

# ANÁLISE QUANTITATIVA DE PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE PRIMEIRA ORDEM DO CÓRREGO ZAÚNA - MARINGÁ (PR)

*Quantitative analysis of soil losses in the first order hydrographic basin of stream  
Zaúna - Maringá (PR)*

**Diogo Yukio Uema\***  
**Nelson Vicente Lovatto Gasparetto\*\***

**\*Universidade Estadual de Maringá - UEM / Maringá, Paraná**  
contato.diogoyukio@gmail.com

**\*\*Universidade Estadual de Maringá - UEM / Maringá, Paraná**  
nvlgasparetto@uem.br

## RESUMO

A erosão laminar é considerada uma das principais causas de degradação dos solos, resultando na perda de nutrientes do solo e prejuízo às atividades agrícolas, além de poluir e assorear os cursos hídricos de sua rede hidrográfica. A atividade humana é a principal responsável pela aceleração desse processo natural, pelo uso inadequado do solo. Para elaborar um planejamento ambiental adequado, é necessário um diagnóstico da quantidade de solo erodido e os locais onde a perda de sedimentos é maior. Com esse intuito, o presente artigo utilizou a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e a Razão de Produção de Sedimentos (RPS) na bacia hidrográfica de primeira ordem do córrego Zaúna, no município de Maringá – PR, a fim de identificar a quantidade de sedimentos produzidos, transportados e retidos. O período analisado foi entre os meses de julho de 2016 e junho de 2017. Os resultados apresentaram pequenas quantidades de material erodido na área, com maior destaque para as classes entre 0-3 e 3-5 (ton.saz), separadas em cálculos sazonais (4) e anuais (2), um considerando o solo exposto e o solo coberto). As maiores perdas de solo na bacia hidrográfica ocorreram na estação da primavera e no cálculo anual de solo exposto.

**Palavras-chave:** Equação Universal de Perdas de Solo. Perdas de solo. Bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

Laminar erosion is considered one of the main causes of soil degradation, which results in the loss of soil nutrients and damage to agricultural activities, in addition to polluting and silting up the watercourses of its hydrographic network. Human activity is primarily responsible for the acceleration of this natural process, for the use of land use. To elaborate an adequate environmental planning, it is necessary to diagnose the amount of eroded soil and the places where the loss of sediment is greater. To this end, this article uses the Universal Soil Loss Equation (EUPS) and the Sediment Production Ratio (RPS) in the first order hydrographic basin of the Zaúna stream, in the municipality of Maringá - PR, in order to identify the amount of sediment available, transported and retained. The analyzed period was between the months of July 2016 and June 2017. The results showed smaller amounts of eroded material in the area, with greater emphasis on the classes between 0-3 and 3-5 (ton.saz), separated in seasonal calculations. (4) and annual (2), one considering the exposed soil and the covered soil). The greatest losses of soil in the watershed occurred in the spring season and in the annual calculation of soil exposure.

**Keywords:** Universal Soil Loss Equation. Soil loss. Hydrographic basin.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão laminar é, possivelmente, o tipo de erosão que mais prejudica propriedades agrícolas no Brasil, isso por ser quase imperceptível e causar perda de partículas de solos, nutrientes e expor raízes de plantações. Tal erosão é causada por diversos fatores naturais, tais como tipo e estrutura do solo, declividade do terreno, comprimento da vertente, rochas, hidrografia, uso e ocupação do solo, precipitação e ventos (BERTONI; LOMBARDI, 1985). Para o estudo e prevenção desse processo erosivo, Wischmeier e Smith (1978) criaram, nos Estados Unidos, uma metodologia denominada Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), que se utiliza dos fatores condicionantes mais importantes para quantificar a erosão laminar e auxiliar planejamentos de áreas agrícolas. Em 1985, foi adaptada ao Brasil por Bertoni e Lombardi (1985), gerando bons resultados e, assim, difundindo a metodologia pelo país.

A EUPS é uma das metodologias mais empregadas por pesquisadores de conservação do solo, tanto pela facilidade em manejá-la e alterá-la quanto por conseguir simular a perda de solos em praticamente todos os tipos de fatores naturais. Ela leva em consideração a erosão pluvial, baseando-se em análises estatísticas de erosão mensurada no campo, em parcelas de experimentação e chuva natural e simulada (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Considerando que diversos procedimentos são criados e utilizados em todas as regiões do mundo, poucas pesquisas preocupam-se em adotar inúmeros métodos científicos que podem ser complementares entre si a fim de gerar um resultado ainda melhor do que uma única metodologia geraria. Nesse sentido, a utilização da EUPS e métodos complementares em uma bacia hidrográfica de primeira ordem são importantes para identificar problemas ambientais e erosivos em pequenas propriedades rurais, auxiliando os agricultores e planejadores rurais. A escolha da bacia hidrográfica se deu por apresentar um córrego de primeira ordem, um tamanho de área adequado à metodologia da EUPS, usos agrícolas intensos e diversos, além de focos de erosão laminar identificados em campo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do córrego Zaúna abrange uma área de 3,7km<sup>2</sup> com perímetro de 8,0km. Localiza-se no município de Maringá, na divisa com o município de Sarandi, entre as coordenadas 23° 24' 07.13"S e 51° 52' 20.47"O, onde maior parte está situada em área rural e uma pequena porção se encontra em área urbana.

