

## PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CANDIOTA SOB DIFERENTES CENÁRIOS DE USO DO SOLO

Mayara Zanchin <sup>1</sup>; Maíra Martim de Moura <sup>2</sup>; Maria Cândida Moitinho Nunes <sup>3</sup> & Samuel Beskow <sup>4</sup>

**ABSTRACT** – The erosion process occurs naturally, helping to model the earth's surface. However, water erosion can negatively affect the environment, especially when intense human activities occur, such as inappropriate land use. Mathematical models have been used as lower and cheaper alternatives, to identify places with a higher susceptibility of soil loss at the level of the watershed. In Brazil, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is one of the most common soil loss prediction models. RUSLE uses some factors to estimate average annual losses, namely: erodibility (K), erosivity (R), topographic (LS), land use and management (C), and conservationist practices (P). Generally, images from Remote Sensing are used for quantification of factor C spatialization, however, the analysis of land use variation throughout the year is not usually performed. The objective of the study was to analyze the variations in the estimates of soil losses by RUSLE, in the Candiota jusante river watershed (BHACJ), using four images of land use, one for each quarter of 2013. The changes in land use in the BHACJ were quantified from the supervised classification of the images. Two scenarios were proposed: 1) RUSLE computed for each image, and 2) RUSLE computed considering a weighted between the images. Average R factor ( $9299.88 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) and the majority presence of Argisols in BHACJ favor soil loss in the watershed. However, obtained LS values indicate low or very low susceptibility to erosion. Scenario 1 presented the lowest losses in period 1 (January to March:  $35.66 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ), and the highest, in period 3 (July to September:  $83.15 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ). In the Scenario 2 the average soil loss obtained was equal to  $62.84 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ . Through the results obtained, it is understood that conducting a spatial and temporal analysis of land use is important, so that there are no under or overestimations of soil losses at BHACJ. Besides, that is observed which are locations in the watershed that need attention regarding soil management.

**Palavras-Chave** – RUSLE, Sensoriamento Remoto, Erosão Hídrica.

1) Universidade Federal de Pelotas, Av. Eliseu Maciel S/N, Capão do Leão (RS), zanchinmayara@gmail.com, (53) 3275-7267

2) Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro 01, Pelotas (RS), martimdemoura@gmail.com, (53) 3284-3841

3) Universidade Federal de Pelotas, Av. Eliseu Maciel S/N, Capão do Leão (RS), nunes.candida@gmail.com, (53) 3275-7267

4) Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro 01, Pelotas (RS), samuel.beskow@ufpel.edu.br, (53) 3284-3841

## 1 - INTRODUÇÃO

O processo de erosão acelerada do solo, ao contrário do processo de formação pedogenético natural, tem como fatores principais o crescimento das atividades humanas, com urbanização, desmatamento, agricultura e competição espacial pelo uso da terra. Quando ocorre de forma acelerada, a erosão hídrica afeta diretamente a qualidade do solo e os recursos hídricos, aumentando a perda da camada fértil e provocando assoreamento de corpos hídricos.

Desse modo, há uma necessidade crescente de ferramentas que favoreçam o gerenciamento eficiente e otimizado dos recursos naturais. No Brasil, a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997) é amplamente utilizada para prever a erosão hídrica. O modelo estima a perda média anual de solo por meio de parâmetros que relacionam a erosividade e a erodibilidade com a topografia e o manejo e cobertura do solo para o local de estudo. Com o advento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a incorporação de produtos do Sensoriamento Remoto, tais como modelos digitais de elevação (MDE), imagens de satélite e mapas digitalizados, os fatores da RUSLE passaram a ser analisados espacialmente, variando pixel a pixel.

