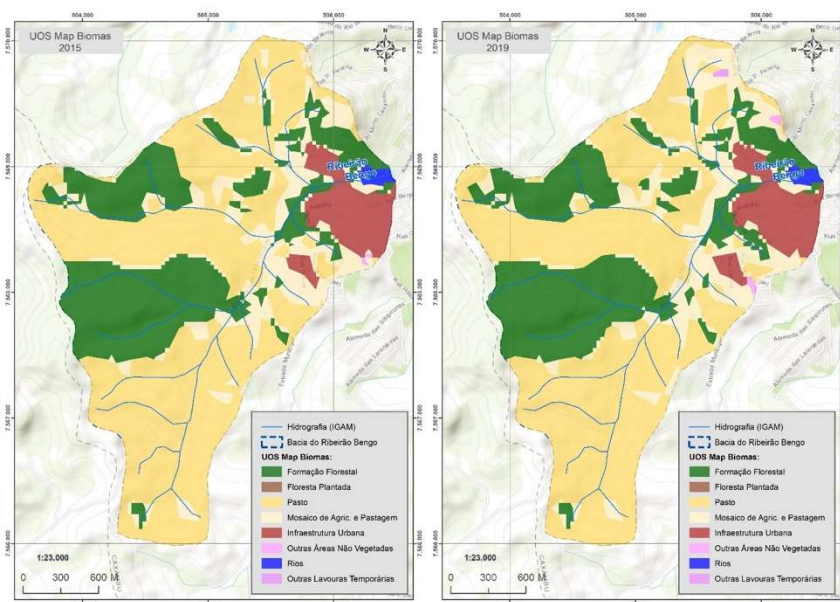
Em ambiente SIG, com acesso à imagem do município baixada do INPE, bem como das bandas 1 (*blue*), 2 (*green*), 3 (*vermelha*) e 0 (*pancromática*) fez-se a composição colorida RGB (*red*, *green* e *blue*) e subsequente fusão da imagem por meio da ferramenta “*Creat Pan Shapenet Raster Dataset*”.

Em sequência, fez-se o recorte para a área de interesse e ulterior sobreposição da imagem do satélite CBERS-4A possibilitando a visualização da cena com imagem considerada de alta resolução e subsequente implantação de medidas consideradas conservacionistas visando a redução da perda de solo pela erosão hídrica. Com o uso da imagem satélite CBERS-4 A, visita a campo foi feita em data de 21/03/2021 para visualizar áreas degradadas e validar a metodologia utilizada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Uso e Cobertura da Terra na Área de Estudo

Foram encontradas 7 classes de uso e cobertura da terra para a área de estudo sendo elas, formação florestal, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, rios e outras lavouras temporárias (Figura 3 e Tabela 6).



**Figura 3:** Uso e ocupação da terra na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bengo à montante do Parque das Águas de Caxambu/MG, anos 2015 e 2019.

A Tabela 6 demonstra que em uma área de 611 ha o uso da pastagem domina com mais da metade da área de estudo, totalizando 318,89 ha para o ano de 2015 e 300,17 ha para o ano de 2019. Apesar da diminuição de um ano para o outro, deve-se considerar que a classe mosaico de agricultura e pastagem, que corresponde “área de agropecuária, não podendo distinguir o que se trata de pastagem e agricultura”,

segundo dados do MapBiomias, aumentou de 2015 para 2019, respectivamente 90,92 ha e 103,24 ha.

**Tabela 6:** Área do uso de ocupação da terra, anos 2015 e 2019.

Classes	Área (ha) 2015	Área (ha) 2019
Pastagem	316,89	300,17
Mosaico de Agricultura e Pastagem	90,92	103,24
Formação Florestal	161,81	164,36
Outras Áreas Não Vegetadas	0,41	1,20
Outras Lavouras Temporárias	-	0,63
Rios	3,25	3,08
Infraestrutura Urbana	38,29	38,86
Total	611,57	611,55

**Fonte:** MapBiomias, 2019.

A classe pastagem necessita de atenção, por ser predominante, com adequado manejo de modo a evitar impacto ambiental negativo e redução da produtividade, que compromete a rentabilidade e sustentabilidade. (BERTONI et al., 2017 e FREITAS et al., 2016).

