

# **EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS REVISADA (RUSLE) PARA QUANTIFICAÇÃO DE PERDA DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOITÁ, ZONA DA MATA DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Raul Gomes da Silva<sup>1</sup>  
Joana Gabrielly Carias do Nascimento<sup>2</sup>  
Caio Maurício Eurico de Oliveira<sup>3</sup>  
Danielle Gomes da Silva Listo<sup>4</sup>

**Resumo:** Este estudo aplicou a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE) para quantificar a perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Goitá, localizada na Zona da Mata de Pernambuco. A substituição da vegetação nativa por atividades econômicas, como a agricultura e o crescimento urbano, tem aumentado a vulnerabilidade do solo à erosão, destacando a necessidade de métodos precisos para avaliar e mitigar esse fenômeno. A RUSLE, baseada na USLE, foi escolhida por sua capacidade de integrar variáveis cruciais: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e declividade da vertente (LS), uso e manejo do solo (C) e práticas de conservação (P). Os fatores R, K, LS, C e P foram calculados utilizando dados climáticos, índices de vegetação e dados topográficos específicos da área de estudo. Os resultados indicaram uma perda média anual de solo de 126,38 t/ha/ano, com valores máximos atingindo 69.240,75 t/ha/ano, embora essas áreas de erosão extrema representem menos de 1% da bacia. Predominantemente, a bacia apresentou perda de solo variando de muito baixa (<1 t/ha/ano) a moderada (100-500 t/ha/ano), especialmente em áreas de pastagem e agricultura. Os resultados enfatizam a influência significativa dos fatores LS e C na determinação das áreas mais suscetíveis à erosão. Este estudo sublinha a importância da implementação de práticas de manejo e conservação do solo para mitigar a erosão, fornecendo dados críticos para a gestão ambiental e o planejamento sustentável na bacia do Rio Goitá.

## **INTRODUÇÃO**

A remoção da cobertura vegetal nativa tem sido uma das principais ações humanas que impactam diretamente o meio ambiente, especialmente em regiões de intensa atividade econômica. A substituição da vegetação nativa é frequentemente a

---

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, [raul.gomes@ufpe.br](mailto:raul.gomes@ufpe.br);

<sup>2</sup> Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [joana.carias@ufpe.br](mailto:joana.carias@ufpe.br);

<sup>3</sup> Graduado pelo Curso de Geografia do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, [caiomauricio64@gmail.com](mailto:caiomauricio64@gmail.com);

<sup>4</sup> Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Ciências Gráficas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [danielle.listo@ufpe.br](mailto:danielle.listo@ufpe.br);

primeira intervenção ambiental resultante das atividades econômicas, como a expansão agrícola, o crescimento urbano e a construção de rodovias, que levam à significativa redução ou eliminação da cobertura vegetal original (Campoli & Stivali, 2023). Essas atividades fragilizam o solo, tornando-o mais suscetível à erosão. Na bacia hidrográfica do Rio Goitá, situada na Zona da Mata do estado de Pernambuco, o desmatamento tem contribuído significativamente para o aumento da perda de solos, sendo crucial a aplicação de métodos precisos para quantificar esse fenômeno.

Além do desmatamento, a erosão hídrica do solo é uma das questões mais relevantes no campo da gestão ambiental, pois provoca a degradação e perda de um recurso natural fundamental para o suporte da vida. À medida que finas camadas de solo vão sendo removidas em espessuras diferentes ao longo de décadas, o processo de erosão progride até atingir um ponto de não retorno (Ferreira, 2013). A combinação desses fatores na bacia hidrográfica do Rio Goitá tem agravado significativamente a perda de solos, destacando a necessidade de métodos eficazes para monitorar e mitigar os impactos da erosão.

Diante desse cenário desafiador, é essencial implementar ferramentas que permitam a quantificação e previsão dos processos erosivos de forma precisa. A aplicação de modelos empíricos é uma abordagem eficaz para esse propósito. A Equação Universal de Perda de Solos (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1978, oferece uma metodologia para estimar a erosão do solo com base em parâmetros reconhecidos globalmente. No entanto, a complexidade e a variabilidade dos processos erosivos exigem uma atualização constante desses modelos para refletir melhor as condições atuais e locais.

Esforços recentes do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e de cooperadores universitários levaram à Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE) (Renard et al., 1991), que se baseia na tecnologia da USLE para produzir um novo modelo. O RUSLE mantém os mesmos seis fatores da USLE, mas as equações usadas para produzir os fatores diferem significativamente. Além disso, devido à complexidade das equações usadas para quantificar os fatores, o RUSLE foi informatizado para facilitar os cálculos.