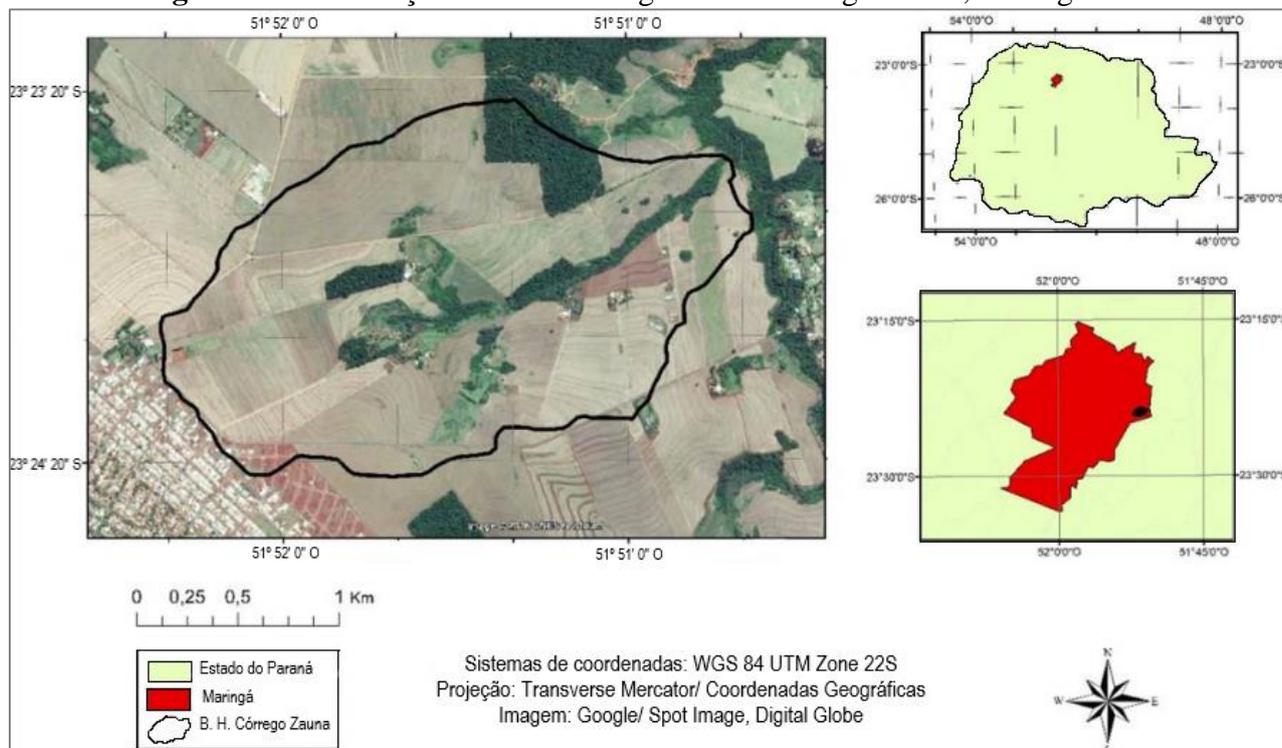
Segundo a Mineropar (2001), a bacia hidrográfica do córrego Zaúna está situada sobre litologias da Formação Serra Geral (JKsg) e é constituída por uma sequência de derrames basálticos do período Jurássico-Cretáceo, onde se intercalam arenitos com mesmas características da Formação Botucatu. A formação Serra Geral é recoberta em discordância angular, geralmente disfarçada por formações do Grupo Bauru ou depósitos de materiais recentes. Essa discordância foi observada em afloramentos que levaram à erosão dos basaltos. Sua máxima espessura, descrita através de uma sondagem realizada em Presidente Epitácio, é de 1.529m. Os derrames basálticos são formados por rochas de coloração cinza-escura a negra e possuem textura afanítica e fanerítica fina. Os basaltos da Formação Serra Geral apresentam composição mineralógica simples, constituída por plagioclásio, associada a clinopiroxênios, além disso, raramente encontra-se titano-magnetita, apatita, quartzo e olivina ou seus produtos de alteração (MINEROPAR, 2001).

A bacia hidrográfica do córrego Zaúna está inserida no Terceiro Planalto Paranaense, também conhecido como planalto arenito-basáltico. No geral, corresponde ao grande derrame Mesozoico, associado à porção noroeste e às rochas areníticas do grupo Bauru. O terceiro planalto ocupa 2/3 do Paraná, incorporando relevos planálticos com inclinação geral para oeste-noroeste e é subdividido pelos principais afluentes do rio Paraná (SANTOS *et al.*, 2006). Segundo o Atlas

Geomorfológico do Paraná (2006), a bacia hidrográfica do córrego Zaúna está situada na subunidade morfoescultural denominada Planalto de Maringá. Apresenta dissecação baixa e sua classe de declividade é menor que 6% em uma área de 2.215,64km<sup>2</sup>, possui gradiente de 400m com altitude variando entre 340 e 740m. No que se refere às formas de relevo, são predominantes os topos alongados e aplainados, vertentes convexas em vales “V”, modeladas em rochas da Formação Serra Geral.

Na local de estudo, existem resquícios da mata original apenas na área de preservação permanente - APP, onde se encontram árvores de médio a grande porte em uma distribuição densa. Ademais, no solo da APP, há muito material orgânico provindo das próprias árvores, além de troncos derrubados pela força da enxurrada em ocasiões de concentração de precipitação. O restante da área é ocupado para fins agrícolas como plantações de milho, trigo e soja, estradas e residências rurais (Figura 1).

**Figura 1** – Localização da bacia hidrográfica do córrego Zaúna, Maringá – PR



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

Segundo Caviglione (2000), baseando-se em estudos de Köppen (*apud* CAVIGLIONE, 2000, p. 3), o clima do município de Maringá é classificado como Cfa: Clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (Mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. As precipitações na região do estudo costumam ser bem definidas, com médias de 1.250 a 1.500 mm/ano e frequentemente se aproximam de 1600 mm/ano.

De acordo com a classificação de Sthaler (1952), o curso d'água do córrego Zaúna é classificado como de primeira ordem. Este deságua no ribeirão Sarandi, que, por sua vez, deságua no rio Pirapó, o qual apresenta uma bacia hidrográfica cuja área é amplamente estudada por pesquisadores e instituições do Paraná (NÓBREGA *et al.*, 2015; BONIFÁCIO; UEMA; TAVARES, 2015; BONIFÁCIO; SILVEIRA; NÓBREGA, 2017), como a Agência Nacional de Águas – ANA e o Comitê de Bacias. Inserido nesse contexto, o córrego Zaúna, por fazer parte da bacia hidrográfica do Rio Pirapó, compartilha de algumas de suas características. Ressalta-se também que, conforme

Nóbrega *et al.* (2015), nos setores onde o solo provém da alteração de basaltos da Formação Serra Geral, assim como a área estudada, encontram-se Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, ambos de textura argilosa.

## 2.2. Obtenção dos fatores da EUPS

Devido ao trabalho estar relacionado à erosão superficial e seu transporte de sedimentos, foram consideradas as camadas superficiais do solo, definidas por checagens em campo. Para tanto, utilizou-se bibliografias especializadas as quais oferecem bases precisas para a relação entre altimetria detalhada e classificação de solos, aspectos longitudinais, rede hidrográfica, afloramento de rochas e proximidades com as mesmas características físicas. O período analisado foi de julho de 2016 a junho de 2017 e, para melhor interpretação de dados, os resultados foram divididos nas quatro estações do ano: verão (2017), outono (2017), inverno (2016) e primavera (2016).

