

# ANÁLISE DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NA ESTIMATIVA DA EROÇÃO PLUVIAL NA UNIDADE ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ALTO ARAGUAIA DE GOIÁS

Marina Galdez de Castro Silva <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Divisão de Geoinformática e Observação da Terra – DIOTG Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Avenida dos Astronautas, 1758, 12221-010 São José dos Campos – SP  
marina.silva@inpe.br

## RESUMO

A erosão do solo acarreta prejuízos ao meio ambiente e às atividades econômicas. No Brasil, a precipitação é o principal agente erosivo, exacerbada pela mudança no uso do solo devido à expansão agropecuária. Este estudo concentrou-se na mesorregião sul de Goiás, importante produtora de grãos, para investigar como a sazonalidade climática afeta as estimativas de erosão do solo. Foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), que considera: precipitação, solo, encosta, cobertura e manejo, incluindo práticas conservacionistas. As diferenças no período seco e chuvoso foram analisadas através de quatro métodos: diferença percentual, diferença normalizada, diferenças das perdas normalizadas e coeficiente de Pearson. Os resultados mostraram variações significativas na erosividade entre os períodos, com a agressividade da chuva até 10 vezes maior na época chuvosa. A erodibilidade foi classificada como baixa a média, sugerindo que textura e carbono orgânico não são os principais determinantes da erosão. Conclui-se que a sazonalidade climática é um fator crucial na estimativa de erosão do solo, destacando a necessidade de estratégias de manejo diferenciadas para cada estação.

**Palavras-chave** — Sazonalidade Climática, Equação Universal de Perda de Solo, Erosão pluvial, Cerrado.

## ABSTRACT

*Soil erosion results in environmental and economic losses. In Brazil, precipitation stands out as the primary erosive agent, exacerbated by land use changes due to agricultural expansion. This study focused on the southern mesoregion of Goiás, a significant grain-producing area, to examine how climatic seasonality impacts soil erosion estimates. The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was employed, considering precipitation, soil type, slope, land cover, and management practices, including conservation efforts. Variations between the dry and rainy seasons were analyzed using four methods: percentage difference, normalized difference, differences in normalized losses, and the Pearson coefficient. Results revealed significant variations in erosivity between periods, with rainfall intensity*

*being up to 10 times greater during the rainy season. Erodibility was categorized as low to medium, suggesting that soil texture and organic carbon are not the primary determinants of erosion. It is concluded that climatic seasonality is a critical factor in estimating soil erosion, emphasizing the need for tailored management strategies for each season.*

**Key words** — Climatic seasonality, Universal Soil Loss Equation, Rainfall erosion, Cerrado.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo que acarreta prejuízos ao meio ambiente e às atividades econômicas. Ela pode ser classificada de acordo com os agentes causadores, como eólica e hídrica, ou ainda, fluvial e pluvial. Dentre os agentes causadores desse processo, no Brasil, o mais significativo é a precipitação [1]. A mudança de uso de solo impulsionada pela expansão agropecuária aumenta potencialmente as taxas de erosão do solo [2, 3, 4]. Em regiões agrícolas no Brasil, como no Rio Grande do Sul, tem-se observado o maior impacto do processo erosivo em áreas de lavoura sob relevo declivoso e com ausência de cobertura [5,6].

O Sul de Goiás é uma importante mesorregião produtora de grãos, incluindo municípios com históricos de produção como Rio Verde, quarto município com maior valor de produção de grãos do Brasil de acordo com a Produção Agrícola Municipal de 2022 [7]. Estudar a erosão, que leva a perdas não apenas ambientais, mas também econômicas, torna-se essencial nessas áreas. Um dos modelos mais utilizados para estimar a erosão é a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), originalmente criado por Wischmeier e Smith (1978) [8] e revisado por Renard et al. (1997) [9]. A RUSLE é composta por 6 fatores que consideram a precipitação (agente erosivo), características do solo, da encosta, da cobertura e do manejo, incluindo eventuais práticas conservacionistas adotadas no local analisado. O produto destes fatores resulta na estimativa de perda de solo em tonelada por unidade de área (em hectare) por ano (uma média da série histórica).

O estado de Goiás tem uma característica marcante de ter duas estações bem definidas: a época chuvosa e a seca. Assim, devido à sazonalidade das chuvas, o estudo buscou

responder a seguinte pergunta: a sazonalidade climática dos dados poderia afetar as estimativas de erosão?