Outro ponto preocupante na área de estudo se refere ao aumento da infraestrutura urbana, correspondendo a 38,29 ha para o ano de 2015 e 38,86 para o ano de 2019. Conforme dizem Hipólito et al. (2017) e Almeida et al. (2016) a urbanização exerce influência na permeabilidade da água, sendo que a substituição de um tipo de cobertura vegetal por outro também sofrerá interferência, acarretando também aumento de resíduos sólidos e subsequente arraste de sedimentos aos cursos d'água que comprometem a qualidade da água, além de causar enchentes e assoreamento de rios e lagoas.

### Fator Erosividade da Chuva

Após proceder o cálculo em ambiente SIG, utilizando a metodologia desenvolvida por Mello et al., (2013), usando a Equação 2, obteve-se valores da erosividade da chuva que variam de 6.921,39 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 7.244,97 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 4).

Conforme Tabela 1 que expõe a classe de interpretação da erosividade da chuva, proposta por Carvalho (1994), os valores aqui encontrados estão na classe compreendida como “média forte”, já que está entre 4905 e 7357 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Referidos valores demonstram que os locais com maior altitude possuem o valor do fator R mais elevado, em decorrência provável da influência orográfica, proveniente da presença da serra da Mantiqueira (MELLO et al., 2013 e MELLO et al., 2012), sendo, portanto, considerado alto. Logo, significa que a variável na cidade de Caxambu tem maior potencial em provocar erosão hídrica.

Por isso, a importância da biomassa vegetal no solo, impactando maior infiltração da água, redução do escoamento superficial e consequentemente diminuição de partículas arrastadas para o fundo de rios e lagoas, cujos sedimentos provocam o assoreamento desses cursos d'água (BERTONI et al., 2017).

### Fator Erodibilidade do Solo

A classe de solo existente na área de interesse encontrou-se valor de referência na literatura para a erodibilidade, obtido no trabalho de Sá et al. (2004) correspondente a 0,033 t ha<sup>-1</sup>/MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> para argissolo. Partindo-se da interpretação da erodibilidade do solo proposta por Carvalho (1994), conforme



Tabela 2, verifica-se classe de potencial à erodibilidade como “média”, enquadrado no parâmetro de 0,0198 a 0,040.

O tipo de solo existente na localização do estudo, argissolo vermelho distrófico típico, conforme mapeamento disponibilizado pela FEAM (2010), é propenso em locais com relevo ondulado, apresentando baixa fertilidade, acidez elevada e horizonte B argiloso, implicando na infiltração da água o que leva a ser mais suscetível à degradação do solo, exigindo manejo adequado com adoção de correção, adubação e práticas conservacionistas (SANTOS, et al., 2018).

### Fatores Comprimento de Rampa (L) e Declividade (S)

A partir do MDE e Equação 3, obteve-se resultados associados ao fator LS, também conhecido como fator topográfico (PRUSKI, 2009), indicando valores variando de 0,0650195 a 179,547 (valores adimensionais) para a área estudada.

Conforme se observa da Figura 4, identifica-se que os menores valores encontrados estão distribuídos nas áreas de menor altitude, ao passo que os maiores quantitativos estão localizados nas áreas de maior altitude, e correspondem maior comprimento de rampa, resultando na interpretação que a energia da água é capaz de desagregar e arrastar sedimentos quando se movem no sentido do declive (GUERRA et al. 2015; BERTONI et al., 2017 e LIMA et al., 2018).

