

## **Uso de sistema de informação geográfica para determinação do potencial erosivo de bacias hidrográficas: estudo de caso na bacia do Rio do Campo/PR**

A erosão do solo pela água é um dos mais importantes problemas de degradação e risco ambiental nos tempos modernos, em todo o mundo, pois remove ricos nutrientes do solo e aumenta o nível natural de sedimentação em rios e reservatórios, reduzindo sua capacidade de armazenamento, bem como causando degradação da qualidade da água. O presente estudo teve como objetivo estimar a perda de solos na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR, através da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) com o apoio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O levantamento dos fatores da USLE se mostrou um excelente meio de obter dados necessários para o diagnóstico das condições da bacia em estudo, observando-se que em 48,1% da bacia hidrográfica do Rio do Campo a perda de solo foi classificada entre 0 e 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A perda em grandes quantidades de solo se apresenta em pequenas porcentagens em relação à área total da bacia, abrangendo somente 2,57% da área com valores entre 300 e 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 1,26% da área com perdas maiores de 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apesar das maiores perdas ocorrerem nas menores áreas analisadas, torna-se importante a identificação destas, pois demonstram as respectivas susceptibilidades aos danos provocados pelas perdas de solo na bacia. Assim, quantificar a perda de solo se torna extremamente importante para o planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica, sendo uma excelente ferramenta de subsídio para o manejo de uso do solo e a gestão dos recursos ambientais.

**Palavras-chave:** Equação Universal da Perda de Solos; Erosão; Perda de Solo; QGIS.

## **Use of geographical information system for determining the erosive potential of hydrographic basins: Case study in the Rio do Campo/PR Basin**

Soil erosion by water is one of the most important problems of environmental degradation and risk in modern times, worldwide, because it removes rich nutrients from the soil and increases the natural level of sedimentation in rivers and reservoirs, reducing their storage capacity, as well as causing degradation of water quality. The objective of the present study was to estimate soil loss in the Rio do Campo/PR basin, through the Universal Soil Loss Equation (USLE) with support from the Geographic Information System (GIS). The survey of USLE factors proved to be an excellent way of obtaining necessary data for the diagnosis of the basin conditions under study, observing that in 48.1% of the Rio do Campo/PR basin the soil loss was classified as 0 and 10 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The loss of large amounts of soil occurs in small percentages in relation to the total area of the basin, covering only 2.57% of the area with values between 300 and 450 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> and 1.26% of the area with losses greater than 450 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. Although the largest losses occur in the smallest areas analyzed, it is important to identify them, as they demonstrate the respective susceptibilities to the damages caused by soil losses in the basin. Thus, quantifying soil loss becomes extremely important for the environmental planning of a river basin, being an excellent subsidy tool for land use management and environmental resource management.

**Keywords:** Universal Soil Loss Equation; Erosion; Soil Loss; QGIS.

Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**

Received: **12/04/2019**

Approved: **27/05/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Pauline Gottstein** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4413757821248620>  
<http://orcid.org/0000-0002-6668-544X>  
[paulinegottstein@gmail.com](mailto:paulinegottstein@gmail.com)

**Marcos Antonio Borges Junior** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2211050498942359>  
<http://orcid.org/0000-0001-6767-1966>  
[marcosabjr@outlook.com](mailto:marcosabjr@outlook.com)

**Eudes José Arantes** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5368039952110556>  
<http://orcid.org/0000-0002-7684-3069>  
[eudesarantes@gmail.com](mailto:eudesarantes@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0030

### **Referencing this:**

GOTTSTEIN, P.; BORGES JUNIOR, M. A.; ARANTES, E. J.. Uso de sistema de informação geográfica para determinação do potencial erosivo de bacias hidrográficas: estudo de caso na bacia do Rio do Campo/PR. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.3, p.352-367, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0030>

## INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo gradual que ocorre naturalmente quando o impacto da água separa e remove as partículas do solo, causando sua deterioração. Quando ocorre como erosão geológica ou natural, é um componente importante da evolução do ecossistema físico e do desenvolvimento das paisagens. No entanto, quando ocorre como erosão antrópica ou acelerada, pode afetar a qualidade do solo e dos recursos hídricos (CASSOL et al., 2018; EL JAZOULI et al., 2017; SILVA et al., 2017).

A erosão do solo pela água é um dos mais importantes problemas de degradação e risco ambiental nos tempos modernos, em todo o mundo. É um dos problemas mais sérios, pois remove ricos nutrientes do solo e aumenta o nível natural de sedimentação em rios e reservatórios, reduzindo sua capacidade de armazenamento, bem como causando degradação da qualidade da água (DEVATHA et al., 2015; EL JAZOULI et al., 2017; EL JAZOULI et al., 2019).

No campo, onde o setor agrícola demonstra a sua grande importância para o estado do Paraná, é comum observar a desagregação do solo após uma chuva intensa, principalmente onde existe solo descoberto. Nas áreas urbanas, devido às mudanças abruptas do ambiente resultantes das atividades antrópicas, a erosão pode ser observada em pontos de descarte de águas pluviais, resultantes da impermeabilização de grandes áreas (FREITAS NETTO et al., 2018; VIEL et al., 2017).

A previsão da susceptibilidade à erosão do solo e a verificação das principais fontes de erosão em uma área constituem o começo da escolha de estratégias adequadas para o controle da erosão. Um bom manejo de perdas de solo é, portanto, necessário para reduzir a degradação do solo e a baixa qualidade da água devido ao assoreamento, sedimentação e contaminação (AUERSWALD et al., 2014; DEVATHA et al., 2015; HAREGEWEYN et al., 2017; VIEL et al., 2017).

A alocação de recursos limitados para a conservação exige mapeamento, monitoramento e priorização de áreas de acordo com sua suscetibilidade à erosão. Este requisito destaca a necessidade de ferramentas analíticas que podem modelar a erosão do solo em escalas regionais (HAREGEWEYN et al., 2017).

A Equação Universal de Perda de Solo – USLE (WISCHMEIER et al., 1978) é o modelo mais utilizado para predições de erosão do solo. O método USLE permite estimar a erosão com base no padrão de precipitação, tipo de solo, topografia, condições de uso e cobertura do solo e práticas de manejo. Quando aplicada por meio de geotecnologias livres e gratuitas, reduz drasticamente os gastos de execução do estudo, permitindo ainda, a elaboração de mapas temáticos como instrumento de investigação sobre os processos erosivos, tendo como unidade base de planejamento a bacia hidrográfica (AUERSWALD et al., 2014; BRASIL et al., 2017; DEVATHA et al., 2015; PHAM et al., 2018; SILVA et al., 2017).