Dada a importância de estimar corretamente a perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Goitá, este estudo aplica a metodologia RUSLE para fornecer uma análise detalhada da erosão do solo na região. A utilização de dados precisos e

atualizados, juntamente com a aplicação do modelo RUSLE, permitirá uma avaliação robusta e fornecerá informações críticas para a implementação de estratégias eficazes de conservação do solo.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

Conforme Wischmeier e Smith (1978), a RUSLE pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$A = R.K;(L.S).(C.P)$$

Onde: A = índice que representa a perda de solo por unidade de área (t/ha.ano); R = índice de erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano); K = índice de erodibilidade do solo; L = índice relativo ao comprimento da vertente; S = índice relativo à declividade da vertente; C = índice relativo ao fator uso e manejo do solo; P= índice relativo à prática de conservação adotada (ZHANG; ZHANG, et al., 2011).

### **Fator R**

Os dados para as simulações de precipitação foram obtidos através do Hadley Centre, utilizando o modelo HadCM2 para as projeções (JOHNS et al. 1997 apud HULME, 1998). Essas informações foram disponibilizadas por Hulme, Osborn e Johns (1998), baseando-se no resultado de oito simulações de precipitação e no modelo HadCM analisado globalmente. O raster contendo os valores para o fator R está disponível para download na plataforma do CRU Hulme global Land Precipitation data, conforme descrito nos trabalhos de Hulme (1992) e Hulme, Osborn e Johns (1998).

### **Fator K**

A equação expressa para cálculo do fator K da RUSLE foi proposta por Williams (1995).

$$K_{usle} = K_w = F_{csand} * F_{cl-si} * F_{orge} * F_{hisand}$$

A obtenção do fator K é composta pela multiplicação de quatro fatores, sendo eles a Areia, Silte, Argila e Matéria Orgânica, onde  $F_{csand}$  é o fator que apresenta o K para solos com baixo teor de areia, variando desde a areia grossa ou até mesmo granulometrias superiores;  $F_{cl-si}$  entrega a erodibilidade dos solos para regiões com altos teores de granulometria entre as escalas de argila e silte;  $F_{orge}$  disponibiliza os valores de K para percentuais de alto teor de carbono orgânico, e por último  $F_{hisand}$  expressa os valores de areia para solos com majoritário conteúdo de material arenoso.

### **Fator LS**

O Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado foi o Aster, com resolução espacial de 30m<sup>2</sup>, obtido gratuitamente pela plataforma online Earthdata da NASA.

Equação utilizada para o cálculo do fator LS foi:

$$LS = \left[ flow\ accumulation * \frac{Cellsize}{22,13} \right] 0,4 * \left[ \frac{sinSlope}{0.0896} \right] * 1.3$$

A acumulação de fluxo denota a área de contribuição da inclinação acumulada para uma determinada célula, LS = comprimento e declividade da rampa = tamanho do píxel de 30 m<sup>2</sup> e inclinação do sin = valor do grau de inclinação no sin (sin = 0,0174533).

### **Fator C**

Belasri e Lakhouli (2016) mencionam que Índices de Vegetação, assim como o NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), são frequentemente utilizados para calcular o fator C da RUSLE. Os autores reiteram que os Índices são medidas quantitativas, baseadas nas propriedades espectrais da vegetação que tentam medir a biomassa ou a disponibilidade da cobertura vegetal em determinada superfície. Para a produção do NDVI da área de estudo foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8-9 OLI/TIRS C2 L1, disponibilizadas gratuitamente pelo software da USGS, Earth Explorer, referente ao serviço geológico dos Estados Unidos.

Para elaboração do fator C, foi utilizado do NDVI para identificação da cobertura vegetal da região.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Após produção do mapeamento NDVI, foi calculado o fator C através da fórmula proposta por Durigon (2014).

$$C - Factor = (-NDVI + 1)/2$$

### **Fator P**

Hann Barfield e Hayes (1994) aferem que o Fator P é tipicamente usado apenas para terras agrícolas e terras de cultivo sobre domínio antrópico, mas pode ser usado com alguma cautela em regiões urbanizadas, demandando apenas ajustes para tais

condições de uso do solo. Autores como Panagos et al. (2015) e Kebede et al. (2020) estimam os valores de P em conjuntura com cálculos referentes à declividade.

Para regiões onde não há dados disponíveis para práticas conservacionistas, ou onde não há a adoção de tais medidas, o tipo de uso relacionado com a sua respectiva declividade domina como fatores para agravar ou não a erosão. Wischmeier e Smith (1978) também utilizam a declividade como variável para cálculo do fator P, tanto para regiões agrícolas, como para regiões preservadas.