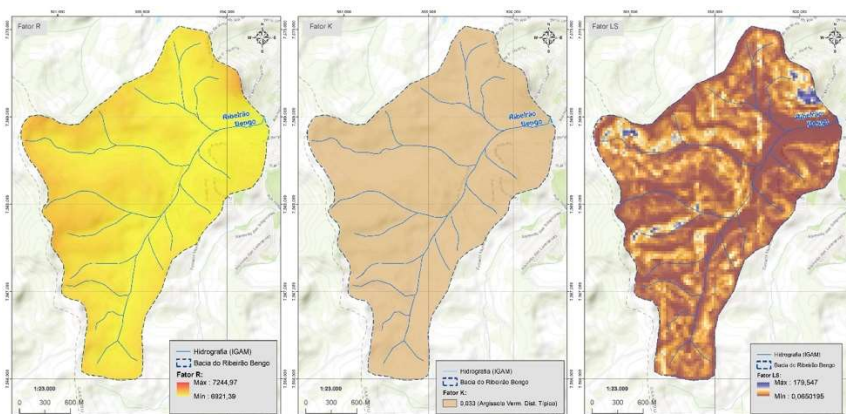


Figura 4: Mapas Fatores R, K e LS.

### Fatores Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Como os fatores C e P estão relacionados ao uso e manejo da terra, podendo variar anualmente, ambos devem ser analisados conjuntamente, tendo em vista que o trabalho enfoca a estimativa de perda de solo por erosão. Diferentemente dos demais parâmetros, esses fatores estão influenciados pela ação antrópica não sendo dependentes apenas das condições naturais. (SILVA, et al., 2017).

Como o fator C está relacionado ao uso e cobertura da terra, os dados do MapBiomass e valores da literatura serviram de base para verificar o parâmetro. Para Oliveira et al. (2014), os valores mais próximos de 1 referem-se a solos com maior degradação.

Com os dados disponibilizados na literatura (Tabela 3), em ambiente SIG e criação da tabela de atributos, gerou-se os mapas do Fator C, anos 2015 e 2019 (Figura 5). A partir dos resultados gerados,

considerando os valores do fator C, e em comparação aos dados do MapBiomias, verifica-se que na área de interesse à montante do Parque das Águas apresenta uso e cobertura da terra diversificado, com predomínio das áreas de pastagem, mosaico de agricultura e pastagem e infraestrutura urbana.

Já as práticas conservacionistas, representadas pelo fator P, o valor considerado foi igual a 1 em virtude escassez de práticas conservacionistas. De fato, foram observadas, através das imagens satélites e visita a campo, poucas técnicas dessa natureza para a área de interesse, podendo citar práticas conservacionistas de caráter vegetativo, tal como florestamento, que se trata de reserva florestal, o chamado “Horto Florestal”, pertencente ao IEF, além da pastagem, porém, esta encontra-se degradada.