Como o processo de erosão é aquele a partir do agente erosivo de precipitação, o estudo foi feito em escala de bacia hidrográfica. Dado que o espaço de interesse foi a mesorregião sul de Goiás, que possui 5 Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRH), estudo focou em uma das UEPGRH, a que está totalmente inserida no cerrado: a Alto Araguaia.

Portanto, este trabalho teve como objetivo analisar o efeito da sazonalidade na estimativa de perdas de solo utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), tendo como objetivos específicos: (1) calcular os fatores de entrada da RUSLE; (2) estimar as perdas de solo por erosão pluvial para o período seco e úmido; (3) Analisar a diferença entre os períodos seco e úmido.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a UEPGRH do Alto Araguaia de Goiás (Figura 1), que possui aproximadamente 40,9 mil km<sup>2</sup> de extensão, e clima tropical, com classificação de Koppen Aw, tendo duas estações bem definidas: a chuvosa, de outubro a março, e a seca, de abril a setembro [10]. A Figura 1 foi elaborada utilizando as malhas territoriais do IBGE [11] e o catálogo de metadados da ANA [12].

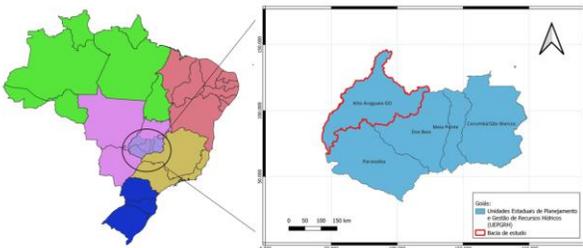


Figura 1. Unidade estadual de planejamento e gestão de recursos hídricos do Alto Araguaia de Goiás.

### 2.1. Modelo RUSLE

Para a estima da erosão, foi utilizado o modelo revisado da Equação Universal de Perda de Solo de Wischmeier & Smith (1978) [8], elaborado por Renard et al. (1997) [9]. A RUSLE considera 6 parâmetros que governam o processo de erosão hídrica, assim, a quantidade de solo perdido é resultado do produto dos fatores (Equação 1).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad [t / (ha \cdot período)]$$

Onde

A: Estimativa de perda de solo anual [t/(ha período)]

R: Erosividade da chuva [MJ mm/ (ha h período)]

K: Erodibilidade do solo [t/ (MJ mm)]

L e S: Fatores Topográficos, representam respectivamente o comprimento e a inclinação do terreno [adimensionais]

C: Fator de cobertura vegetal [adimensional]

P: Fator de práticas conservacionistas [adimensional]

Ao analisar as variáveis envolvidas na USLE, observa-se que estão correlacionados às características do terreno, à chuva e ao manejo do solo. Isso constitui um desafio devido à heterogeneidade dos locais, fazendo-se, assim, necessário o uso de sistemas que permitam a inserção dos dados aplicados a cada parcela onde as características sejam muito próximas.

Os sistemas utilizados são os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), através deles é possível trabalhar com dados georreferenciados e gerar mapas a partir de dados pontuais. Para isso, os dados pontuais são importados no programa e através do modelo escolhido, são transformados em um arquivo raster, isto é, uma imagem formada por grades ortogonais onde cada quadrado menor terá uma única informação e o tamanho desse quadrado (pixel) é dado pela resolução da imagem.

A metodologia adotada incluiu um levantamento de dados para que fosse possível a utilização do modelo, incluindo dados pluviométricos, pedológicos e topográficos (Tabela 1).

Dados	Fonte	Resolução	Acesso
Precipitação	Cemaden	-	Plataforma de Entrega de Dados Cemaden (ped.cemaden.gov.br)
Textura do solo	PronaSolos/Embrapa	90 m	Portal Pronasolos (sgb.gov.br)
Carbono orgânico do solo	PronaSolos/Embrapa	90 m	Portal Pronasolos (sgb.gov.br)
Modelo de Elevação Digital	SRTM	30 m	Portal OpenTopography
Cobertura do solo	TerraClass	10 m	GeoPortal - TerraCass (terraclass.gov.br)

Tabela 1. Dados utilizados como entrada no modelo RUSLE.

#### 2.1.1. Erosividade da chuva

O fator R, que representa a agressividade da chuva como agente do processo erosivo, foi estimado utilizando o método proposto por [13]. A metodologia para a obtenção deste fator é apresentada no fluxograma descrito na Figura 2, onde E representa a energia cinética total desenvolvida no evento de chuva (MJ ha<sup>-1</sup>), enquanto I<sub>30</sub> (mm h<sup>-1</sup>) é a intensidade da altura máxima de chuva em 30 minutos durante o evento.