A fim de quantificar a erosão laminar da bacia hidrográfica do córrego Zaúna, foram utilizados dois métodos matemáticos simulados: a Equação Universal de Persa de Solos – EUPS de Wischmeier e Smith (1978) e a Equação da Razão de Produção de Sedimentos – RPS (RAS) de Khanbilvardi e Rogowski (1984). A Equação Universal de Perdas de Solo é calculada a partir de seis fatores fundamentais para o estudo de erosão, segundo a Equação a seguir (1):

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

Onde:

A = Perdas de solo calculadas por unidade de área, t/ha.ano

R = Fator erosividade da chuva, Mj.mm/ha.h

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/h

L = Fator comprimento da rampa

S = Fator declividade da rampa

C = Fator cobertura do solo

P = Fator práticas conservacionistas

A elaboração e concepção dos fatores e sua integração, com o intuito de gerar a EUPS, foi realizada no SIG *Arcgis* pelo *add-in GISUS-M* (OLIVEIRA *et al.*, 2015), com apoio de métodos semiautomáticos. Para o cálculo do fator R (erosividade), foram adotados dados de precipitação diária dos anos de julho de 2016 a junho de 2017, obtidos pela estação meteorológica de Maringá (código: A835), sob responsabilidade do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

A metodologia utilizada foi a de Rufino, Biscaia e Merten (1993), que determina o potencial erosivo para o Estado do Paraná. A partir dos dados pluviométricos para a determinação de coeficientes de chuva, da relação de potencialidades erosivas, da densidade média, anual e do fluxo de energia, os autores delimitaram oito regiões isoerosivas, com diferentes características do fator R. Para cada uma delas, foi criada uma equação com diferentes coeficientes angulares e lineares, tendo por objetivo gerar melhores resultados ao pesquisador. No presente trabalho, adotou-se a Equação da Região Isoerosiva (2), na qual:

$$Eim = 16,73 + 4,02 \frac{p^{9,80665}}{P} \quad (2)$$

Onde:

Eim= Índice mensal de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.Mês)

p = Precipitação média mensal em milímetros

P = Precipitação média anual em milímetros; 9,80665 – Conversão de Kgf.m para MJ

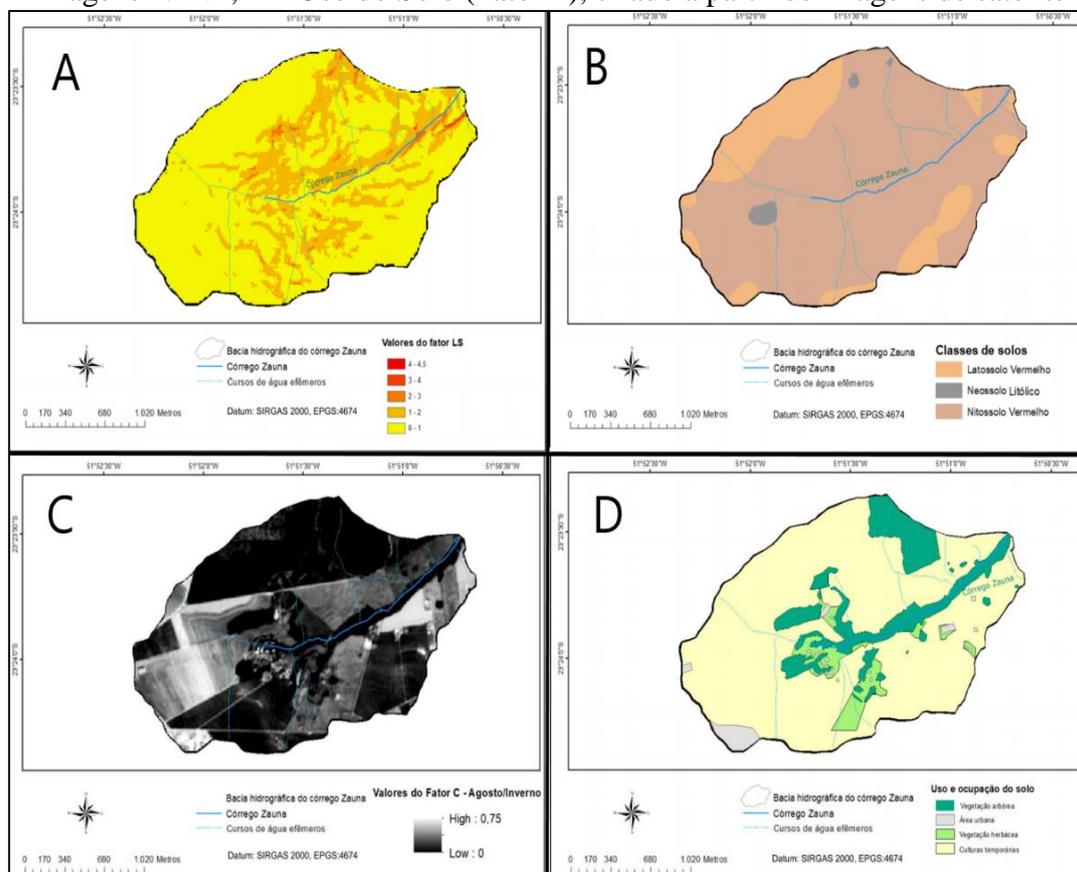
Para o cálculo do fator LS, foi necessário criar anteriormente uma rede de pontos altimétricos interpolados (TIN), simulando um Modelo Digital de Elevação, dado que os MDE atuais gratuitos possuem espaçamento de 30 metros por pixel, como o SRTM, por exemplo. Com o intuito de obter uma melhor resolução da realidade, principalmente para estudos em pequenas áreas, utilizaram-se dados de cartas topográficas com curvas de nível de boa espacialização a fim de que fossem extraídos e transformados em TIN - *Triangulated Irregular Network*, apresentando menor generalização de dados comparado ao MDE - *SRTM*.

No que tange à obtenção do fator C, uso e ocupação do solo, foi utilizado o método semiautomático do *Gisus-M*, que utiliza imagens NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*, objetivando analisar a condição da vegetação natural e agrícola. Assim sendo, a imagem NDVI foi gerada a partir de seis (6) imagens do satélite *Sentinel - 2*, que possui espacialização de 15 metros, sendo quatro (4) imagens correspondentes às estações do ano, uma imagem correspondente ao solo coberto e a última correspondente ao solo exposto a fim de gerar a EUPS para cada situação.

Já para a obtenção do fator P, foram digitalizadas imagens do satélite Digital Globe (2017) com finalidade de classificar as práticas conservacionistas da área de estudo. A partir de tais arquivos vetoriais, foram gerados arquivos *shapefiles* com valores de P para serem utilizados no programa *Gisus-M*.

Por fim, no processo de integração dos fatores da EUPS (Figura 2) (Quadro 1), foi utilizado o *Gisus-M*, a extensão (*Add-in*) para *Arcgis* (OLIVEIRA *et al.*, 2015), com o intuito de facilitar a aplicação da EUPS, proporcionando ao pesquisador usuário a geração de dados em arquivos *shapefile* (*shp.*) e *raster* dos 6 (seis) fatores influenciadores da EUPS. Isso permite a obtenção de um resultado que possibilita o cálculo conjunto dos fatores L e S e P e C.