Nos últimos anos, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se ferramentas úteis para o gerenciamento de recursos naturais, facilitando a aplicação do método USLE em várias escalas, pois permitem a manipulação de dados de diversas fontes, de maneira fácil e eficiente, integrando-os em uma única base de dados (EL JAZOULI et al., 2017; PHAM et al., 2018; SILVA et al., 2017).

Neste contexto, diversos trabalhos foram desenvolvidos no meio acadêmico e científico visando estimar a perda de solos com base na USLE e suas variações. Tais trabalhos constituem a expressão de diferentes concepções em relação ao tema ao redor do mundo, dentre eles, Graça et al. (2015), Oliveira et al. (2015), Devatha et al. (2015), Ali et al. (2016), Belasri et al. (2016), Costa et al. (2016), El Jazouli et al. (2017), Silva et al. (2017), Pham et al. (2018), Schmidt et al. (2019), entre outros. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo estimar a perda de solos na bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR, utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), a fim de subsidiar a gestão e o planejamento ambiental da área de estudo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Rio do Campo integra a bacia do Rio Mourão, que compõe por sua vez a bacia hidrográfica do Rio Ivaí (Figura 1). A bacia em estudo ocupa uma área de 384 km<sup>2</sup>, sendo 247 km<sup>2</sup> no município de Campo Mourão e 137 km<sup>2</sup> no município de Peabiru, localizada entre as coordenadas, 23° 53' e 24° 10' de Latitude Sul e 52° 15' e 52° 31' de Longitude Oeste, no estado do Paraná (CRISPIM et al., 2012). O substrato rochoso dessa bacia é composto predominantemente por rochas ígneas da Formação Serra Geral e por arenitos da Formação Caiuá (SILVA et al., 2016).

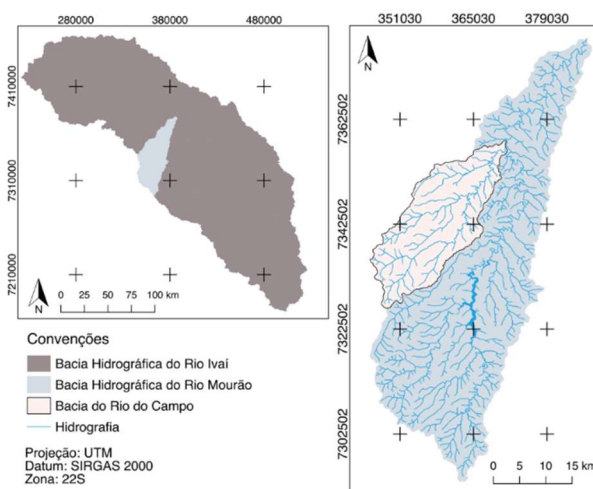


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio do Campo, inserida na bacia hidrográfica do Rio Ivaí.

Para determinação do potencial erosivo da área de estudo, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (Equação 1) (WISCHMEIER et al., 1978). A USLE estima a perda de solo anual (A) por meio da combinação dos seguintes fatores: erosividade da chuva e enxurrada associada à chuva (fator R); erodibilidade do solo (fator K); comprimento de rampa (fator L); declividade do terreno (fator S); cobertura e manejo do solo (fator C); e práticas conservacionistas de suporte (fator P), se tornando uma ferramenta de subsídio ao planejamento ambiental (BERTONI et al., 2014).

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

Onde: **A**: Perda de solo em t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; **R**: Fator erosividade da chuva em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; **K**: Fator erodibilidade do solo em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>; **L**: Fator comprimento de rampa, baseado nos valores em metros do comprimento da rampa (adimensional); **S**: Fator declividade, valores em porcentagem da declividade do terreno (adimensional); **C**: Fator uso e manejo do solo (adimensional); **P**: Fator práticas conservacionistas (adimensional).

Essa equação, apesar de ser uma formulação empírica, ainda é a de maior referência no Brasil para estimativa de perda de solo, sendo o método mais utilizado até os dias de hoje, haja vista que a expressão matemática exprime a relação dos principais fatores que influenciam a erosão causada pela chuva (OLIVEIRA et al., 2015). O fator de erosividade da chuva representa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido. Em um primeiro momento, utilizava-se de metodologias como a proposta por Wischmeier et al. (1978), onde é necessária a utilização de dados de chuva decorrentes de pluviogramas representativos.

A falta de dados pluviográficos para estudos e a dificuldade da aplicação resultou na elaboração de equações para utilização de dados pluviométricos. Rufino et al. (1993) desenvolveram equações para o cálculo de erosividade para oito regiões do estado do Paraná, tendo como base dados pluviométricos, que utilizam um coeficiente de precipitação (Equação 2), aplicando equações lineares simples do tipo  $y = a + bx$ , nas quais  $y$  é o índice de erosão ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $x$  o coeficiente de precipitação ( $R_c$ ),  $a$  o coeficiente linear e  $b$  o coeficiente angular. Os coeficientes lineares e angulares variam de acordo com as regiões.

$$R_c = \left( \frac{p^2}{P} \right) \quad (2)$$

Onde:  $p$ : Precipitação média mensal (mm);  $P$ : Precipitação média anual (mm);  $R_c$ : Coeficiente de precipitação. Considerando as equações propostas por Rufino, Biscaia e Merten (1993), a bacia hidrográfica do Rio do Campo está inserida na Região 1 (Equação 3). O valor final de  $R$  ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), utilizado na USLE, é a soma dos valores mensais obtidos com a Equação 3.

$$R = 182,86 + 56,21 \cdot \left( \frac{p^2}{P} \right) \quad (3)$$

Onde:  $R$ : Índice de erosividade da chuva ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ );  $p$ : Média mensal de precipitação (mm) e  $P$ : Média anual de precipitação (mm).

Foi analisada a série histórica da Estação Pluviométrica de Campo Mourão, código 2452007, coordenadas  $24^\circ 02'50''$  de latitude Sul e  $52^\circ 22' 03''$  de longitude Oeste, para o período de 1974 a 2014, totalizando 41 anos de dados contínuos, disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná – AGUASPARANÁ.