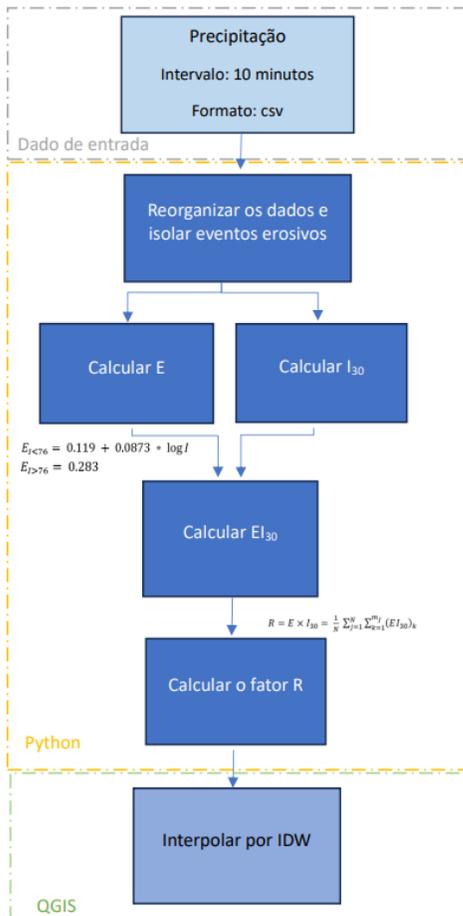


Figura 2. Metodologia para a estimativa do Fator R.

A energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em trinta minutos,  $I_{30}$ , foram calculadas via Python. O script foi desenvolvido para encontrar os eventos de chuva, considerando que os eventos isolados são aqueles separados por no mínimo 6 horas sem precipitação ou menos de 1 mm no período. Já os eventos erosivos são aqueles que apresentam volume 12,7 mm ou mais, ou que apresentaram um volume de 6,0 mm em 15 minutos. **Classificado os** eventos erosivos, é calculada a intensidade da precipitação ( $I$ ), sendo feito apenas para os valores que precipitação que pertencessem a eventos erosivos. Para isso, agrupou-se as precipitações em intervalos de 30 minutos a partir da coluna hora, somou-se as precipitações e multiplicou por 2 para assim obter a intensidade.

A equação utilizada para a energia cinética foi a proposta por [14], ajustada ao Sistema Internacional de Unidades por [15] onde  $I$  era a intensidade a cada 30 minutos (que foi calculada anteriormente). Calculou-se a energia cinética por incremento de chuva, depois, somou-se todas as energias cinéticas de cada evento obtendo a energia cinética total daquele evento, e por fim multiplicou-se a energia cinética total pela intensidade máxima em 30 minutos, esta representa a maior intensidade ocorrida dentro de cada, obtendo-se o  $EI_{30}$ . Por fim somou-se o  $EI_{30}$  de cada mês, obtendo a média

mensal, e depois o total dividido pelo número de anos, obtendo a média anual, que representa o fator R, índice de erosividade.

### 2.1.2. Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo (fator K) representa o valor integrado anual da reação do perfil do solo ao processo erosivo pela ação da chuva, isto é, a suscetibilidade do solo ao processo de desprendimento e transporte de suas partículas por gotas de chuva e escoamento superficial [16, 9]. A metodologia para sua obtenção encontra-se representada na Figura 3.

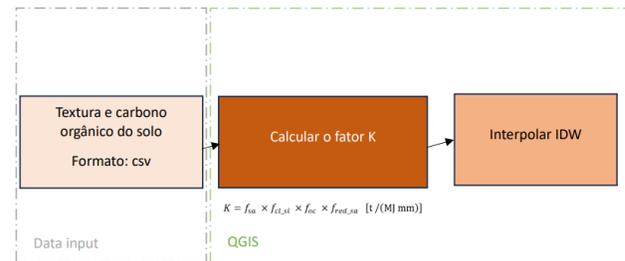


Figura 3. Metodologia para a estimativa do Fator K.