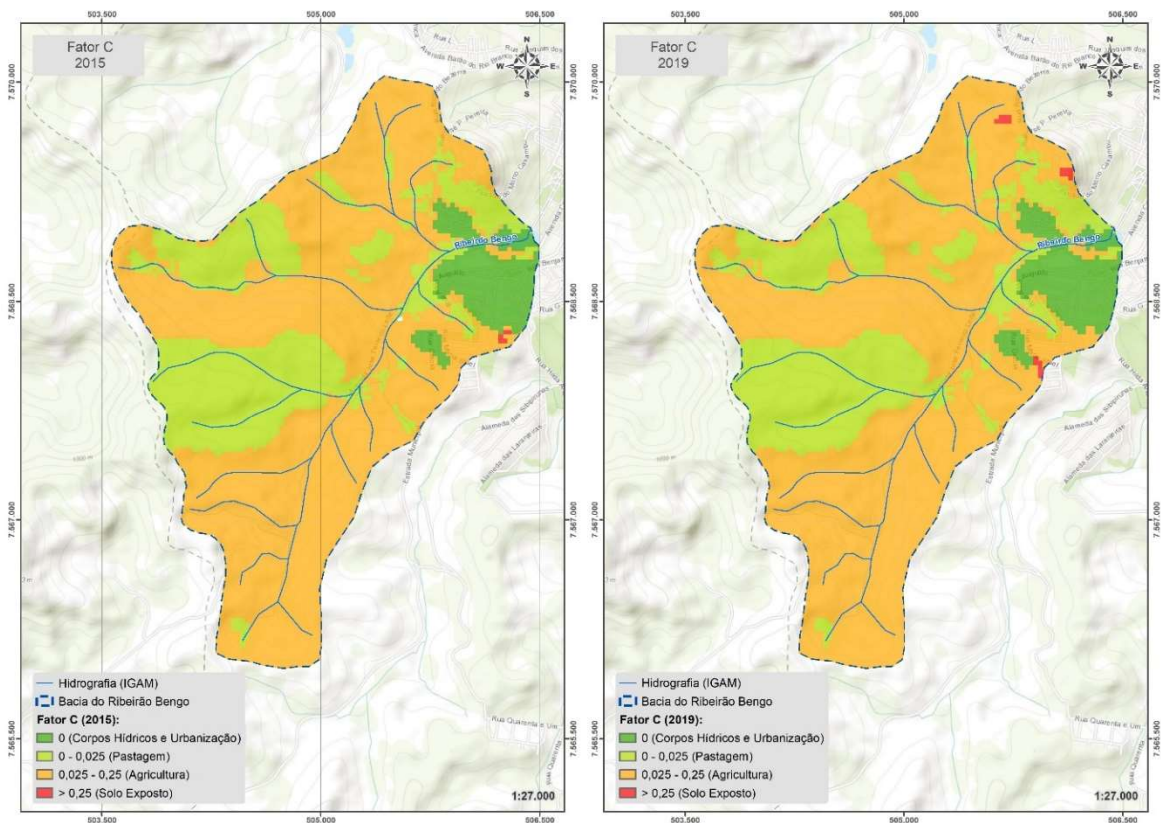


Figura 5: Mapa do Fator C, anos 2015 e 2019.

### Erosão Hídrica Atual e Identificação de Áreas Prioritárias Acima do Limite de Tolerância de Perda de Solo Para Implantação de Práticas Conservacionistas

Para a erosão atual, em que se baseia na multiplicação das variáveis da erosividade da chuva, erodibilidade do solo, fator topográfico, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, aplicando-se a metodologia proposta por Beskow et al. (2009), conforme Tabela 4, delimitando valores de perda do solo e correlacionando as classes de interpretação e a porcentagem de área de cada classe, denota-se predomínio das classes “ligeira” e “muito alta” nos anos de 2015 e 2019 (Tabela 7).

Para a classe “ligeira”, numa área de 1,85 km<sup>2</sup> conta um percentual de 30% para o ano de 2015 e, para o ano de 2019, com pequena variação, registra uma área de 1,87 km<sup>2</sup> e percentual de 31%. No que se refere à classe “muito alta” e de maior preocupação para a municipalidade a nível de planejamento e conservação ambiental, uma área de 2,41 km<sup>2</sup>, consta um percentual de perda de solo de 40% para o ano de 2015. No ano de 2019, de igual maneira, na área de 2,39 km<sup>2</sup>, registra-se um percentual de 39% de estimativa

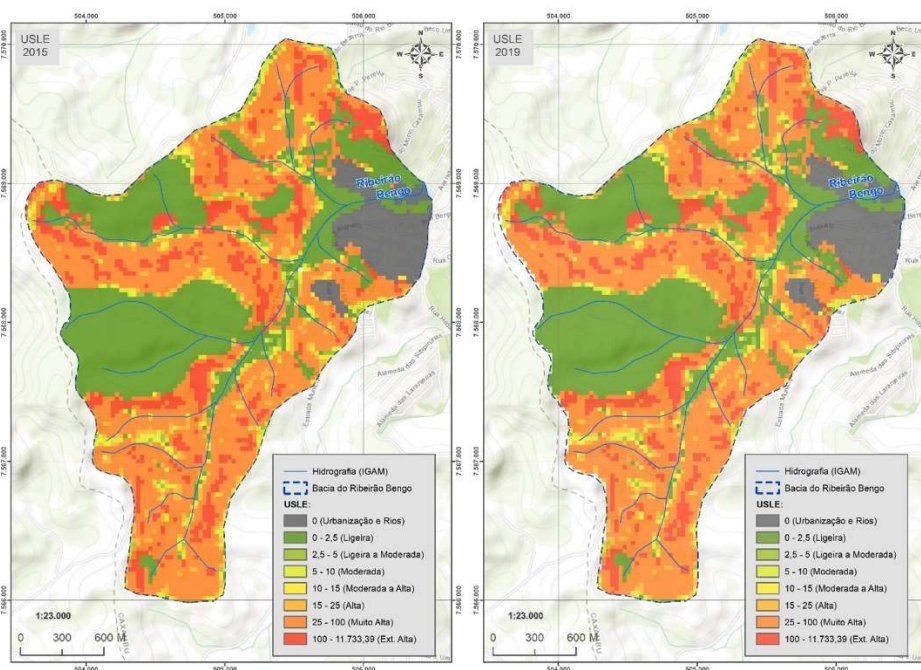
de perda de solo por erosão hídrica.