**Figura 2** – Cartas de A - Fator LS (topográfico), criado a partir de dados de hipsometria e curvas de nível; B - Solos (Fator K), criado a partir de fontes bibliográficas; C - Fator C, gerado a partir de imagens NDVI; D - Uso do Solo (Fator P), criado a partir de imagens de satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

**Quadro 1** – Valores utilizados para o fator K (erodibilidade), R (erosividade) e P (práticas conservacionistas), necessários para a geração da EUPS

	Fator K	Fator R	Fator P
	Latossolo Vermelho: 0,38	Verão: 1007,3	Curvas de nível: 0.5
	Nitossolo Vermelho: 0,07	Outono: 829,3	Cordões de vegetação permanente: 0.2
	Neossolo Litólico: 0,11	Inverno: 216,4	Áreas de preservação permanente: 0.2
		Primavera: 519	
Unidades	T.ha.h/ha	Mj.mm/ha.h.saz	Adimensional

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

A EUPS gera o total de sedimentos produzidos por uma bacia hidrográfica em um período sem considerar se os sedimentos produzidos foram retidos em áreas de topografia que impedem o caminho até o córrego ou se foram transportados até o exutório da bacia hidrográfica. Assim sendo, com o intuito de calcular essa diferença entre sedimentos retidos e transportados, foi utilizada a RPS, que determina os sedimentos transportados até o exutório, efetuando uma subtração entre a EUPS e a RPS. Ademais, foi possível identificar a quantidade de sedimentos retidos no interior da bacia hidrográfica.

### 2.3. Razão de Produção de Sedimentos

A Equação da Razão de Produção de Sedimentos surgiu com Khanbilvardi e Rogowski em 1984, com a intenção de corrigir o resultado final da EUPS, visto que esta não tem o objetivo de diferenciar a quantidade de sedimentos que se depositam ao longo da bacia ou que são transportadas pelo rio. Assim, para a realização deste trabalho, foram testadas 6 metodologias da RPS com o intuito de obter o melhor resultado para as condições da pesquisa. São elas, as de Maner (1958) (Equação 3), Williams e Berndt (1977) (Equação 4), Renfro (1975) (Equação 5), Vanoni (1975) (Equação 6), USDA (1979) (Equação 7) e USDA – NRCS (1982) (Equação 8).

$$\log(SDR) = 2,943 - 0,824 * \log\left(\frac{L}{F}\right) \quad (3)$$

$$SDR = 62,7 * Srio^{0,403} \quad (4)$$

Onde (S) é a declividade do curso principal

$$SDR = 0,42 * \text{Área em milhas}^{-0,125} \quad (5)$$

$$\log(SDR) = 1,7935 - 0,14191 * \log(\text{Área em km}^2) \quad (6)$$

$$SDR = 0,51 * \text{Área em milhas}^{-0,11} \quad (7)$$

$$SDR = 0,417762 * \text{Área milhas}^{-0,134958} - 0,1277097 \quad (8)$$

Para a escolha do método mais adequado à área, foi mensurada a média de todas as equações e escolhida a que obteve a menor diferença com a média. Após o cálculo da SDR, foi possível estimar a redução do aporte de sedimentos empregada em estudos sedimentológicos a fim de estimá-la em toneladas. Neste estudo, foi aplicada a metodologia utilizada em Chaves (2010) e em Renfro (1975). A Equação (9) se dá por:

$$SDR = Y/E \quad (9)$$

Onde:

SDR = relação de aporte de sedimentos

Y = produção de sedimentos no exutório

E = erosão total da bacia (EUPS)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. EUPS Sazonal

##### Verão

Os resultados obtidos para as perdas de solo no período de verão apresentaram em mais de 90% da bacia hidrográfica, perdas menores que 3 ton.saz, de modo que a segunda maior percentagem observada na perda de solo é na classe acima de 50 ton.saz com 4,98% (Quadro 2).

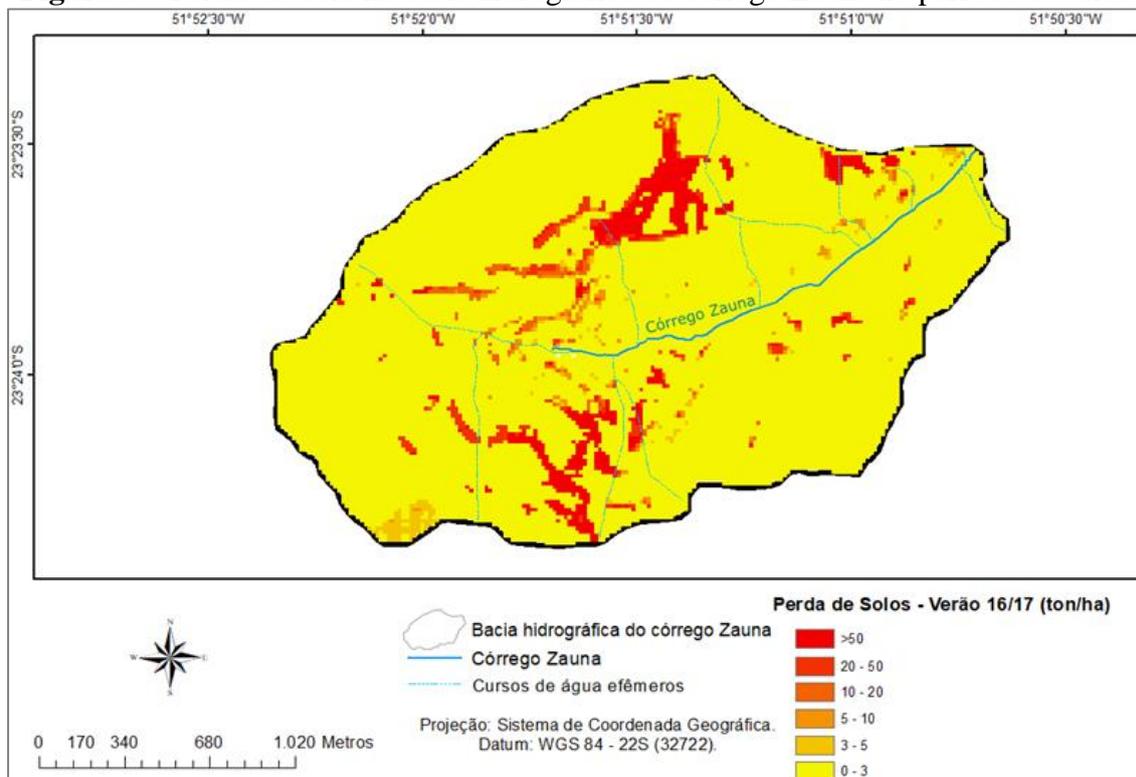
A distribuição espacial das perdas de solos do verão (Figura 3) apresentaram uma maior frequência das classes 20-50 e acima de 50 nas áreas de maior declividade encontradas nos setores norte, sul e nordeste da bacia estudada, além de pequenas manchas bem distribuídas.