A equação é o produto de quatro fatores relacionados à textura e ao conteúdo de matéria orgânica do solo, onde **ms** é o teor de areia (partículas com diâmetro de 0,05-2,00 mm), **msilt** é o teor de silte (partículas com diâmetro de 0,002-0,05 mm), **mc** é o teor de argila (partículas com diâmetro < 0,002 mm), e **orgC** é o teor de carbono orgânico da camada (%). Estes fatores são: **fsa** (fator relacionado ao conteúdo de areia), **fcl\_si** (fator relacionado ao conteúdo de argila e silte), **foc** (fator relacionado ao conteúdo de carbono), e **fred\_sa** (fator de redução relacionado ao conteúdo de areia extremamente grossa), e foram estimados seguindo respectivamente as Equações 1, 2, 3 e 4.

$$f_{sa} = \left( 0,2 + 0,3 \exp \left[ -0,256 m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (1)$$

$$f_{cl_{si}} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (2)$$

$$f_{oc} = \left( 1 - \frac{0,25 \text{ orgC}}{\text{org} + \exp[3,72 - 2,95 \text{ org C}]} \right) \quad (3)$$

$$f_{red_{sa}} = \left( 1 - \frac{0,7 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5,51 + 22,9 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (4)$$

### 2.1.3. Fatores Topográficos

O fator de extensão do declive ( $L$ ) e o fator de inclinação do declive ( $S$ ) representam os fatores topográficos do modelo utilizado. A metodologia descrita na Figura 4 utiliza as equações do modelo RUSLE para o cálculo do LS, considerando-se o limite para o comprimento que o fluxo

hídrico ( $\lambda$ ) – em termos de processamento da imagem raster, seria a acumulação do fluxo (FA) vezes o tamanho do pixel (30 m) – pode percorrer antes de iniciar o processo de concentração igual a 305 m e para a declividade ( $\theta$ ) igual a 50% [17, 9], como adotado no cálculo por [18]. Para o fator L, além de considerado o comprimento do desnível, é considerada a razão entre a erosão por sulco e a erosão entre-sulcos ( $\beta$ ).

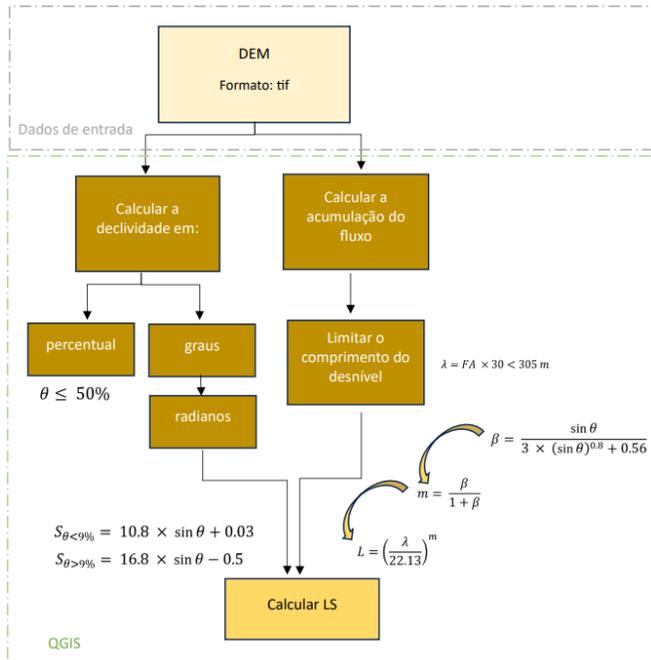


Figura 4. Metodologia para a estimativa dos Fatores LS.

O processamento dos modelos de elevação até chegar aos valores dos parâmetros L e S foi feito via QGIS, utilizando o modelo digital de elevação (DEM). Assim, foram obtidos os mapas de cada fator.

#### 2.1.4. Fatores de Cobertura Vegetal e Práticas Conservacionistas

O fator C representa a cobertura vegetal enquanto P representa as práticas conservacionistas, sendo obtidos conforme disposto na Figura 5.

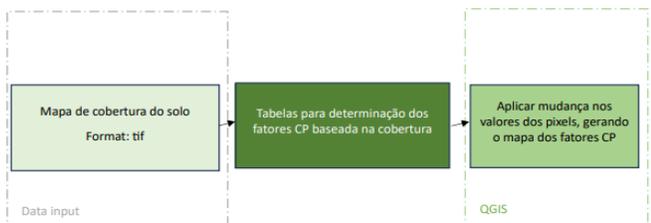


Figura 5. Metodologia para a estimativa dos Fatores CP.