Além da análise espacial, em bacias hidrográficas com variações na cobertura do solo ao longo do ano, a análise temporal também é necessária. Neste contexto, a utilização de mais de uma imagem de uso do solo é de grande importância e requer a utilização de técnicas de classificação, tais como a classificação supervisionada. É necessário conhecimento prévio da área para seleção das amostras de treinamento e posterior identificação das amostras referentes a cada classe de uso do solo existente. Geralmente, a validação é realizada por meio da matriz de confusão e da aplicação do Índice Kappa (Cohen, 1960), os quais fornecem indicativos acerca da precisão e da qualidade da classificação realizada.

Um exemplo de local com grandes mudanças do uso do solo ao longo do ano é a bacia hidrográfica do arroio Candiota (BHAC), localizada no município de Candiota, no sul do Rio Grande do Sul. A BHAC possui intensa atividade antrópica, principalmente relacionada à mineração, e uma de suas principais sub-bacias apresenta potencial futuro para extração mineral: a sub-bacia arroio Candiota jusante (BHACJ). Haja vista a suscetibilidade da BHACJ em sofrer processos erosivos e os possíveis impactos decorrentes de alterações no uso do solo, o objetivo deste estudo foi analisar as perdas médias anuais estimadas pelo modelo RUSLE, com base em quatro diferentes imagens do uso do solo. Para isto, foram propostos dois cenários de análise: 1) avaliando a perda de solo média anual considerando cada uma das imagens de forma isolada, como tradicionalmente é realizado; 2) avaliando a perda de solo média anual com base em uma ponderação das imagens de uso selecionadas.

## 2 - METODOLOGIA

### 2.1 - Área de Estudo

O estudo compreendeu a bacia hidrográfica arroio Candiota jusante (BHACJ), inserida no município de Candiota, ao sul do Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1). O monitoramento da bacia é de responsabilidade da Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE) e as informações referentes ao seu monitoramento encontram-se disponíveis no portal Hidroweb/ANA, sob o código 88181000. A delimitação da BHACJ foi realizada no software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014), utilizando o MDE *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) (FARR *et al.*, 2007), com resolução espacial de 30m.

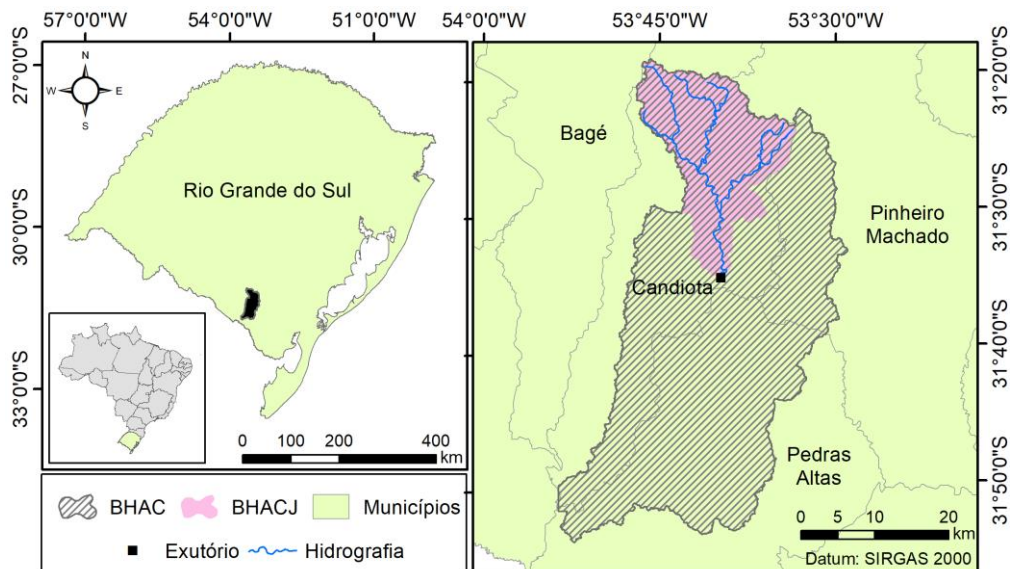


Figura 1 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do arroio Candiota jusante (BHACJ).