As propriedades físicas e as características químicas, biológicas e mineralógicas do solo exercem diferentes influências na erosão, atribuindo a cada solo uma resistência ou susceptibilidade a este processo, representada pelo fator  $K$ . Portanto, todas as características do solo avaliadas conjuntamente determinam sua capacidade de propiciar erosão, sendo necessário definir valores diferentes de  $K$  para cada tipo de solo (BERTONI et al., 2014; EL JAZOULI et al., 2017). A identificação e classificação dos tipos de solos presentes na bacia hidrográfica foram realizadas a partir do Mapa de Solos do Estado do Paraná com escala de 1:250.000 (EMBRAPA, 2007), gerando uma camada vetorial composta por polígonos no *software* QGIS 2.14.0.

Pela impossibilidade de levantamentos detalhados em campo para determinar a erodibilidade, foram utilizadas as mesmas taxas estabelecidas para o estado de São Paulo, com bacias de características semelhantes, obtidas através de levantamento em revisão bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos por Bueno (1994), Demarchi et al. (2014), Cerri (1999), Burin (1999) e Marcondes et al. (2002). Estes valores foram atribuídos aos polígonos correspondentes e a camada convertida para o formato *raster*.

O fator L está ligado à topografia do local, mais precisamente ao comprimento de rampa, tendo grande importância na perda de solo, uma vez que quanto maior for a sua extensão maior será a velocidade do escoamento. O fator S se refere à declividade do solo, principalmente pela inclinação da encosta que tem forte influência na ação de escoamento direto, tendo relação direta no processo erosivo e de carreamento das partículas da superfície do solo (COSTA et al., 2016; EL JÁZOU LI et al., 2017). A influência do declive e do gradiente afetam a intensidade erosiva do solo, pela ação da água. Normalmente, o fator L está aliado ao S, em descrições de literatura, pela conveniência de estarem na mesma classificação de fatores topográficos (ABDULKAREEM et al., 2017; BELASRI et al., 2016; SCHMIDT et al., 2019).

Para a obtenção dos valores de L, utilizou-se o *plugin* Processing do *software* QGIS 2.14.0 que permite a utilização de algoritmos para o cálculo do comprimento de rampa na ferramenta *Slope Length* do *software* SAGA GIS 2.1.4. O algoritmo gera uma camada *raster* com os valores obtidos a partir dos dados de elevação provenientes do modelo numérico de terreno (MNT), baseado na imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da área de estudo, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Os valores de S foram obtidos a partir da ferramenta de análise de terrenos no *software* QGIS 2.14.0 que também utiliza como base o modelo numérico de terreno (MNT), gerando os valores de declividade em porcentagem. Visando a facilitação dos cálculos para a integralização desses fatores, utilizou-se o método expresso pela equação desenvolvida por Bertoni et al. (2014) (Equação 4). O cálculo foi realizado através da ferramenta Calculadora Raster, utilizando as camadas geradas anteriormente para ambos os fatores.

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (4)$$

Onde: **LS**: Fator topográfico; **L**: Comprimento de rampa (m); **S**: Declividade (%).

O fator C corresponde ao uso do solo e diz respeito à relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições. Este fator está diretamente relacionado às seguintes variáveis: variação da cobertura vegetal, sequência de culturas, práticas de manejo e estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal durante o período das chuvas (BERTONI et al., 2014; HAREGEWEYN et al., 2017; EL JAZOU LI et al., 2017).

Segundo El Jazouli et al. (2017), o fator C é o mais importante para reduzir o risco de erosão. A cobertura vegetal e as técnicas de cultivo são os principais fatores dependentes diretamente da ação humana que acelerariam ou reduziriam a erosão, conforme o caso. O valor de C tem variação em diferentes culturas, aumentando com a retirada de vegetação nativa ou ausência de técnicas adequadas, mostrando a relevância da cobertura do solo e devido manejo para a diminuição dos processos erosivos (BERTONI et al., 2014).

O uso do solo da área de estudo foi elaborado por Graça et al. (2015) através de feições vetoriais no *software* QGIS 2.14.0. Os valores correspondentes ao fator C foram obtidos através de revisão bibliográfica em trabalhos de Stein et al. (1987), Tomazoni et al. (2005) e Oliveira et al. (2007). Após a obtenção dos valores para as diferentes classes de uso do solo, os mesmos foram atribuídos aos polígonos correspondentes. Então, a camada vetorial foi transformada em um plano de formato *raster*.

O fator P está ligado às práticas conservacionistas da USLE, referindo-se a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está

plantada no sentido do declive, morro abaixo. Uma área sem proteção de cobertura vegetal é geralmente mais susceptível à erosão do que uma que esteja recoberta por vegetação, sendo que o seu efeito dependerá do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à sequência de culturas e ao manejo (BERTONI et al., 2014; EL JAZOULI et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Utilizando ainda as feições vetoriais de uso do solo elaborado por Graça et al. (2015), associou-se os valores correspondentes para o fator P, de acordo com os critérios de Bertoni et al. (2014), para cada classe de uso do solo. Na sequência, obteve-se a camada vetorial com os polígonos correspondentes as classes, que posteriormente foi convertida para um plano de formato *raster*.

Após o processamento dos dados originais e obtenção de todos os fatores componentes da USLE, a ferramenta Calculadora Raster do *software* livre e aberto QGIS 2.14.0 foi utilizada para realizar a álgebra de mapas, assim, as camadas foram multiplicadas juntas, de acordo com a Equação 1. A partir da integração dos fatores da equação foi gerado o mapa da estimativa de perda de solo, que corresponde ao fator A da USLE.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido para o fator R (Tabela 1) correspondeu ao valor de 10.563,81 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que corrobora com valor obtido para o município de Campo Mourão por Waltrick et al. (2015), de 10.430 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, local onde a bacia está inserida, e também por Graça et al. (2015), que obteve valores entre 9.000 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 10.250 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para a bacia do Rio Mourão.

**Tabela 1:** Média de precipitação mensal, Fator R mensal e Fator R anual correspondente ao período de 1974 a 2014, para a bacia do Rio do Campo/PR.