Os números podem ser identificados através do mapeamento, com a sobreposição de mapas, fatores R, K, LS, C e P, realizado pelo *software* QGIS 3.16, possibilitando analisar as áreas com maior perda de solo por erosão hídrica (Figura 6).

**Tabela 7:** Estimativa de perda de solo pela erosão hídrica para os cenários dos anos de 2015 e 2019.

USLE ou EUPS	Classes	Área (km <sup>2</sup> ) 2015	Porcentagem 2015	Área (km <sup>2</sup> ) 2019	Porcentagem 2019
0	Urbanização e rios	0,41	7%	0,41	7%
0 – 2,5	Ligeira	1,85	30%	1,87	31%
2,5 – 5	Ligeira a moderada	0,09	1%	0,09	2%
5 – 10	Moderada	0,16	3%	0,16	3%
10 – 15	Moderada a alta	0,15	2%	0,15	3%
15 – 25	Alta	0,34	6%	0,33	5%
25 – 100	Muito Alta	2,41	40%	2,39	39%
> 100	Extremamente Alta	0,67	11%	0,67	11%

Fonte: Adaptado de Beskow et al. (2009).



**Figura 6:** Mapas USLE, anos 2015 e 2019.

Observando a interpretação da perda de solo e as respectivas áreas mapeadas, verifica-se que os valores altos, enquadrados como “muito alta” e que se encontram nas zonas alaranjadas, trata-se de locais em que o uso da terra é predominantemente de pastagens e mosaico de agricultura e pastagem, com predomínio da classe pastagem, em se considerando os dados do mapeamento Mapbiomas de uso e cobertura da terra (Figura 3).

Algumas áreas com maior perda de solo causada pela erosão hídrica também se encontram em terrenos com altitude elevada, baseado no MDE e resultados do fator LS, além da área concentrar-se em tipo de solo argissolo propenso à erodibilidade. Referente à estimativa de perda de solo pela erosão hídrica acima dos limites de tolerância está apresentada na Tabela 8 e mapeamento Figura 7.

A Tabela 8 e Figura 7 demonstram que 39,52% no ano de 2015 e 39,56% no ano de 2019 encontram-se na faixa dentro da tolerância de perda de solo. Conforme os dados do MapBiomias, verifica-se que se tratam de