A BHACJ possui área de drenagem de 314,61 km<sup>2</sup> e declividade média igual a 7,85%. O clima na região da BHACJ é classificado como Cfa, zona subtropical úmida com verão quente e precipitação média anual de 1465 mm (Alvares *et al.*, 2014). Totalmente inserida no Bioma Pampa, a BHACJ compreende, majoritariamente, solos do tipo Argissolos (71,25%), além de afloramentos rochosos em associação com Neossolos Litólicos e Regolíticos (12,57%), Chernossolos (6,41%), Gleissolos (5,23%) e Neossolos (4,54%).

### 2.2 - Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

A Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997) foi utilizada para estimar a perda média anual de solo, baseada nos fatores que influenciam a taxa média de erosão, conforme Equação 1.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que: A é a perda média anual de solo por erosão hídrica [ $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ]; R é a erosividade média anual das chuvas [ $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ]; K é a erodibilidade dos solos [ $\text{Mg}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ]; LS é o fator topográfico que engloba o comprimento do declive (L) e a inclinação do terreno (S) [adimensional]; C é o fator de cobertura do solo [adimensional] e P é o fator de práticas conservacionistas complementares [adimensional].

O fator erosividade (R) indica o potencial erosivo das chuvas, refletindo os impactos de várias características, e.g. duração, magnitude e intensidade. O modelo utilizado para obtenção do fator R foi o proposto por Mello *et al.* (2013), o qual permite estimar a erosividade em função da latitude, longitude e altitude, com base no MDE.

O fator erodibilidade (K) expressa a suscetibilidade de um solo à erosão. Os valores para o fator K foram obtidos na literatura (Zanchin, 2020), com base nas classes de solos presentes na BHACJ, apresentadas por Cunha *et al.* (2006).

O fator topográfico (LS) combina os fatores comprimento (L) e inclinação (S) do terreno, sendo o principal envolvido na caracterização da direção e velocidade de escoamento superficial. Para obtenção dos valores de LS utilizou-se a metodologia de Moore e Burch (1986).

Para a obtenção do fator cobertura (C), o qual está relacionado ao uso e manejo do solo e da cobertura, optou-se pela classificação de diferentes imagens de uso do solo referentes ao ano de 2013, uma para cada trimestre. A escolha do ano ocorreu em virtude da disponibilidade de imagens adequadas para classificação, de forma a contemplar as alterações de uso do solo que ocorrem ao longo do ano na bacia. Os valores de C para as classes de uso da BHACJ foram obtidos com base na literatura (Zanchin, 2020).

Devido à dificuldade em obter o fator de práticas conservacionistas (P), com detalhamento adequado e por meio de imagens de satélite, foi adotado  $P = 1$ . Assim, assumiu-se a pior situação a campo, em que não existem práticas conservacionistas complementares na área de estudo.

A perda média anual de solo foi obtida por meio da álgebra de mapas, realizada no software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014), sob dois cenários: considerando cada uma das quatro imagens de uso (cenário 1) e usando a ponderação das quatro imagens (cenário 2). O cenário 1 contempla o que tradicionalmente é realizado para a estimativa das perdas: uso de uma única imagem de uso do solo, o que tende a sub ou superestimar as perdas em locais com variação da cobertura do solo ao longo do ano, seja em virtude do uso agrícola, seja por intervenções antrópicas.

### 2.2.1 - Classificação do uso do solo utilizando produtos do Sensoriamento Remoto

Para a obtenção das imagens de uso do solo, optou-se pela classificação supervisionada (método de máxima verossimilhança - MaxVer), realizada no software QGIS 3.10.4 (QGIS, 2020). A validação do método foi verificada por meio da matriz de confusão e do Índice Kappa ( $I_k$ ), o qual faz referência à qualidade da classificação realizada (Cohen, 1960). Cabe ressaltar que um valor entre  $0,8 > I_k \geq 1,0$  indica como “excelente” a qualidade da classificação. As imagens utilizadas foram obtidas em 6 de março (período 1), 17 de maio (período 2), 5 de agosto (período 3) e 8 de outubro (período 4) de 2013. A imagem do período 1 foi obtida pelo satélite Landsat 7 e, as demais, pelo Landsat 8, ambos na órbita-ponto 222082 e com resolução espacial de 30m.