Mês	Média da precipitação mensal <sup>1</sup> (mm)	R (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup> )
Janeiro	199,08	1.521,42
Fevereiro	177,58	1.247,91
Março	130,65	759,36
Abril	118	653,13
Maio	135,94	806,99
Junho	122,66	691,00
Julho	85,65	430,62
Agosto	71,31	354,60
Setembro	132,63	776,97
Outubro	169,24	1.150,22
Novembro	140,78	852,23
Dezembro	183,44	1.319,36
<b>Total (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>		<b>10.563,81</b>

Nota: <sup>1</sup>Sistema de Informações Hidrológicas, Instituto das Águas do Paraná – AGUASPARANÁ.

Essa diferença pode ser explicada pelos diferentes períodos contemplados na análise, enquanto o presente estudo utilizou dados de 1974 a 2014 (série histórica de 41 anos), Waltrick et al. (2015) se baseou no período de 1986 a 2008 (série histórica de 23 anos), além do uso de diferentes estações pluviométricas. Já Graça et al. (2015), utilizaram dados entre 1980 e 2013 (série histórica de 34 anos), para 13 estações pluviométricas compreendidas em sua área de estudo. Segundo as classes de erosividade (Tabela 2) propostas por Carvalho (2008) e Foster et al. (1981), a bacia apresenta erosividade muito forte, o que indica a necessidade da utilização de técnicas para controle de erosão.

**Tabela 2:** Classes para erosividade da chuva (Fator R).

Fator R <sup>1</sup> (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Fator R <sup>2</sup> (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classe
R ≤ 2452	R ≤ 300	Baixa
2452 < R ≤ 4905	300 < R ≤ 2000	Média
4905 < R ≤ 7357	2000 < R ≤ 4000	Média-Forte
7357 < R ≤ 9810	4000 < R ≤ 8000	Forte
R > 9810	R > 8000	Muito Forte

Nota: <sup>1</sup>Carvalho (2008); <sup>2</sup>Foster et al. (1981).

Os meses de janeiro e dezembro apresentaram os maiores valores de erosividade, 1.521,42 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> e 1.319,36 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> respectivamente, outros valores expressivos foram encontrados para os meses de fevereiro (1.247,91 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) e outubro (1.150,22 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>).

Os menores resultados foram encontrados para os meses de agosto e julho, 354,60 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> e 430,62 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores se mantêm similares aos encontrados para o estado do Paraná no estudo realizado por Waltrick et al. (2015), onde a erosividade é mais acentuada nos meses de janeiro, outubro, fevereiro e dezembro. Já a redução do potencial erosivo ocorre nos meses de julho e agosto. De forma geral, como é de se esperar, as chuvas são mais erosivas nos meses de verão e menos erosivas nos meses de inverno (WALTRICK et al., 2015).

Graça et al. (2015) destacam que embora o maior índice da região ocorra no mês de janeiro, a maior preocupação é para outubro, mês de entressafra no estado do Paraná. Neste momento, o solo está exposto e apresenta alto potencial de erosão pela chuva, pois a cobertura vegetal foi removida, resultando em um impacto direto das gotas sobre o solo.

De mesmo modo, Silva et al. (2016) constataram que as culturas cultivadas na bacia do Córrego Bagaçu/SP – cana de açúcar, milho e soja – são plantadas em setembro, ou seja, no início do período chuvoso, porém, é necessária atenção quanto ao manejo nesse período, pois os preparos de solos, como o cultivo convencional, mobilizam a terra, deixando-a exposta a chuvas e enxurradas no período inicial em que a cultura não oferece proteção ao solo.

Entre os fatores da USLE necessários para prever perdas de solo, a erodibilidade (fator K) indica a condição inerente do solo, portanto, a susceptibilidade ao descolamento e transporte por processos de erosão. À medida que o grau de maturidade e profundidade diminui, o grau de erodibilidade aumenta (WISCHMEIER et al., 1978; TOMAZONI et al., 2005; BERTONI et al., 2014).

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Os menos erodíveis são os Latossolos, pois são solos profundos bem estruturados, intemperizados e desenvolvidos (TOMAZONI et al., 2005; MAGALHÃES FILHO et al., 2014; GRAÇA et al., 2015).

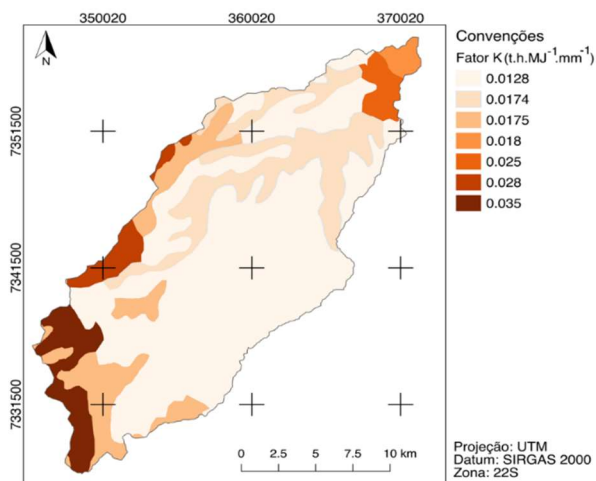
Para a erodibilidade do solo (Figura 2) constatou-se predominância das áreas de Latossolos Vermelhos distroféricos (225,60 km<sup>2</sup>), associados ao menor fator de erodibilidade (0,0128 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>), correspondendo a 58,75% da área da bacia. As classes de solos associadas aos maiores fatores de erodibilidade, 0,0350 e 0,0280 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, se constituem, respectivamente, de Argissolos Vermelhos

distróficos e Argissolos Vermelhos eutróficos, presentes em 8,95% da área de estudo (Tabela 3).

**Tabela 3:** Fatores de erodibilidade atribuídos aos solos da bacia do Rio do Campo/PR.

Solos <sup>1</sup>	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Fator K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Argissolos Vermelhos distróficos	22,89	5,96	0,0350 <sup>2</sup>
Argissolos Vermelhos eutróficos	11,49	2,99	0,0280 <sup>2</sup>
Latossolos Vermelhos distroféricos	225,60	58,75	0,0128 <sup>3</sup>
Latossolos Vermelhos distróficos	44,76	11,66	0,0175 <sup>2</sup>
Neossolos Litólicos eutróficos	9,54	2,48	0,0250 <sup>4</sup>
Nitossolos Vermelhos eutroféricos	5,05	1,32	0,0180 <sup>5</sup>
Nitossolos Vermelhos distroféricos	64,67	16,84	0,0174 <sup>6</sup>
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>100</b>	

Nota: <sup>1</sup>EMBRAPA (2007); <sup>2</sup>Marcondes et al. (2002); <sup>3</sup>Demarchi et al. (2014); <sup>4</sup>Bueno (1994); <sup>5</sup>Burin (1999); <sup>6</sup>Cerri (1999).