**Quadro 2** – Porcentagem das perdas de solo no verão da bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	90,39%	1,06%	0,74%	0,98%	1,85%	4,98%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

**Figura 3** – Perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna no período de verão



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

## Outono

A classe de maior influência no outono também foi a de 0-3 ton.saz, com 96,58% da área, seguida pelas classes 3-6 e 20-50, com, respectivamente, 1,05% e 0,90%. A classe de menor expressão foi a maior que 50, com 0,25% (Quadro 3).

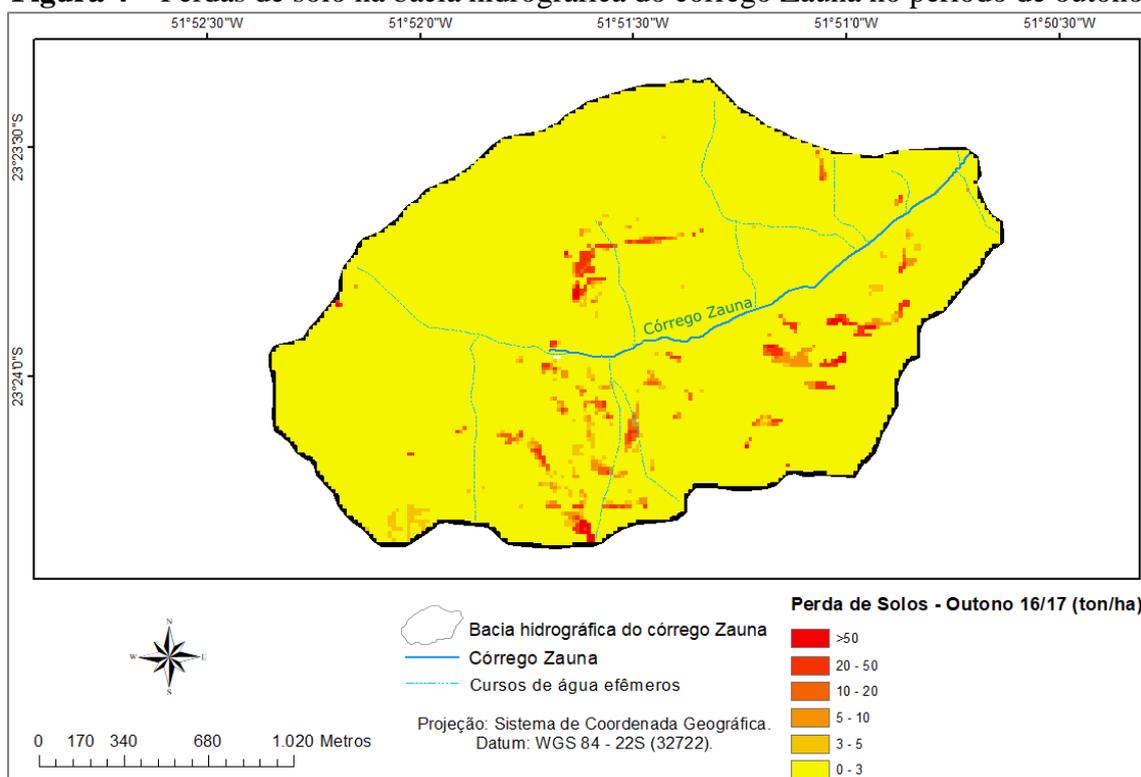
A distribuição espacial, representada pela Figura 4 para o período de outono, indica uma maior concentração das classes de 3 a maior que 50 nas porções sul da bacia hidrográfica, além de manchas distribuídas entre o centro e sudeste.

**Quadro 3** – Perdas de solo em porcentagem no outono da bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	96,58%	1,05%	0,63%	0,60%	0,90%	0,25%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

**Figura 4** – Perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna no período de outono



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

## Inverno

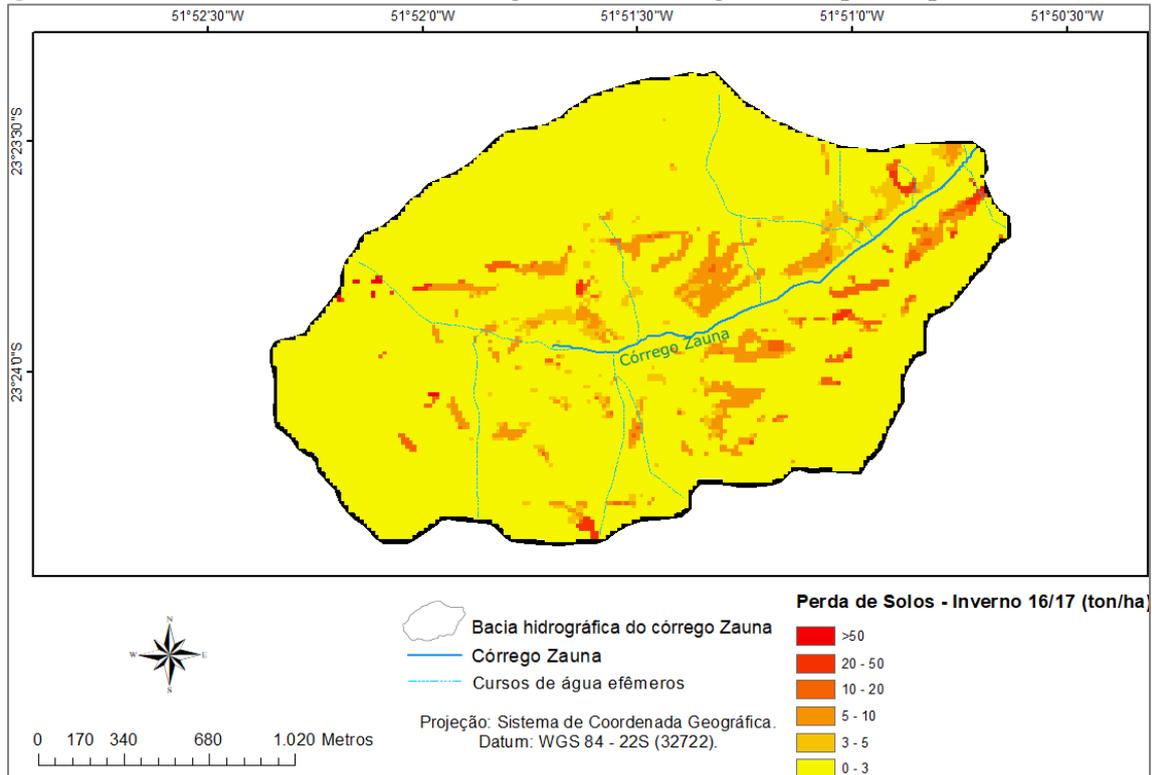
No período de inverno, percebeu-se que mais de 90% da área apresentou valores menores que 3 ton.saz. As demais classes somadas apresentaram aproximadamente 10% da área, sendo a classe 3-6 ton.saz a de segunda maior representatividade (Quadro 4).