Para a classificação supervisionada, foram geradas composições falsa-cor 5-4-3 e 6-5-4, respectivamente para as bandas dos sensores *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+)/Landsat 7 e *Operational Terra Imager* (OLI)/Landsat 8. Salienta-se que as imagens ETM+ do Landsat 7 apresentam uma falha permanente no corretor de linha de varredura (*Scan Line Correction*). O preenchimento das falhas (gaps) das linhas das imagens do sensor foi realizado por meio da ferramenta Landsat *Gapfill* no software ENVI 4.7 (ITT, 2009).

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os valores obtidos para os fatores K, R e LS espacializados ao longo da BHACJ. As porcentagens de área para cada classe de uso do solo na BHACJ, para as imagens utilizadas, bem como os valores para o fator C de cada classe encontram-se na Tabela 1.

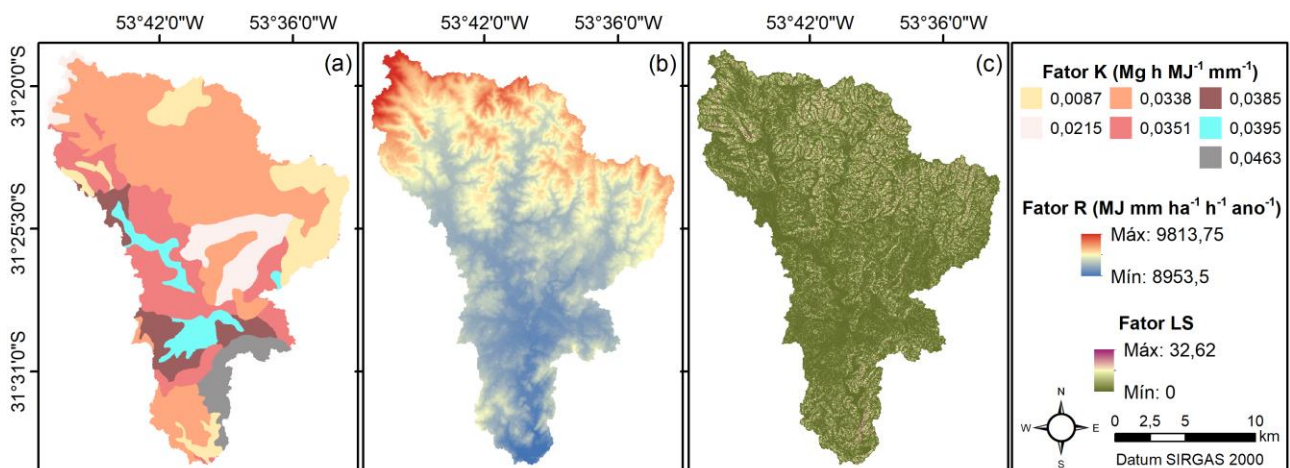


Figura 2 - Fatores (a) erodibilidade, (b) erosividade e (c) topográfico observados para a bacia hidrográfica arroio Candiotá jusante (BHACJ).

Tabela 1 – Índice Kappa ( $I_k$ ) e porcentagem dos usos do solo para cada uma das imagens classificadas da bacia hidrográfica arroio Candiota jusante (BHACJ), bem como os valores para o Fator C utilizados

Ano/Período	$I_k$	% de área da BHACJ						
		Corpo Hídrico	Vegetação Nativa	Pastagem	Reflorestamento	Cultura Anual	Solo Exposto	
2013	1	0,93	1,76	10,99	66,32	8,59	7,77	4,57
	2	0,95	1,76	9,09	67,00	7,64	6,13	8,38
	3	0,94	1,76	8,61	63,18	8,21	5,00	13,24
	4	0,94	1,76	7,16	60,02	7,61	12,75	10,70
Fator C		0,000	0,015	0,050	0,121	0,216	1,000	