Tabela 1 – Valores do fator P

Declividade (%)	Valor de P
1 - 2	0,6
3 - 5	0,5
6 - 8	0,5
9 - 12	0,6
13 - 16	0,7
17 - 20	0,8
21 - 25	0,9

Fonte: Wischmeier e Smith (1978)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo da RUSLE expresso pelo fator A demonstrou valores médios de 126,38 t/ha/ano de perda de solo por erosão. Os valores máximos encontrados foram de 69.240,75 t/ha/ano, entretanto este valor muito acima da média compreende uma frequência espacial muito baixa na bacia, correspondendo menos que 1% da área total. Os valores mínimos são de 0, que compreendem regiões como as cidades, onde pela construção urbana não a solo para ser erodido, de mesmo modo corpos hídricos. Esses valores estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da RUSLE

Valor máximo	Valor mínimo	Média	Desvio Padrão
69.240,75	0	126,38	494,78

A escala de perda de solos utilizada faz referência à metodologia de Ribeiro (2007), onde classifica a distribuição de perdas de solos em oito classes distintas, sendo elas a menor que 1 t/ha/ano para erosão muito baixa; Entre 1 e 10 t/ha/ano para baixa;

Entre 10 e 50 t/ha/ano baixa a moderada; 50 a 100 moderada; 100 a 500 moderada a forte; 500 a 1000 forte; 1000 a 5000 muito forte; e por fim acima de 5000 sendo a classe extrema. Através da tabela 3 é possível visualizar a distribuição das classes de perda de solo em toda a área de estudo. A classe com maior frequência de perda de solo foi encontrada na classe “Muito baixa” (< 1 t/ha/ano), com 46% de frequência. Em seguida a classe “Moderada a forte” (100 – 500 t/ha/ano) com 21% de frequência. A terceira e quarta classe estiveram com a frequência de distribuição bem próxima, sendo a “Baixa a moderada” (10 – 50 t/ha/ano) com 13%, em seguida a “Moderada” (50 – 100 t/ha/ano) com 10%. As demais classes obtiveram uma frequência muito baixa, 4% para as classes “Baixa” (1 – 10 t/ha/ano) e “Forte” (500 – 1000 t/ha/ano), 2% para “Muito forte” (1000 – 5000 t/ha/ano) e < 1% para “Extrema” (> 5000 t/ha/ano).

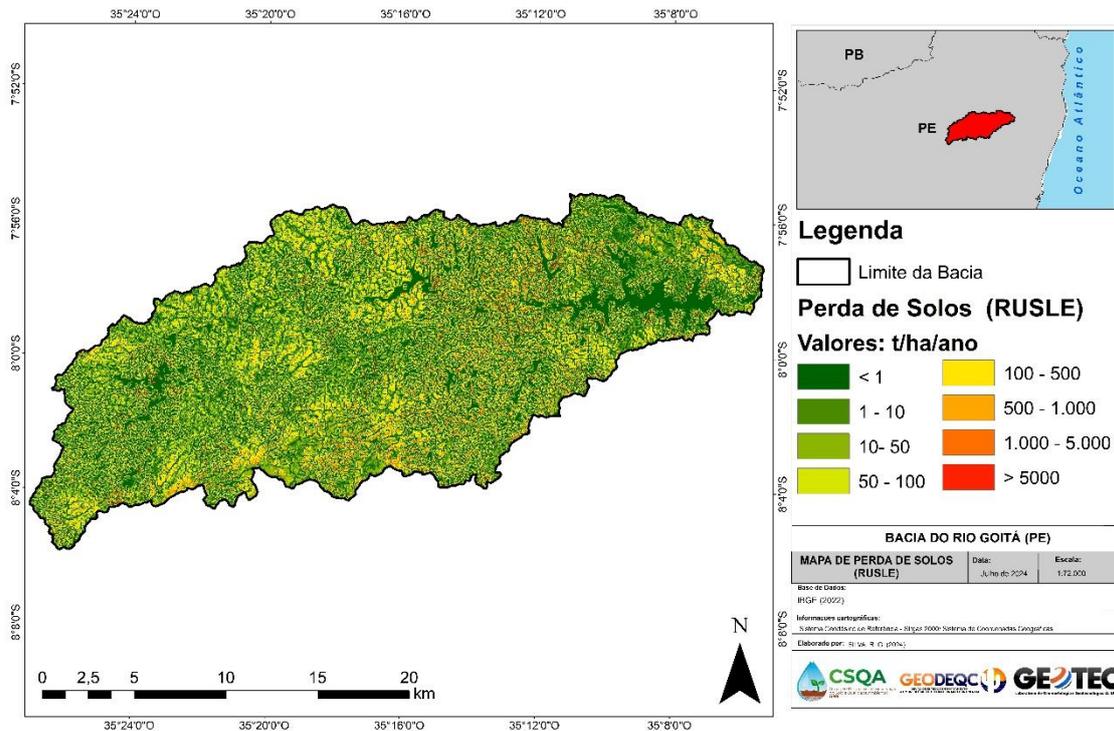
Tabela 9 - Classificação e frequência de perda de solo por classes para o município de Serra Talhada