O mapa de perdas de solo do inverno (Figura 5) apontou a classe 0-3 ton.saz predominante em toda a área. Ademais, é possível verificar que as outras classes se associam a sua topografia, em locais onde a tendência é a concentração de perda de solos ao longo de setores das vertentes.

**Quadro 4** – Perdas de solo em porcentagem no inverno para a bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	91,16%	4,59%	2,57%	1,14%	0,45%	0,09%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

**Figura 5** – Perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna para o período de inverno

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

## Primavera

Novamente, a classe 0-3 ton.saz apresentou maior representatividade na área, com 79%, porém, sendo a menor entre as quatro estações analisadas. A classe com segunda maior expressão foi a de 20-50 ton.saz, com 14,58% (Quadro 5).

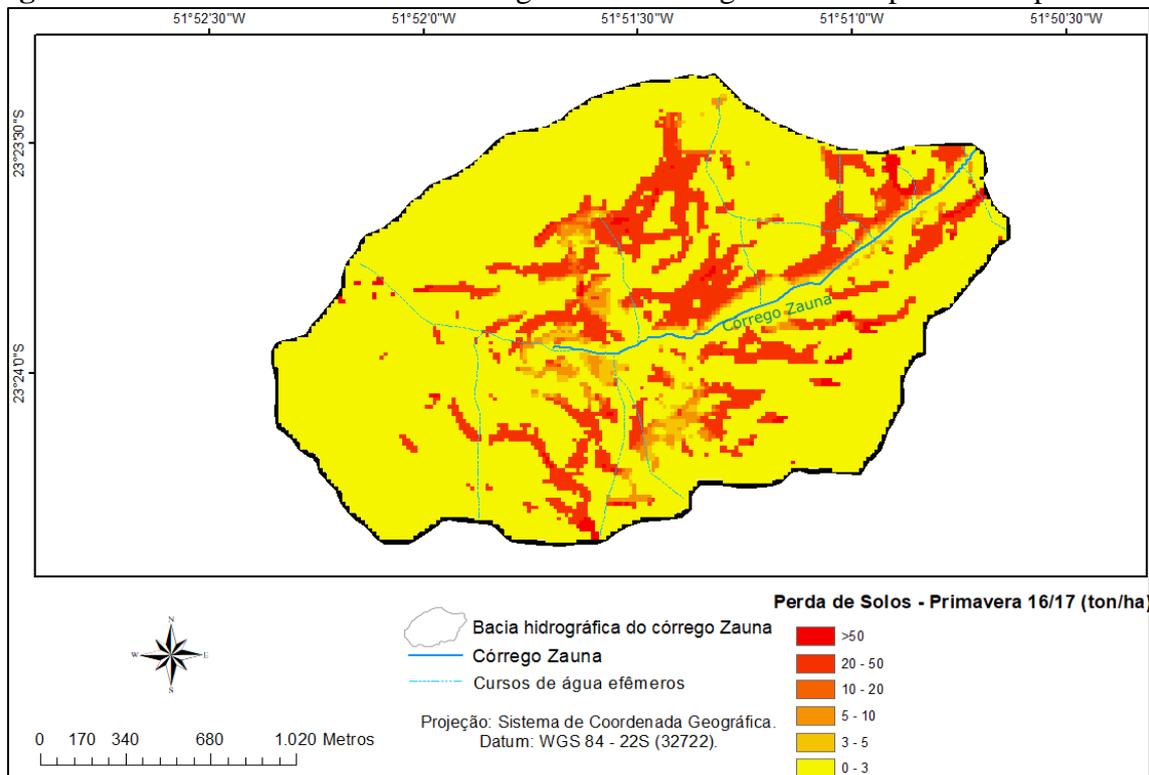
**Quadro 5** – Perdas de solo em porcentagem, para o período de primavera, da bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	79,41%	2,10%	1,46%	1,25%	14,58%	1,20%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na carta da EUPS no período de primavera (Figura 6), foi possível perceber uma maior erosão laminar se comparada às outras estações em decorrência de maiores períodos de precipitações, principalmente com as duas maiores classes, 20-50 e maior que 50.