Conforme a Figura 2, o fator erosividade na BHACJ foi classificado como forte a muito forte (Carvalho, 2008), com valor médio de  $9299,88 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Os Argissolos compreendem quase 72% da extensão total da bacia e são considerados solos com alta suscetibilidade à perda, devido à presença de horizonte A eluvial (Miguel et al., 2014). Apesar de variar de 0 a 32,62, os valores de LS obtidos para a BHACJ indicam baixa ( $LS \leq 1$ ) ou muito baixa ( $1 < LS \leq 2$ ) suscetibilidade à erosão em 77% da área, segundo classificação de Fornelos e Neves (2007). Além disso, seguindo mesma classificação, somente 4,5% da bacia apresenta LS com suscetibilidade à erosão forte ( $LS > 10$ ).

As perdas de solo médias obtidas para a BHACJ foram iguais a 35,66; 59,28; 83,15 e 73,27  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , respectivamente, para cada trimestre do Cenário 1. Para o Cenário 2, a perda média obtida foi igual a 62,84  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . As menores perdas foram observadas para o período que compreende os meses de janeiro a março (período 1), e as maiores, para o período de julho a setembro (período 3), como pode ser visualizado na Figura 3. As variações nos valores estimados nas perdas de solo estão diretamente relacionadas às porcentagens de solo exposto e tipo de cultivo agrícola (Tabela 1), devido ao elevado impacto que estas atividades causam ao solo.

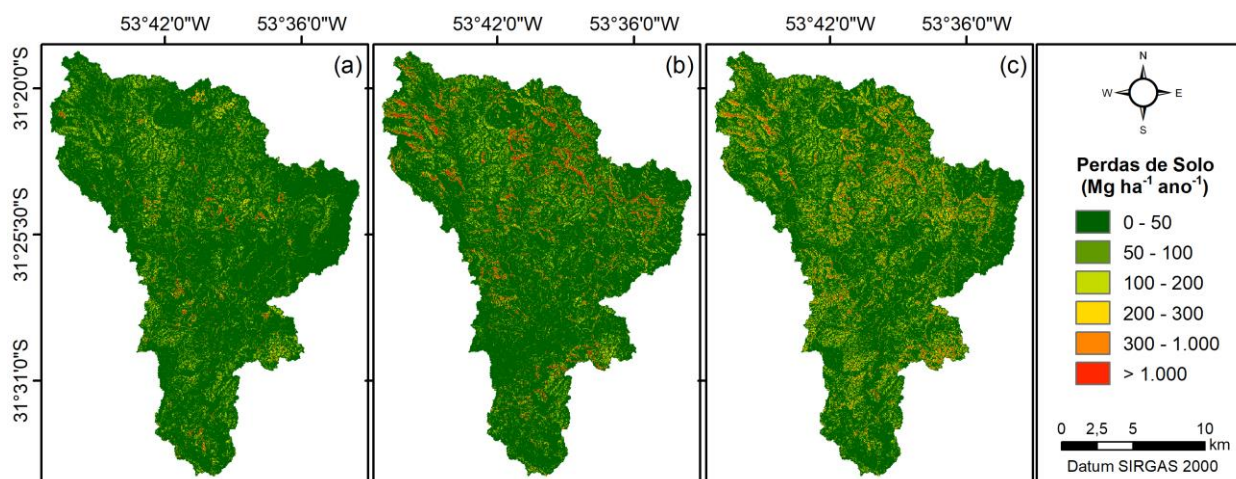


Figura 3 – Perdas de solo no cenário 1 do período (a) janeiro a março e (b) julho a setembro; assim como perdas de solo (c) no cenário 2 na bacia hidrográfica do arroio Candiota jusante (BHACJ).