Foram utilizados valores de C provenientes de 3 trabalhos [19, 20, 21] para as classes de cobertura do solo obtidas no

TerraClass, onde a classe *desflorestamento no ano* bem como a classe *mineração* foram consideradas como solo exposto (Tabela 2). Quanto ao fator P, de acordo com o trabalho de [19] em Goiás, foi considerado o valor de 0,12 para agricultura. Para as demais classes, não foram encontrados registros de práticas conservacionistas e, portanto, foi considerado igual a 1 (ausência de práticas). O fator CP representa o produto dos fatores C e P.

Classes	Fator C	Fonte	Fator P	Fator CP
Vegetação natural florestal primária	0.00004	NUNES; CASTRO, 2023	1	0.00004
Vegetação natural florestal secundária	0.00004	NUNES; CASTRO, 2023	1	0.00004
Silvicultura	0.0158	COUTO JUNIOR et. al, 2015	1	0.0158
Pastagem arbustiva/arborea	0.01	NUNES; CASTRO, 2023	1	0.01
Pastagem herbácea	0.1	NUNES; CASTRO, 2023	1	0.1
Cultura agrícola perene	0.12	NUNES; CASTRO, 2023	0.12	0.0144
Cultura agrícola semipereene	0.12	NUNES; CASTRO, 2023	0.12	0.0144
Cultura agrícola temporária de 1 ciclo	0.12	NUNES; CASTRO, 2023	0.12	0.0144
Cultura agrícola temporária de mais de 1 ciclo	0.12	NUNES; CASTRO, 2023	0.12	0.0144
Mineração	1	NUNES; CASTRO, 2023	1	1
Urbanizada	0.0053333	COSTA et al., 2009	1	
Outros usos (afloramentos rochosos, praia, dunas)	0		-	
Outras áreas edificadas	0.0053333	COSTA et al., 2009	1	
Desflorestamento no ano	1	NUNES; CASTRO, 2023	1	1
Corpo d'água	0		-	0

Tabela 2. Fatores C e P.

Tendo todos os mapas dos fatores, foi feito o produto deles e obtida a perda de solo em cada período analisado. Para a eliminação de outliers, foram removidos 2.5% dos valores mais altos e 2.5% dos mais baixos, resultando na permanência de 95% dos valores.

## 2.2. Métodos de análise da sazonalidade

Para analisar a diferença entre a perda de solo no período chuvoso e a no período seco foram utilizados quatro métodos. O primeiro foi a diferença percentual (Equação 5), que retorna o quão maior foi a perda de solo no período chuvoso ( $A_c$ ) em relação à perda no período seco ( $A_s$ ).

$$\text{Diferença percentual} = \frac{A_c - A_s}{A_s} \quad (5)$$

O segundo método foi a diferença normalizada que retorna valores de -1 a 1, sendo negativo caso a perda de solo seja maior no período seco do que no chuvoso, positivo caso a perda seja maior no período chuvoso, e 0 se iguais (Equação 6).

$$\text{Diferença normalizada} = \frac{A_c - A_s}{A_c + A_s} \quad (6)$$

O terceiro foi com base na distribuição dos valores, para analisar onde houve diferença de áreas críticas em relação aos períodos. Isto foi feito normalizando primeiro as perdas de solo utilizando os valores mínimos e máximos de cada período, de modo que cada uma variasse de 0 a 1, e posteriormente foi feita a diferença entre elas (Equação 7). O resultado obtido foi chamado de diferença das perdas normalizadas (DPN).

$$DPN = \frac{A_c - A_{c,min}}{A_{c,max} + A_{c,min}} - \frac{A_s - A_{s,min}}{A_{s,max} + A_{s,min}} \quad (7)$$

No entanto, como o mínimo era 0 em ambos os períodos, por haver classes de cobertura do solo na área de estudo com o fator C igual a 0, a Equação 7 poderia ser reescrita formando a Equação 8.

$$DPN = \frac{A_c}{A_{c,max}} - \frac{A_s}{A_{s,max}} \quad (8)$$

O último método foi o coeficiente de Pearson (Equação 9) para analisar a correlação (força e direção) entre as variáveis.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (9)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidos os mapas dos 6 fatores (Figuras 6, 7, 8, 9, 10), sendo que os fatores C e P (Figura 10) foram representados de forma conjunta, e para fator R, foram elaborados dois mapas, o da época chuvosa (Figura 6) e da época seca (Figura 7). Observa-se a mudança na distribuição espacial do fator de erosividade (R) bem como na ordem de grandeza, pois na época seca assumia valores mínimo e máximo iguais respectivamente a 230,17 e 442,31 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.semestre<sup>-1</sup> passando na época chuva a assumir os valores de 2114,68 e 4.170,97 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.semestre<sup>-1</sup>. Isso significa que a agressividade da chuva pode chegar a ser 10 vezes maior na época chuvosa que na época seca.