**Figura 2:** Mapa de espacialização dos fatores de erodibilidade para a bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Segundo Tomazoni et al. (2005), a erodibilidade dos Latossolos brasileiros é, no mínimo, de 0,002, com média de 0,011 e máximo de 0,034 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Os Latossolos Vermelhos recobrem 70,39% da área da bacia. A mesma predominância foi observada nos estudos de Magalhães Filho et al. (2014), Barbosa et al. (2015) e Silva et al. (2017).

Apesar da boa resistência à erosão devido às boas características físicas, os Latossolos Vermelhos requerem tratamentos de conservação adequados de acordo com a inclinação e os tipos de uso, já que estes solos são bastante férteis e por isso são intensas as atividades agropecuárias (BARBOSA et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Os Argissolos, apesar de pouco expressivos, possuem alto potencial erosivo, visto que são desenvolvidos com um acúmulo de argila, geralmente com uma transição abrupta e gradiente textural elevado, tornando o horizonte subsuperficial de menor permeabilidade, o que favorece o escoamento superficial das águas pluviais e, conseqüentemente, a erosão (EMBRAPA, 2013; GRAÇA et al., 2015). Todavia, quando presentes em relevo suave ondulado, com declives de 3 a 8% e ocorrência junto à cobertura vegetal de gramíneas, que predominam nesses solos em áreas de maior declividade, provavelmente devem apresentar um menor valor de erosão.

De forma geral, assim como o observado no estudo de Campos et al. (2016), os solos da área de estudo são relativamente pouco erodíveis, não sendo, portanto, o fator determinante no desencadeamento de processos erosivos. Para obtenção do fator topográfico LS foram correlacionados os dados de



comprimento de rampa (fator L) e declividade (fator S), sendo que estes variaram entre 0 e 1313,17 m e 0 a 57,13%, respectivamente. Com relação ao comprimento de rampa, a área de estudo apresenta predominância das classes entre 0 e 200 m, assim como no estudo de Silva et al. (2016).

Já a declividade da bacia possui, em sua maioria, relevos das classes suave ondulado e ondulado, com abrangência de 51,65 e 29,05% respectivamente, somando uma área de 309,88 km<sup>2</sup> (80,7%), corroborando com o estudo de Crispim et al. (2012) para a mesma área de estudo. Brasil et al. (2017) obtiveram resultados semelhantes para a bacia do açude Arneiroz II, com predomínio de relevo plano a ondulado em mais de 90% da área, com classes de declividade variando de 0 a 20%. O grau de declive (Tabela 4) e o comprimento da encosta (Tabela 5) influenciam na velocidade de escoamento superficial, favorecendo a erosão em termos de tamanho e quantidade de material transportado (BARBOSA et al., 2015).

**Tabela 4:** Classes de declividade e respectivas áreas encontradas na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Declividade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Plano (0-3%)	65,03	16,94
Suave Ondulado (3-8%)	198,33	51,65
Ondulado (8-20%)	111,55	29,05
Forte Ondulado (20-45%)	8,19	2,13
Montanhoso (45-75%)	0,90	0,23
Escarpado (> 75%)	0	0
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

Segundo Magalhães Filho et al. (2014), a análise da declividade é uma característica importante, haja vista que, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento superficial da água e menor a infiltração. Dessa forma, maior será capacidade de desagregação e arraste de partículas de solo, causando a erosão e transportando sedimentos para as redes de drenagem.

A análise do fator LS merece grande atenção, devido à influência direta nos fluxos de matéria e energia, que condicionam a dinâmica erosiva no sistema vertente, seja pelas elevadas declividades ou pela grande extensão da vertente, ou, até mesmo, pela associação de ambas (BARBOSA et al., 2015). A variação do fator LS (Figura 3) foi de 0 a 29,2155 que correspondem diretamente as classes de declividade. A mesma relação foi constatada por Coutinho et al. (2014) para a bacia do Rio da Prata/ES e por Brasil et al. (2017) para a bacia do açude Arneiroz II/CE.

**Tabela 5:** Comprimentos de rampa e áreas observados na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Comprimento de rampa	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0-100	240,75	62,69
100-200	66,62	17,35
200-400	52,44	13,66
400-600	16,72	4,35
> 600	7,47	1,95
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

O fator topográfico LS (Tabela 6) apresentou predominância dos valores compreendidos entre 0 e 0,5 correspondendo a 38,53% da área de estudo. Os valores correspondentes as classes iniciais, de 0 a 5, compõem 89,43% da área da bacia do Rio do Campo, índices próximos também foram relatados nas áreas estudadas por Graça et al. (2015), Barbosa et al. (2015) e Brasil et al. (2017).

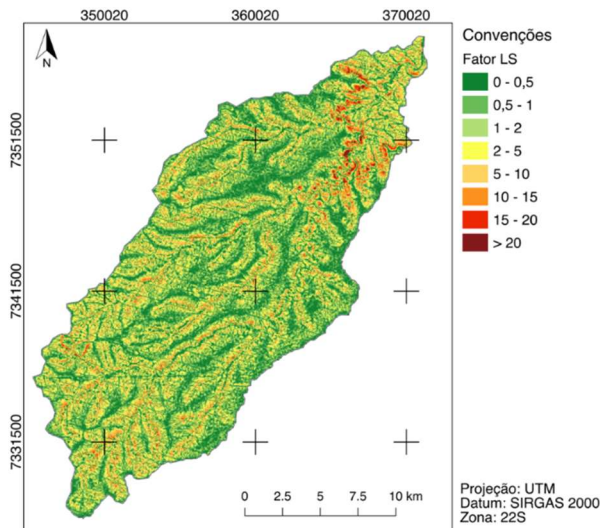


Figura 3: Mapa de espacialização do fator topográfico (LS) para a bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Tabela 6: Fator topográfico (LS) e respectivas áreas de ocorrência na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Fator LS	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0-0,5	147,97	38,53
0,5-1	43,76	11,40
1-2	66,93	17,43
2-5	84,74	22,07
5-10	33,17	8,64
10-15	5,51	1,43
15-20	1,32	0,34
>20	0,60	0,16
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