Classes de erosão	Perda de solo (t/ha/ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Muito baixa	< 1	196,09	46%
Baixa	1 – 10	17,67	4%
Baixa a moderada	10 - 50	54,48	13%
Moderada	50 - 100	40,7	10%
Moderada a forte	100 - 500	89,15	21%
Forte	500 - 1000	19	4%
Muito forte	1000 - 5000	6,72	2%
Extrema	> 5000	0,32	< 1%

Ribeiro (2007)

Os principais focos de perda de solo da área de estudo são locais de alta correlação de fatores da RUSLE, sobretudo elevada declividade (Fator LS) e regiões de solo exposto, principalmente pelo uso agrícola extensivo, sobrepastoreio. O tipo de solos também contribuiu para erosão na área de estudo, onde as maiores sensibilidades a perda de solo foram em planossolos háplicos e luvisolos háplicos, ambos com o maior fator K da área de estudo (K=0,13), logo, sendo as regiões mais prejudicadas segundo o modelo. Os planossolos são susceptíveis a erosão devido à permeabilidade de seu horizonte B e elevado gradiente textural, o que dificulta aeração e torna-o suscetível a perda de solo e compactação. Os luvisolos sofrem de problema semelhante, onde a mudança textural abrupta limita a infiltração e água disponível, e por serem predominantemente rasos, também são susceptíveis a compactação e erosão.

Figura 1 – Mapa de perda de solos da bacia



Fonte: O próprio autor

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de perda de solo por erosão na bacia hidrográfica do rio Goitá, aplicando-se a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), variou de muito baixa a moderada, correspondendo ao intervalo de perdas de 10 toneladas por ano até 500 toneladas por ano. Esses valores foram principalmente observados nas regiões de uso do solo antrópico, sobretudo nas culturas de pastagem e agriculturas. O fator LS também foi crucial para determinação das regiões e focos erosivos, houve uma forte relação entre as regiões de perda de solo das classes forte ou mais dentre essas regiões.

Portanto, a análise e os resultados concluem que a perda média anual de solo estimada, utilizando o modelo RUSLE, é de cerca 126,38 toneladas por hectare por ano na área de estudo. Observou-se o papel principalmente dos fatores LS e C para determinação de erosão na erosão.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica; Degradação dos solos; Erosão dos solos; Geoprocessamento; RUSLE.

## REFERÊNCIAS

- BELASRI, A.; LAKHOULI, 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. 08, n. 01, p. 98–107, 2016.
- DURIGON, V. L. et al. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International journal of remote sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.
- HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments**. Elsevier, 1994.
- HULME, M. Rainfall changes in Africa: 1931–1960 to 1961–1990. **International Journal of Climatology**, v. 12, n. 7, p. 685-699, 1992.
- HULME, M.; OSBORN, T. J.; JOHNS, T. C. Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM2 simulations. **Geophysical research letters**, v. 25, n. 17, p. 3379-3382, 1998.
- KEBEDE, B. et al. Determining C- and P-factors of RUSLE for different land uses and management practices across agro-ecologies: case studies from the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. **Physical Geography**, v. 42, n. 2, p. 160–182, 22 maio 2020.
- PANAGOS, P. et al. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. **Environmental Science & Policy**, v. 51, p. 23–34, 1 ago. 2015.
- RIBEIRO, Luziane Santos; ALVES, M. da G. Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, n. 2007, p. 3039-3046, 2007.
- WILLIAMS, J. et al. Using soil erosion models for global change studies. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 381-385, 1996.
- WISCHMEIER, W ; SMITH, D. Predicting Rainfall erosion losses. **Supersedes Agriculture Handbook No. 282**, v. 537, p. 58, 1978.
- ZHANG, Weiwei; ZHANG, Zengxiang; LIU, Fang; *et al.* Estimation of the USLE cover and management factor C using satellite remote sensing: A review. **International Conference on Geoinformatics**, 2011.
- Campoli, Jéssica Suarez; Stivali, Matheus (2023) : Custo social do desmatamento nos biomas brasileiros, **Texto para Discussão**, No. 2842, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília.
- Ferreira, C. (2013). O mundo (im) perfeito dos modelos de erosão. **Revista da Faculdade de Letras – Geografia**, 2(3): 51-82