**Figura 6** – Perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna no período de primavera



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

### 3.2. EUPS ANUAL

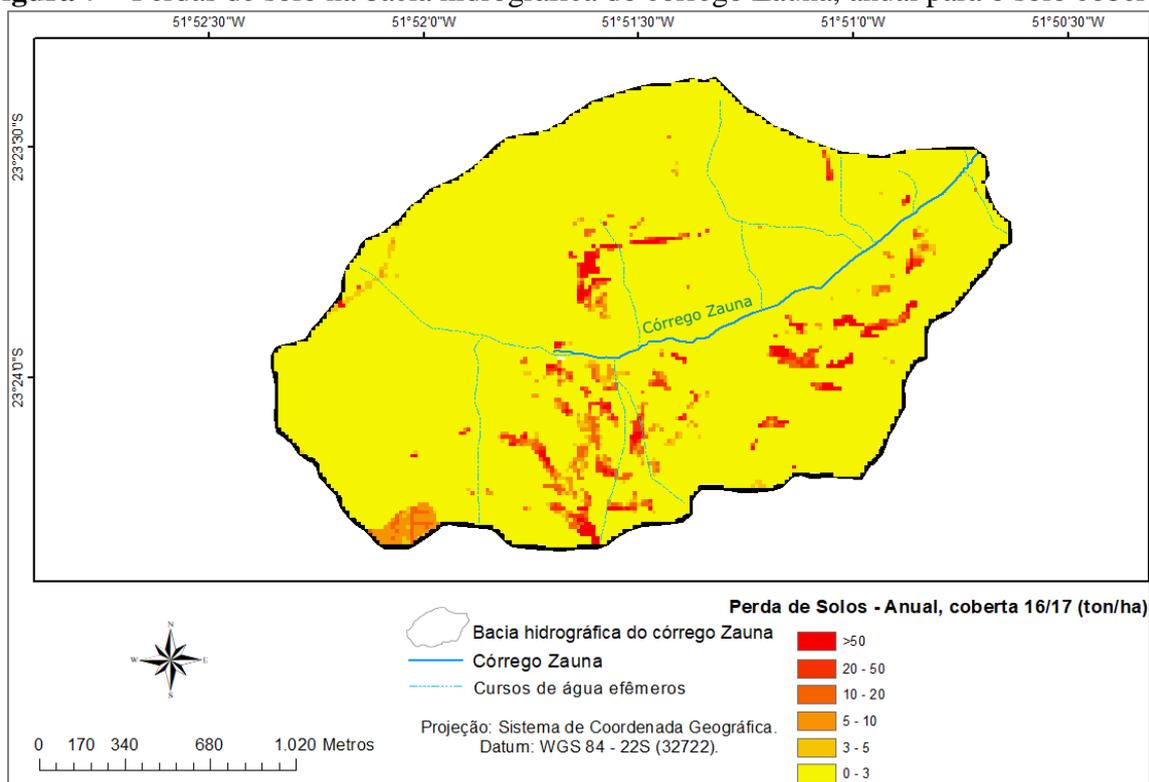
#### Perdas em solo coberto

As perdas de solo para um simulado com vegetação desenvolvida (solo coberto) baseadas na imagem de NDVI de 17 de junho de 2017, ilustradas na Figura 7, denotam maior representatividade das classes 0-3 ton.ano, com 93% da área, que por si só já considera a bacia hidrográfica pouco influenciada pela erosão laminar. A soma das outras classes se aproxima de 7% (Quadro 6).

**Quadro 6** – Perdas de solo em porcentagem, anual para o solo coberto, na bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	93,88%	1,04%	1,33%	1,24%	1,16%	1,36%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

**Figura 7** – Perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna, anual para o solo coberto

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados evidenciaram a pequena área urbana da bacia hidrográfica considerando-a entre as classes 10-20 e 20-50. Assim sendo, as classes de maiores perdas de solo se distribuíram entre o centro, sul e sudeste da bacia hidrográfica, devido à cobertura vegetal e fator LS. Além disso, o valor anual de perdas utilizando o método de contagens de pixels resultou em 12,77 ton.ano.

### Perdas em Solo exposto

O mapa foi baseado na imagem de NDVI da data de 19 de novembro de 2016, quando grande parte da área estava exposta. Desse modo, a classe com maior relevância foi a menor que 3 ton.ano, com 55,14% da área total, seguida pelas classes 3-6 ton.ano e maior que 50 ton.ano. Nesse contexto, a última classe causou a impressão de que, quase em sua totalidade, a bacia hidrográfica do córrego Zaúna é muito erodida. O valor anual de perdas, utilizando o método de contagens de pixels, resultou em 52,287 ton.ano (Quadro 7).

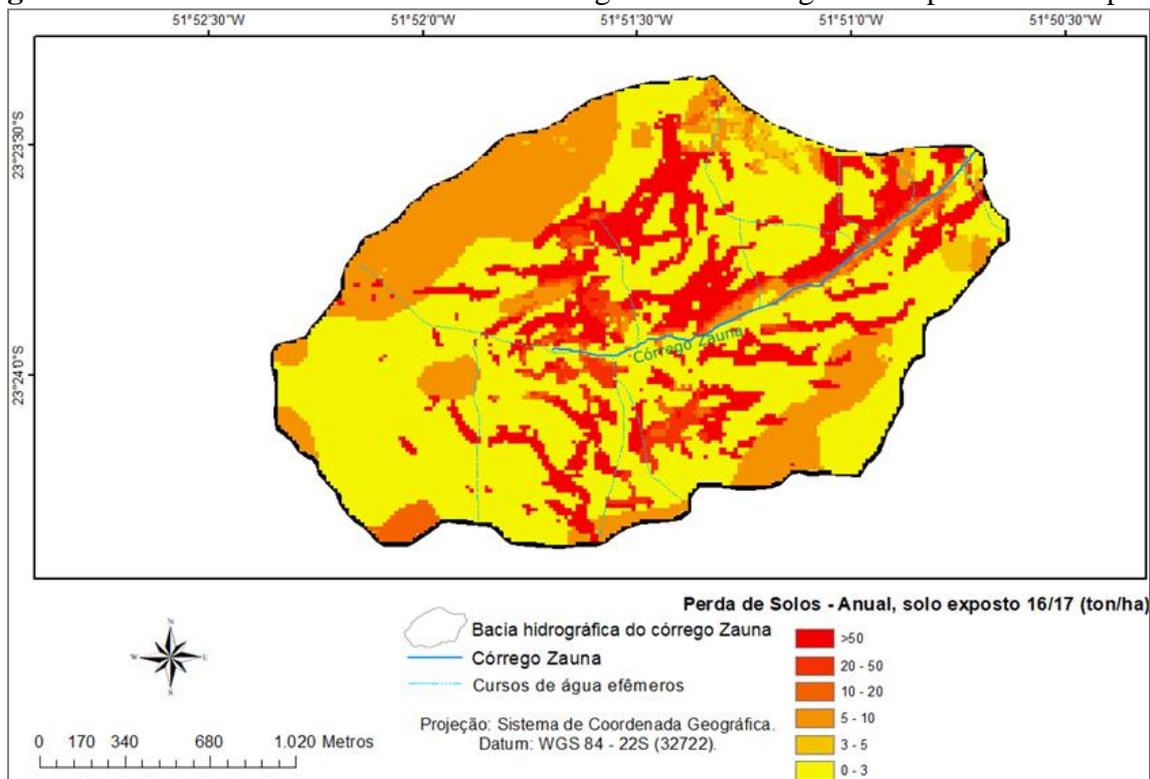
**Quadro 7** – Perdas de solo em porcentagem anual para o solo exposto na bacia hidrográfica do córrego Zaúna

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	55,14%	19,75%	2,17%	2,52%	3,15%	17,26%

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

Observa-se maior frequência de perda de solo em todas as classes quando comparadas aos demais períodos, com destaque para a classe maior que 50 (Figura 8).

**Figura 8** – Perdas anuais de solo na bacia hidrográfica do córrego Zaúna para o solo exposto



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

### 3.3. Razão de produção de sedimentos (RPS/RAS)

O único fator não topográfico necessário para a realização da RPS é a EUPS anual da bacia hidrográfica do córrego Zaúna, assim, por conta desse fato, utilizou-se a média das EUPS anuais, expostas e cobertas, que resultou em 32,528 ton.ano. Em seguida, foram calculadas as metodologias.

A metodologia de Williams e Berndt (1977) mensurou a RPS com a maior diferença com a média com -15,91 (Quadro 8), a qual resultou em um aporte de sedimentos extrapolados superior ao total de perda de solos calculado pela EUPS. O método de Vanoni (1975), por sua vez, obteve a menor diferença em relação à média (0,04), indicando que apenas 27,18% dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica foram transportados para seu exutório e 72,82% dos sedimentos erodidos permaneceram retidos em seu interior.