Outro aspecto que pode ser analisado é a variação de altitude na bacia em estudo, as quais estão entre 327 a 703 m, podendo influenciar até mesmo as condições climáticas, mas principalmente a análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias a erosão para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

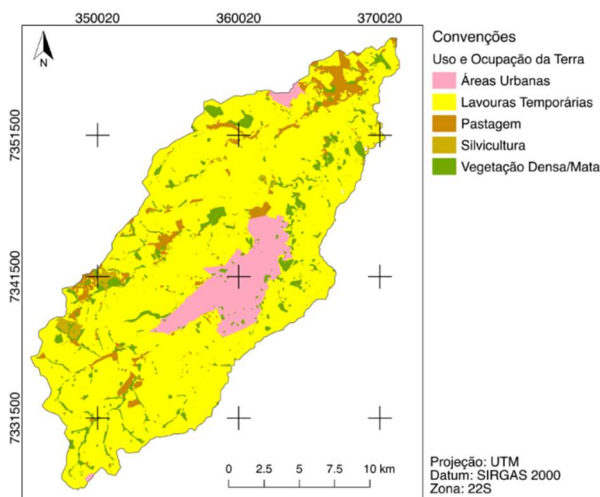


Figura 4: Mapa de espacialização do Uso e Ocupação da Terra para a bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Os fatores CP estão diretamente relacionados com o uso e cobertura do solo (Figura 4), bem como os métodos de plantio e práticas conservacionistas. As taxas do fator C foram baseadas em usos identificados na bacia e caracterizados pelo grau de proteção fornecido ao solo, sendo que quanto menor o índice aplicado,

mais eficiente é a proteção; quanto maior o índice, maior o cuidado a ser prestado. A mesma associação foi realizada para atribuir taxas para o fator P (GRAÇA et al., 2015).

**Tabela 7:** Classes de Uso e Ocupação da Terra e suas respectivas áreas observadas na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Classe de Uso e Ocupação da Terra	Fator C	Fator P	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Vegetação Densa/Floresta	0,001 <sup>1</sup>	0,1 <sup>1</sup>	26,82	6,99
Silvicultura	0,0489 <sup>2</sup>	0,2 <sup>1</sup>	3,31	0,86
Lavoura Temporária	0,5 <sup>1</sup>	0,5 <sup>1</sup>	235,48	61,32
Pastagem	0,01 <sup>1</sup>	0,4 <sup>1</sup>	21,45	5,59
Área Urbana	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>	96,94	25,24
<b>Total</b>			384	100

Nota: Adaptado de <sup>1</sup>Tomazoni et al. (2005); <sup>2</sup>Oliveira et al. (2007); <sup>3</sup>Stein et al. (1987).

Na área de estudo foram determinadas cinco classes de uso (Tabela 7): Áreas urbanizadas (25,24%), lavoura temporária (61,32%), pastagem (5,59%), silvicultura (0,86%), vegetação densa (6,99%). A classe que mais expõe o solo à erosão abrange as áreas de lavoura temporária, pois em certas épocas do ano quando ocorre a entressafra, o solo pode permanecer exposto ao efeito direto da chuva. A classe de vegetação densa apresenta maior proteção do solo, devido aos menores valores de C e P (CAMPOS et al., 2016).

Seguindo essa perspectiva, Silva et al. (2017) e Campos et al. (2016) afirmam que as áreas com vegetação apresentam menores valores de C e P, devido a capacidade da vegetação de proteger o solo contra os efeitos erosivos da chuva, seja impedindo o impacto direto das gotas, evitando o efeito de aspersão, seja reduzindo o escoamento superficial. Já os maiores valores de C e P estão presentes em áreas onde há pouca ou nenhuma vegetação, como regiões onde há solo nu e uma grande susceptibilidade à erosão.

Conforme citado por Graça et al. (2015) e Crispim et al. (2012), a bacia hidrográfica do rio do Campo possui área predominantemente ocupada pela agricultura, com cultivos como soja, milho e trigo. No entanto, grande parte dos agricultores ignoram importantes técnicas de conservação de solo e água, que devem ser realizadas junto as técnicas de plantio direto, para garantir uma maior proteção do solo.

Segundo Crispim et al. (2012), já foram observados alguns fatores que podem contribuir para entrada de sedimentos na bacia do rio do Campo, tais como: o preparo do solo e semeadura realizada em direção a vertente, deixando o solo compactado e propiciando o escoamento superficial da água, além de transportar sedimentos para as nascentes e corpo hídrico; falta de conservação das estradas rurais, onde a água da chuva escoava em direção aos cursos d'água, formando erosão em sulcos nas margens e preenchendo as caixas de contenção com o solo erodido, as quais transbordam, não retendo os sedimentos em períodos chuvosos e alterando a turbidez da água do rio.

Com relação a perda de solo (Figura 5), há ocorrência de valores entre 0 a 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 184,71 km<sup>2</sup> (48,10%), sendo a faixa mais abrangente na bacia, seguido de 50 a 150 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 80,91 km<sup>2</sup> (21,07%), 10 a 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 68,07 km<sup>2</sup> (17,73%), 150 a 300 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 35,60 km<sup>2</sup> (9,27%), 300 a 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 9,86 km<sup>2</sup> (2,57%) e perdas maiores que 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 4,85 km<sup>2</sup> (1,26%) (Tabela 8).

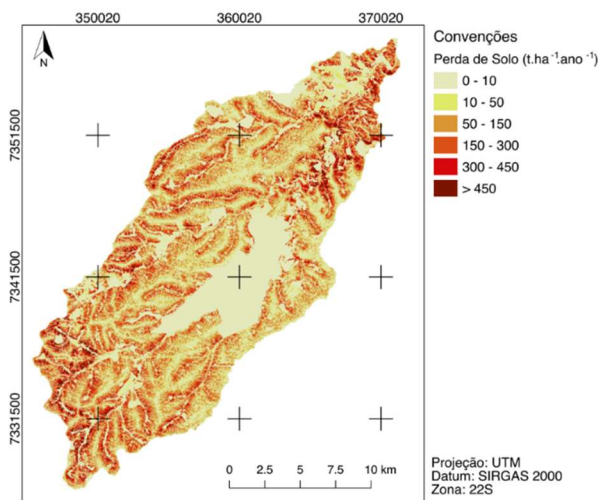
Diferentemente, o estudo de Silva et al. (2017), para a bacia Laranja Doce/MS, não apresentou valores elevados de erosão, com perdas médias anuais de solo variando de 0 a 33 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A maior parte

da área foi classificada com erosão nula a moderada por possuir taxa erosiva menor que  $15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . No referido estudo, os autores observaram que a distribuição espacial da erosão foi influenciada principalmente pela cobertura vegetal do solo e das características do relevo demonstradas através dos fatores CP e LS.