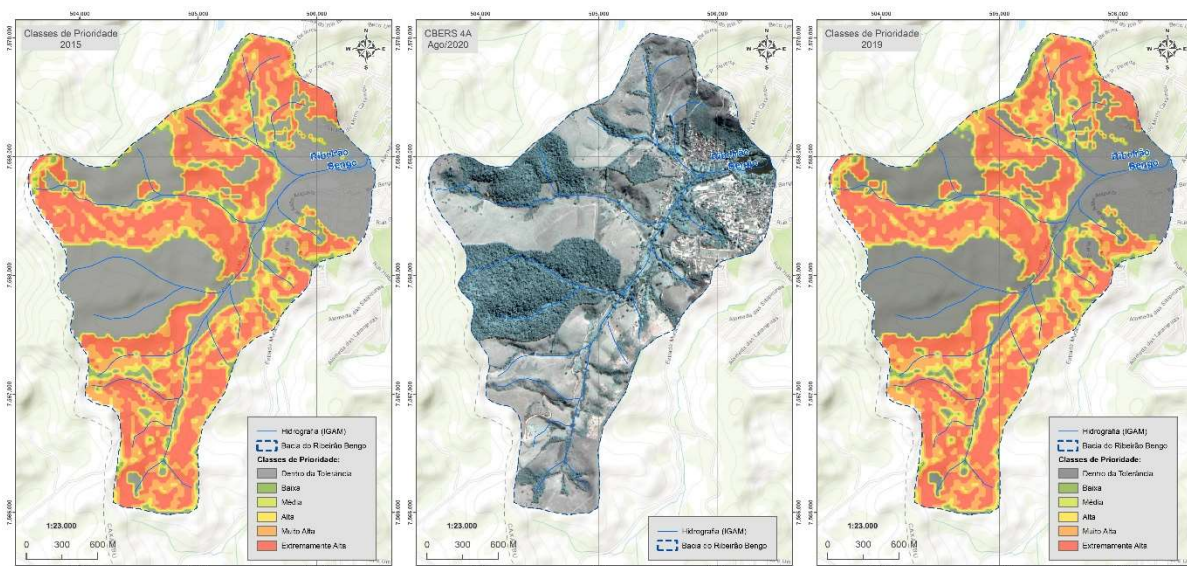
classes de uso de formação florestal, infraestrutura urbana e cursos d'água que estão identificadas no mapa em cor cinza escura.

Porém, as classes acima do limite de tolerância, “muito alta” e “extremamente alta”, que merecem atenção do Poder Público e da população, destacaram. A classe “muito alta” está estimada no percentual de 19,49% para o ano de 2015 e 19,25 % para o ano de 2019, ambas na faixa de 20-50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já na faixa maiores que 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que se refere à classe “extremamente alta”, consta percentual de 30,39 % para o ano de 2015 e 30,28% com relação ao ano de 2019.

**Tabela 8:** Estimativa de perda de solo por erosão hídrica dentro e acima dos limites de tolerância para a área de interesse.

Perda de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classes de prioridade	Área (ha) 2015	% do total 2015	Área (ha) 2019	% do total 2019
- 6,6 - 0	Dentro do limite tolerância	0,24	39,52%	2,43	39,56%
0 – 5	Baixa	0,16	2,59%	0,16	2,56%
5 – 10	Média	0,15	2,49%	0,15	2,49%
10 – 20	Alta	0,34	5,53%	0,33	5,47%
20 – 50	Muito alta	1,19	19,49%	1,17	19,25%
>50	Extremamente alta	1,85	30,39%	1,84	30,28%

**Fonte:** Adaptado de Siqueira (2019).



**Figura 7:** Áreas prioritárias para implantação de práticas de conservação do solo e da água, 2015 e 2019.

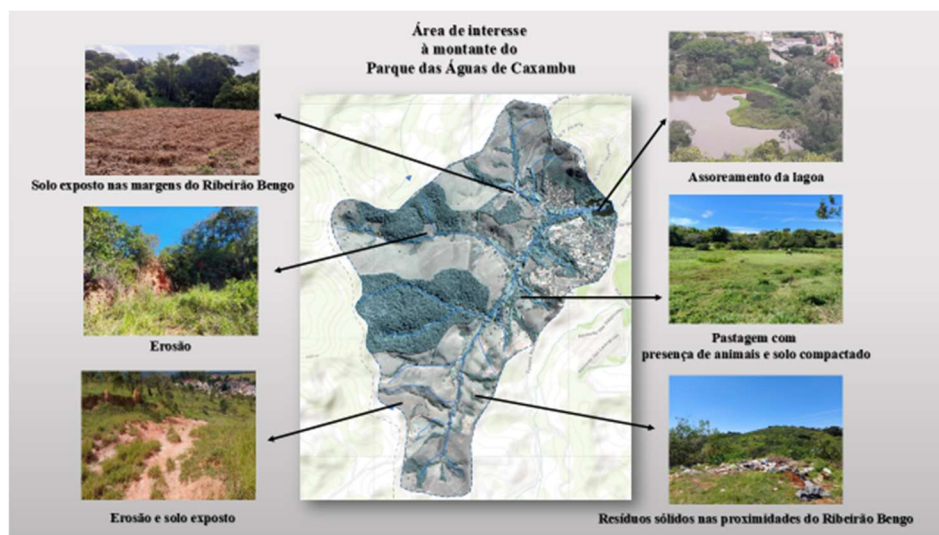
O trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2014), na bacia hidrográfica do Rio Verde, Sul de Minas Gerais, da mesma forma apresentou estimativa alta para perda de solo, semelhantes aos aqui encontrados. Os resultados mostraram que os solos da bacia do rio Verde apresentam vulnerabilidade muito alta à erosão hídrica, com percentual de 58,68% da perda de solo nas classes "alta" a "extremamente alta". Resultados semelhantes com relação ao trabalho de Durães et al. (2016), junto à Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí/MG, em que nas áreas de maior altitude teve-se a predominância da classe “muito forte”, influenciado pelo fator erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico.