O período 1 é marcado pelo início da floração e enchimento de grãos de soja (cultura predominante na bacia), o que acarreta na ampliação da cobertura do solo e na proteção contra impacto das gotas de chuva e escoamento superficial. O período 3 é referente à época de preparo do solo para posterior plantio, no qual o solo encontra-se mais suscetível, principalmente pela retirada da cobertura vegetal e seu revolvimento. As perdas obtidas para o período 2 foram inferiores às do período 4, uma vez que há maior presença de pastagens neste período e, conseqüentemente, maior cobertura vegetal no solo. Moura-Bueno *et al.* (2018) também observaram maiores perdas de solo em usos com preparo convencional, principalmente no mês de agosto e outubro na região do Rebordo do Planalto (RS).

Para o cenário 2, a perda de solo apresenta valor intermediário entre os períodos do Cenário 1. Este valor evidencia a importância da análise espacial e temporal do uso do solo, para que não ocorram sub ou superestimativas das perdas de solo na bacia hidrográfica. Na Figura 3 é possível perceber que há aumento de área da BHACJ com perdas estimadas entre  $50-100 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  para o Cenário 2. Entretanto, a área com perdas acima de  $1000 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  diminuiu, o que se deve ao fato de que foram consideradas as alterações no uso do solo ao longo do ano na BHACJ.

#### 4 - CONCLUSÃO

Por meio da variação na classificação dos usos do solo na bacia hidrográfica do arroio Candiota jusante (BHACJ) ao longo do ano, evidenciam-se mudanças nas estimativas finais de perdas pelo modelo RUSLE.

A predição da perda de solo na BHACJ tende a ser sub ou superestimada quando se utiliza apenas uma imagem de uso do solo para caracterização da área. O valor médio e a espacialização das perdas obtidas para o Cenário 2 evidenciam que a análise temporal do uso do solo é de grande importância para que as perdas estimadas representem a realidade da bacia.

Recomenda-se que os programas de gestão e conservação agroambiental sejam direcionados aos locais para os quais foram evidenciadas as maiores perdas, principalmente os que apresentam variação entre solo exposto e cultivo agrícola ao longo do ano.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa ao primeiro e segundo autor; bem como a Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE) por permitir visitas a campo e fornecimento de dados.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2014). "Köppen's climate classification map for Brazil". *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728.
- CARVALHO, N. O. (2008). "Hidrossedimentologia prática". Edição: 2ª. Rio de Janeiro: Interciência, 599p.
- COHEN, J. (1960). "A coefficient of agreement for nominal scales". *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, p. 37-46.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO, C. R. S. (2006). "Solos e terras do planalto Sul-Rio-Grandense e planícies costeiras". Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 55, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 42 p.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. (2014). "ArcGIS DESKTOP 10.1". CD-ROM.
- FARR, T. G. et al. (2007). "The Shuttle Radar Topography Mission". *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, G2004.
- FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. (2007). "Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo". *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59, n. 1.
- ITT - Visual Information Solutions. (2009). "ENVI User's Guide: Version 4.7". CD-ROM.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D. (2013). "Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil". *Geoderma*, v. 202–203, p. 88–102.
- MIGUEL, P.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MOURA-BUENO, J. M.; TIECHER, T. (2014). "Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 585-598.
- MOORE, I. D.; BURCH, G. J. (1986). "Physical Basis of the Length Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation". *Soil Science Society of America*, v. 50, p. 1294-1298.
- MOURA-BUENO, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P.; HORST, T. Z. (2018). "Erosion in hillside areas with fragile soils and their relation to soil cover". *Scientia Agraria*, v. 19, n. 1, p. 102-112.
- QGIS Development Team. (2020). "QGIS versão 3.10.4 Coruña". Geographic Information System Installation Guide. Open Source Geospatial Foundation Project.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (1997). "Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation". U.S. Department of Agriculture, Washington.
- ZANCHIN, Mayara. (2020). "Perda e aporte de sedimentos estimados pelos modelos RUSLE e SEDD em bacia hidrográfica de clima subtropical". Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 142 p.