Analisando o mapa de espacialização da perda de solo, nota-se que as classes com maiores valores circundam a rede de drenagem, exceto nas áreas construídas, sendo a mesma relação observada por Oliveira, Seraphim et al. (2015) na bacia do Ribeirão Lavapés/SP. Silva et al. (2017) também obtiveram os menores valores de perda de solo – até  $1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  – em áreas planas e/ou urbanizadas da bacia do rio Uma/SP. Os autores concluíram ainda, que mais de 93,4% da área de estudo apresentou perdas de solos abaixo de  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  classificando-a como de baixa susceptibilidade à erosão, ou seja, apresenta nenhuma ou ligeira perda de solo, assim como no presente estudo, onde 48,10% da área apresenta perdas abaixo de  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

A presença da vegetação relativamente densa, em associação com outras variáveis ambientais, acaba colaborando para minimizar os processos erosivos que ocorreriam caso o solo estivesse desnudo (BARBOSA et al., 2015). A área urbana apresenta impermeabilização do solo, onde o mesmo não é exposto aos fatores erosivos, consequentemente não representando perdas expressivas, mas contribuindo para ocorrência de maiores cargas de escoamento superficial.

Silva et al. (2017) destacam que as perdas de solos acima  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , se enquadram como de alta susceptibilidade à erosão. Assim como no município de Paraíso das Águas/MS, objeto do estudo de Barbosa et al. (2015), a maior parte do território da bacia do rio do Campo/PR sofreu algum tipo de interferência antrópica que contribui para o aumento da estimativa de perda de solo.



**Figura 5:** Mapa de espacialização da perda de solo para a bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

**Tabela 8:** Classes de Perda de Solo e respectivas áreas observadas na bacia hidrográfica do Rio do Campo/PR.

Perda de Solo ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )	Área ( $\text{km}^2$ )	Área (%)
0-10	184,71	48,10
10-50	68,07	17,73
50-150	80,91	21,07
150-300	35,60	9,27
300-450	9,86	2,57
> 450	4,85	1,26
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

As maiores perdas de solo estão associadas as classes de uso e ocupação do solo de lavouras temporárias e silvicultura, sendo ainda observadas as classes de declividades ondulado a forte ondulado, acima de 8% de inclinação, nestas regiões. A prática destas atividades em altas declividades acaba deixando o solo desprotegido em determinados períodos do ano, o que propicia a ocorrência de processos erosivos. Verifica-se que as classes de susceptibilidade acima de  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  se localizaram justamente nas regiões com declive mais acentuado, pois a elevação dos declives favorece a susceptibilidade à erosão (OLIVEIRA et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Com relação aos tipos de solos presentes na bacia, estes não se apresentaram como o fator de maior importância para as classes de perda de solo identificadas, visto que não houve predominância de perdas de solo em determinado tipo de solo, demonstrando que outros fatores, como práticas conservacionistas e as características topográficas do relevo afetam de forma mais expressiva o resultado final.

Ao analisar o mapa do fator A juntamente com os mapas de outros fatores, pode-se inferir que a distribuição dos valores médios anuais de erosão está principalmente associada à cobertura do solo (fator CP) e topografia (fator LS), ocorrendo menor representatividade dos fatores K e R, assim como o evidenciado por Silva et al. (2017) na bacia Laranja Doce/MS. Já no estudo de Barbosa et al. (2015), no município de Paraíso das Águas/MS, foi o fator topográfico que apresentou maior relevância para os resultados. Segundo Magalhães Filho et al. (2014), o uso inadequado do solo gera problemas ambientais e acelera o processo de perda de solo, reduzindo a produtividade agrícola e causando o assoreamento dos corpos d'água cujos efeitos podem comprometer o abastecimento de água de uma região.

De acordo com El Jazouli et al. (2017), a análise dos problemas de erosão do solo, realizada a partir da USLE, fornece informações importantes, sintéticas e sistemáticas sobre a natureza, intensidade e distribuição espacial das perdas de solos e, portanto, permite identificar as áreas mais afetadas. Este mapa quantitativo pode ser uma ferramenta indispensável para o manejo integrado de solos, bem como, constitui uma ferramenta de apoio ao planejamento ambiental em bacias hidrográficas. Os resultados dos fatores discutidos para a bacia do Rio do Campo/PR podem subsidiar uma melhor exploração das áreas cultiváveis e melhorar o uso de áreas mais vulneráveis a erosão, a fim de evitar perdas significativas de solo e carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, que causam sua contaminação.

## CONCLUSÕES

O levantamento dos fatores da USLE se mostrou um excelente meio de obter dados necessários para o diagnóstico das condições da bacia em estudo. De mesmo modo, o uso de SIG livre mostrou-se uma alternativa viável e prática, minimizando os custos de trabalho e o tempo de execução, permitindo concluir que os métodos empregados no presente estudo são de grande eficiência para caracterização de áreas suscetíveis à erosão, através da aquisição, manipulação e integração de dados provenientes de diversas fontes.

Com base nos dados obtidos, verificou-se que em 48,1% da área da bacia hidrográfica do Rio do

Campo a perda de solo foi classificada com a menor faixa de valores, variando de 0 a 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, já a segunda classe de perda de solo foi de 50 a 150 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 21,07% da área total da bacia. A perda em grandes quantidades de solo se apresenta em pequenas porcentagens em relação a área total da bacia, abrangendo somente 2,57% da área com valores entre 300 e 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 1,26% da área com perdas maiores de 450 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apesar das maiores perdas ocorrerem nas menores áreas analisadas, destaca-se a importância de sua identificação, pois demonstram as respectivas susceptibilidades aos danos provocados pelas perdas de solo na bacia.

Neste contexto, quantificar a perda de solo se torna extremamente importante para o planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica, sendo uma excelente ferramenta de subsídio para o manejo sobre o uso do solo e a gestão dos recursos ambientais. Assim, a USLE permitiu identificar áreas com perda pronunciada de solo, com base nos dados reais, determinando os locais de maior susceptibilidade a este dano e, conseqüentemente, destacando as áreas onde devem ser reforçadas as práticas conservacionistas e o manejo adequado, devido a fragilidade específica do local, demonstrando como cada fator influencia na redução das perdas.