Os resultados do presente estudo demonstram que a perda de solo pela erosão hídrica constitui um problema ambiental municipal, porquanto averiguou-se escassez de concretização de políticas públicas e gestão ambiental, sendo que o manejo e uso da terra de forma regular e sustentável é medida apta a desempenhar boas condições ambientais e socioeconômicas. As áreas com maiores valores tornam-se

indicativos de locais a serem definidos como prioritários para conservação do solo e da água, que se trata de áreas de classe pastagem e mosaico de agricultura e pastagem.

Com relação à pastagem, principal forma de uso da terra no país e também a principal forma de degradação, é classe importante tanto para as zonas urbanas como para zonas rurais, porque impacta positiva ou negativamente na economia, seja com relação à agricultura e pecuária, seja na preservação do meio ambiente, razão pela qual necessita de manejo adequado do uso da terra com adoção de políticas públicas de forma mais sustentável para o fim de manter a fertilidade do solo. (ALMEIDA, et al., 2016).

Após as imagens geradas por meio do uso das geotecnologias e visita a campo na região à montante do Parque das Águas, realizada em data de 21/03/2021, locais com impacto ambiental negativo foram diagnosticados, tais como erosão, matas ciliares não conservadas, solo exposto, presença de animais com evidência de pisoteio, cupins demonstrando solo ácido e resíduos sólidos nas margens do Ribeirão Bengo (Figura 8).



**Figura 8:** Áreas degradadas identificadas na área de estudo e prioritárias para a implantação de medidas de conservação do solo e da água.

Tendo em vista que a maior parte da área de estudo é considerada área rural, contendo solo do tipo argissolo, com predominância das classes pastagem e mosaico de agricultura e pastagem, locais com declive acentuado e montanhosos, algumas práticas conservacionistas são mais apropriadas para proceder à redução do escoamento superficial da água sobre o solo e maior infiltração hídrica, evitando a erosão e recompondo áreas degradadas.

Trata-se de uso conjunto de práticas conservacionistas edáficas, vegetativas e mecânicas, tais como calagem, adubação verde, florestamento, terraceamento, curvas de nível e aquelas que atendem ao desenvolvimento sustentável, quais sejam, Integração Lavoura Pecuária (ILP), Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) e Sistema Agroflorestal (SAF) (LEPSCH, 2011; WADT, 2013; JUNQUEIRA et al., 2013).

Como método vegetativo de prática conservacionista que ocasiona redução de perda de solo pode-se citar a implantação da reserva legal em conjunto com área de preservação permanente que reduz o potencial de ocorrência de erosão laminar em microbacias, estimando-se redução significativa da erosão de

20% até 80% (LIMA et al., 2018).

De qualquer forma, para se obter resultados esperados de maneira sustentável, aconselhável a realização de um diagnóstico ambiental, plano de recuperação, execução e monitoramento, cuja implantação dependerá de análise de profissional agrônomo e análise química do solo, além da observância das normas ambientais estabelecidas especialmente no Novo Código Florestal, Lei nº 12.251/2012, relacionados às áreas de preservação permanente, bem como a Lei nº 12.305/2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, correlativo à destinação dos resíduos sólidos (POLETO, 2015).