**Quadro 8** – Resultados da RPS/RAS para a bacia hidrográfica do córrego Zaúna, sendo a de Williams e Berndt (1977) com a maior diferença com a média e a de Vanoni (1975) e USDA- NRCS (1982)

EQUAÇÕES SDR	SDR	Média	Dif. com a média	Ap. de Sed.	Ap.de Sed (%)	Sed. Retidos (%)
Maner ( 1958)	0,23	0,316	0,087	7,445	20,99	79,01
Williams - Berndt ( 1977)	16,23		-15,914	527,938	1623,4	-1523,4
Renfro ( 1978)	0,23		0,082	7,598	23,33	76,67
Vanoni (1975)	0,27		0,044	8,841	27,18	72,82
USDA(1979)	0,49		-0,175	15,950	49,01	50,99
USDA-NRCS(1983)	0,27		0,045	8,815	27,09	72,91

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os métodos de Maner (1958), Renfro (1975) e USDA-NRCS (1982) obtiveram valores bem próximos aos de Vanoni (1975), ao passo que o da USDA obteve a porcentagem com mais erros em comparação às outras (Quadro 8).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos e as metodologias aplicadas ratificam que o uso de técnicas de Geoprocessamento para a análise, manuseio e espacialização de dados em ambientes SIG colaboram para estudos na área ambiental e, principalmente, na Geografia. Isso porque foi possível não só coletar os dados apresentados neste trabalho, como também realizar inúmeros testes que necessitariam de melhorias e correções a fim de encontrar resultados finais pertinentes.

Para a elaboração semiautomática do fator LS no *Gisus-M* em uma bacia hidrográfica de primeira ordem, foi primordial a digitalização de uma carta com curvas de nível de 5 metros, visto que o maior detalhamento auxilia o cálculo da EUPS. Os resultados tanto sazonais quanto anuais demonstraram valores relativamente baixos, com a principal classe de perda de solos sendo de 0 -3 ton., estando, assim, de acordo com outras pesquisas já citadas, levando em consideração o tamanho da área estudada.

Os baixos valores apresentados nas EUPS geradas se devem principalmente a dois fatores: o topográfico (LS) e o de uso e ocupação do solo (C). O fator topográfico (LS) teve essa influência, pois as áreas mais planas e a alta vertente da bacia hidrográfica são os locais onde houve a menor frequência de classes acima de 0-3 ton. O fator uso e ocupação do solo (C), em contrapartida, teve maior influência na perda de solos representado pela vegetação. Isso porque, comparando as EUPS anuais de vegetação majoritariamente coberta e de solo exposto sem diferença de nenhum dos outros fatores, a espacialização e frequência das classes de maior valor, como a maior que 50, aumentou demasiadamente.

Ademais, os valores obtidos nas EUPS sazonais confirmaram uma maior perda de solos nas estações de primavera e verão. A primeira apresentou valores somados das classes 50 e maiores que 50, em que mais de 15% pertencem à área da bacia hidrográfica, e a segunda apresentou a soma de aproximadamente 7%. Em contraste, as estações de inverno e outono denotaram a soma das duas classes, respectivamente, de 0,5% e 1% aproximadamente.

Considerando a premissa de que apenas 1/3 dos sedimentos produzidos por uma bacia hidrográfica são transportados além do exutório, a RPS estimou que somente 27,18% dos sedimentos da bacia hidrográfica do córrego Zaúna vão para o exutório e são carregados ao ribeirão Sarandi, ao passo que 72,82% dos sedimentos permanecem na bacia e ficam retidos em seu interior.

No que se refere ao uso do *add-in Gisus-MI*, este proporcionou facilidade no manuseio de dados vetoriais e matriciais, porém ressalta-se que é necessário um conhecimento intermediário em Geoprocessamento para obter tais dados no SIG *Arcgis*, visto que os procedimentos requerem testes e prática.

Por fim, destaca-se também que o estudo de aplicações metodológicas minuciosas em escalas de bacias hidrográficas de primeira ordem se mostrou importante, dado que qualquer característica física de uma área pode interferir na dinâmica natural do local. Todavia é importante salientar que metodologias diferentes podem gerar resultados diferentes, de modo que é preciso realizar testes e comparações conforme as quais foram aqui apresentadas. Assim, quanto mais detalhado for o diagnóstico, melhor será o planejamento, assegurando a qualidade ambiental para a atual e as futuras gerações.

#### AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPQ pela concessão de bolsa de mestrado e à Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. *et al.* **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Editora Livroceres, 1985.
- BONIFÁCIO, C. M.; SILVEIRA, H.; NÓBREGA, M. T. Espacialização e tolerância à perda de solo na Unidade Hidrográfica do Piraponema - PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.13, n.3, p. 83-93, 2017.
- BONIFÁCIO, C. M.; UEMA, D. Y.; TAVARES, C. R. G. Monitoramento do aporte de sólidos suspensos nas águas da bacia hidrográfica do rio Pirapó - PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n.3, p. 258-269, 2015.
- CAVIGLIONE, J. H. *et al.* **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR; CD, 2000.
- CHAVES, H. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 34, n.4, p. 1469-1477, 2010.
- DIGITAL GLOBE. **Imagem de satélite**: córrego Zaúna. Google Earth, 2017.
- KHANBILVARDI, R. M.; ROGOWSKI, A. S. Quantitative evaluation of sediment delivery ratios 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 20, n.6, p. 865-874, 1984.
- MANER, S. B. Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n.4, p. 669-675, 1958.
- MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná – Secretaria da indústria do comércio e do turismo, 2001.
- MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**, Escala 1:250.000. Curitiba: Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná, 2006.
- NÓBREGA, M. T. *et al.* Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n.4, p. 107-119, 2015.
- OLIVEIRA, J. *et al.* A GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the universal soil loss equation: Gius-M. **American society of agricultural and biological engineers**, v. 31, n. 6, p. 907-917, 2015.
- RENFRO, G. W. **Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield, in present and prospective technology for predicting sediment yield and sources**. Washington: USDA, p. 33-45, 1975.
- RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: Terceira aproximação. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p. 439-444, 1993.

SANTOS, L. J. C. et. al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n.2, p. 3-12, 2006.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n.11, p. 1117-1142, 1952.

USDA - NRCS. **Channel evaluation workshop**. Presented at U.S army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center Training session by Lyle, J. Steffen. California, 1982.

USDA. **Universal standards for grade of American upland cotton**. Washington, 1979.

VANONI, V. Sedimentation Engineering. **ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice**. 54. ed. New York: American Society of Civil Engineers, 1975.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n.6, p. 1100-1104, 1977.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

---

**Data de submissão:** 30.01.2018

**Data de aceite:** 28.10.2020

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.