**AGRADECIMENTOS:** a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof<sup>ª</sup>Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR pelo apoio recebido.

## REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, J. H.; PRADHAN, B.; SULAIMAN, W. N. A.; JAMIL, N. R.. Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed.

*Geoscience Frontiers*, v.1, n.15, p.1-15, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.010>

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências*, v.38, n.1, p.170-179, 2015. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2015\\_1\\_170\\_179](http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179)

BELASRI, A.; LAKHOUILI, A.. Estimation of soil erosion risk using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and geo-information technology in Oued El Makhazine watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, v.8, n.1, p.98-107, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.81010>

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. *Conservação do solo*. 9 ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BRASIL, J. B.; ROSA, G. Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.. Estimativa de perda de solo na bacia do açude Arneiroz II por ferramentas de geoprocessamento. *Ambiência*, v.13, n.2, p.503-517, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.02.16rc>

BUENO, C. R. P.. *Zoneamento da suscetibilidade à erosão dos solos da Alta e Média Bacia do Rio Jacaré-Pepira, com*

*vistas ao planejamento ambiental*. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BURIN, R. H.. *Avaliação temporal de perdas de solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Preto (SP) utilizando geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Piracicaba, 1999.

CAMPOS, R. A.; STIPP, N. A. F.; CAVIGLIONE, J. H.. Estudos Ambientais no Espaço Geográfico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Veado, no município de Cornélio Procópio/PR: Aplicação da EUPS. *Geographia Opportuno Tempore*, v.2, n.2, p.81-99, 2016.

CARVALHO, N. O.. *Hidrossedimentologia Prática*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASSOL, E. A.; SILVA, T. S.; ELTZ, F. L. F.; LEVIEN, R.. Soil Erodibility under Natural Rainfall Conditions as the K Factor of the Universal Soil Loss Equation and Application of the Nomograph for a Subtropical Ultisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.42, p.1-12, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20170262>

CERRI, C. E. P.. *Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da Bacia do Rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

COSTA, B. O.; OLIVEIRA, G. S.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S.; WERNER, A.; SANTOS, J. P.; VANZELA, L. S.. Factors of soil erosion in the Córrego Rico Watershed, São Paulo, Brazil. **IRRIGA**, v.21, n.3, p.530-544, 2016. DOI: <http://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p530-544>

CRISPIM, J. Q.; MALYSZ, S. T.; CARDOSO, O.; PAGLIARINI JUNIOR, S. N.. Conservação e proteção de nascentes por meio do solo cimento em pequenas propriedades agrícolas na bacia hidrográfica Rio do Campo no município de Campo Mourão/PR. **Revista Geonorte**, v.3, n.4, p.781-790, 2012.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L.. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v.29, n.2, p.102-114, 2014. DOI: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>

DEVATHA, C. P.; DESHPANDE, V.; RENUKAPRASAD, M. S. Estimation of soil loss using USLE model for Kulhan Watershed, Chattisgarh-A case study. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1429-1436, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.185>

EL JAZOULI, A.; BARAKAT, A.; GHAFIRI, A.; EL MOUTAKI, S.; ETTAQY, A.; KHELLOUK, R.. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). **Geoscience Letters**, v.4, n.25, p.1-12, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1186/s40562-017-0091-6>

EL JAZOULI, A.; BARAKAT, A.; KHELLOUK, R.; RAIS, J.; EL BAGHDADI, M.. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.13, p.361-374, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do estado do Paraná**. Escala 1:250.000. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos e Florestas, 2007.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C.. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, n.6, p.355-359, 1981.

FREITAS NETTO, C.; VIRGENS FILHO, J. S.; NEVES, G. L. Análise de erosividade da chuva no estado do paraná e cenários futuros impactados por mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.404-422, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55481>

GRAÇA, C. H.; PASSIG, F. H.; KELNIAR, A. R.; PIZA, M. A.; CARVALHO, K. Q.; ARANTES E. J.. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil. **Braz. J. Biol.**, v.75, n.4, p.120-130, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.00613suppl>

HAREGEWEYN, N.; TSUNEKAWA, A.; POESEN, J.; TSUBO, M.; MESHESHA, D. T.; FENTA, A. A.; NYSSSEN, J.; ADGO, E..

Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: Case study of the Upper Blue Nile River. **Science of the Total Environment**, v.574, p.95-108, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.019>

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; AYRES, F. M.; ALVES SOBRINHO, T.. Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental. **Agrarian**, v.7, n.26, p.552-559, 2014.

MARCONDES, D. A. S.; VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; SAID, L. A.; CHAIN, M. G.. **Controle de erosão e assoreamento na área de influência do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta: Planejamento Ambiental: Microbacia do Ribeirão Caiuá**. São Paulo: CESP, 2002.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. L.. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.1, p.63-86, 2007.

OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L.. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lageado, Botucatu/SP. **Energia na Agricultura**, v.30, n.3, p.302-309, 2015. DOI: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p302-309>

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M.. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, v.6, n.2, p.99-110, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H.. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.439-444, 1993.

SCHMIDT, S.; TRESCH, S.; MEUSBURGER, K.. Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands. **MethodsX**, v.6, p.219-229, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mex.2019.01.004>

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W.. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Raega: O Espaço Geográfico em Análise**, v.42, p.72-85, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5380/raega.v42i0.45524>

SILVA, J. L. A.; RIBEIRO, V. O.; SANTOS, L. L.. Determination of the erosive susceptibility from a hydrographic basin using free available geo-technology. **Geografia**, v.42, n.3, p.57-70, 2017.

SILVA, L. C. N.; LUCHIARI, A.. Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Córrego Bagaçu/SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v.32, p.15-28, 2016. DOI: <http://doi.org/10.11606/rdg.v2i0.114308>

SILVA, V.; GASPARETTO, N.. Qualidade da água na sub-bacia

do rio do Campo Mourão/PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.585-600, 2016.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F.. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4. **Anais**. São Paulo: ABGE, 1987. p.105-135.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, n.3, p.235-244, 2005.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R.. Avaliação do efeito do

dossel vegetativo na estimativa da perda do solo em área de vinhedos usando SIG. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69, n.2, p.411-420, 2017.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D.. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.256-267, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20150147>

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 1978.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. 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 sob coordenação da **Sustenere Publishing**, 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.