## CONCLUSÕES

Os expressivos valores estimados de perda de solo nos anos de 2015 e 2019, já considerando a tolerância de perda de solo do tipo argissolo, variando na estimativa de perda de solo na faixa “muito alta” no percentual de 19,49% para o ano de 2015 e 19,25% para o ano de 2019 e, na faixa maior que 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, na faixa “extremamente alta”, uma porcentagem de 30,39 % para o ano de 2015 e 30,28% com relação ao ano de 2019, podem ser considerados causa do assoreamento da lagoa artificial localizada no interior do Parque das Águas situado na cidade de Caxambu.

O uso da EUPS em ambiente de SIG foi favorável e ágil à compreensão do problema ambiental, sendo método viável capaz de compreender os fatores que contribuem para o processo erosivo, indicando que a área de estudo necessita de planejamento ambiental.

As classes pastagem e mosaico de agricultura e pastagem, predominantes na área de estudo, encontram-se degradadas e exigem aplicação de práticas conservacionistas, sendo consideradas prioritárias para proceder a implantação de medidas de conservação do solo e da água.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. A.; BERTOL, I.. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.657-668, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-0683200000300018>

ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A.. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1110-1119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>.

BARROS, E. N. S.; VIOLA, M. R.; JESSICA, A. M. R.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C.; GIONGO, M.. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira Ciência Agrária**. Recife, v.13, n.1, e5509, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5509>.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N.. **Conservação do solo**. 7 ed. Ícone: São Paulo, 2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: DOU, 1988.

BRASIL. **Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: DOU, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.561, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: DOU, 2012.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.4, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.. Comportamento de recarga de águas subterrâneas com base em hidrogramas de escoamento superficial em duas bacias do estado de Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**. v.8, n.2, p.57-66, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1127>.

FITZ, P. R.. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

MINAS GERAIS. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M.. **Erosão e conservação dos solos**. 10 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

HIPÓLITO, J. R.; VAZ, A. C.. **Hidrologia e recursos hídricos**. 3 ed. Lisboa: IST Press, 2017.

JUNQUEIRA, A. C.; SCHLINDWEIN, M. N.; CANUTO, J. C.; NOBRE, H. G.; SOUZA, T. J. M.. Sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, n.1, p.102-115, 2013.

LENSE, G. H. E.; PARREIRAS, T. C.; MOREIRA, R. S.; AVANZI, J. C.; MINCATO, R. L.. Estimates of soil losses by the erosion potential method in tropical latosols. **Revista Ciência e Agroecologia**, v.43, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943012719>.

LEPSCH, I. F.. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEPSCH, I. F.. **Formação e conservação dos solos**. 10 ed. São Paulo: Ícone, 2017.

LIMA, G. S A; FERREIRA, N. C; FERREIRA, M. E.. Modelagem da perda superficial de solo para cenários de agricultura e pastagem na região metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.70, n.4, p.1510-1536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46513>.

MATOS, T. V. S.. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v.37, n.1, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100004>

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D.. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil.

**Geoderma**, Amsterdam, v.202/203, p.88-102, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.009>.

OLIVEIRA, V. A.; MELLO, C. R.; DURÃES, M. F.; SILVA, A. M.. Vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Verde, sul de Minas Gerais. **Ciência e Agroecologia**. v.38, n.3, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000300006>.

POLETO, C.. **Introdução ao gerenciamento ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

RPIMAVESI, A. M.. **Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2017.

PRUSKI, F. F.. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa., 2009.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. A.; OLIVEIRA, V. A. O.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. O.; CUNHA, J. F. C.. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SIQUEIRA, H. E.. **Identificação de áreas para conservação do solo e da água na área de proteção ambiental do rio Uberaba com geoprocessamento**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2019.

SMITH, D. D.; WISHMEIER, W. H.. **Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department Agriculture, 1978.

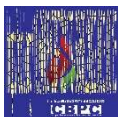
SOARES, S. A.. **Gestão de recursos hídricos**. Curitiba: InterSaberes, 2015.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 2015.

WADT, P. G. S.. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2013.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*

<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157801104778461185/>