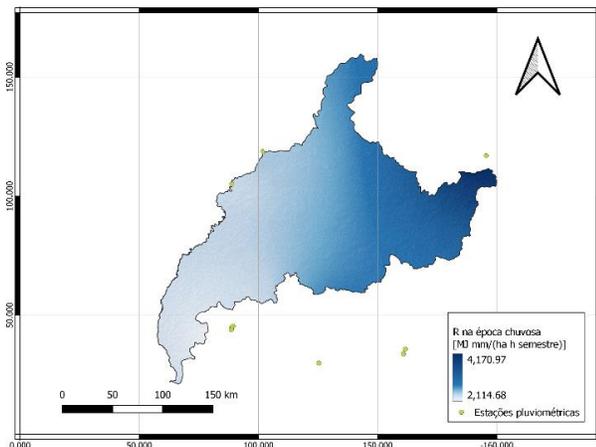


Figura 6. Mapa do fator R para o período chuvoso

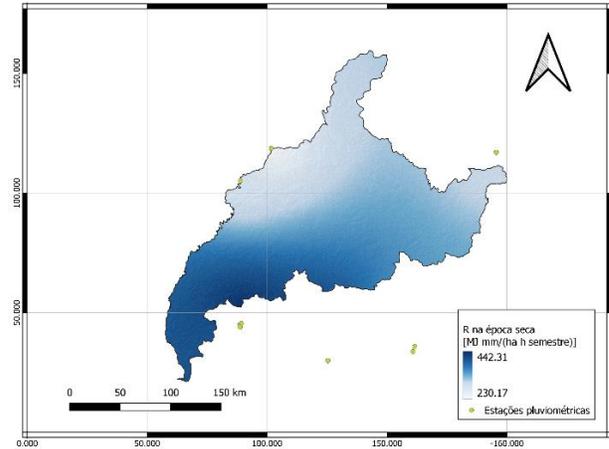


Figura 7. Mapa do fator R para o período seco

Quanto ao fator de erodibilidade (Figura 8), observa-se que este variou de 0.01 a 0.03 t.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, indicando baixa (0.0090 a 0.0150 t.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>) a média (0.0150 a 0.0300 t.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>) propensão à erodibilidade de acordo com [22]. Isso significa que a textura e o carbono orgânico do solo na área de estudo não serão o fator determinante da erosão.

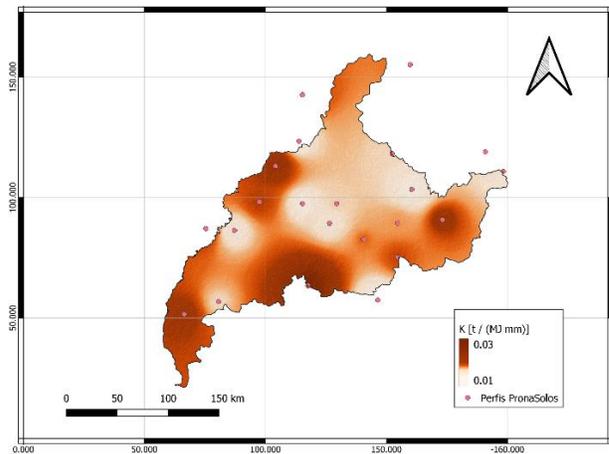


Figura 8. Mapa do fator K para o período seco

Quanto ao fator de extensão do declive (Figura 9a), este variou de 1 a 6,81 já o de inclinação do declive (Figura 9b) variou de 0,03 a 10,63. Sobre a limitação da declividade em 50%, isso resultou no truncamento de 3125 pixels, o que corresponde a uma área de 2,8 km<sup>2</sup>, podendo significar uma subestimativa dos valores reais de perda de solo, mas considerando toda a área de estudo, dado que o número de pixels da imagem é de 4,48.10<sup>7</sup>, seria somente 6,97.10<sup>-3</sup>% da área total. A limitação do comprimento do desnível alterou os valores de 4.293.126 pixels que somados corresponderiam a 3,9.10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>, correspondendo a 9,57% da área, isto é, 9,57% dos valores podem ter sido subestimados. No entanto, 258 pixels foram limitados para ambos.

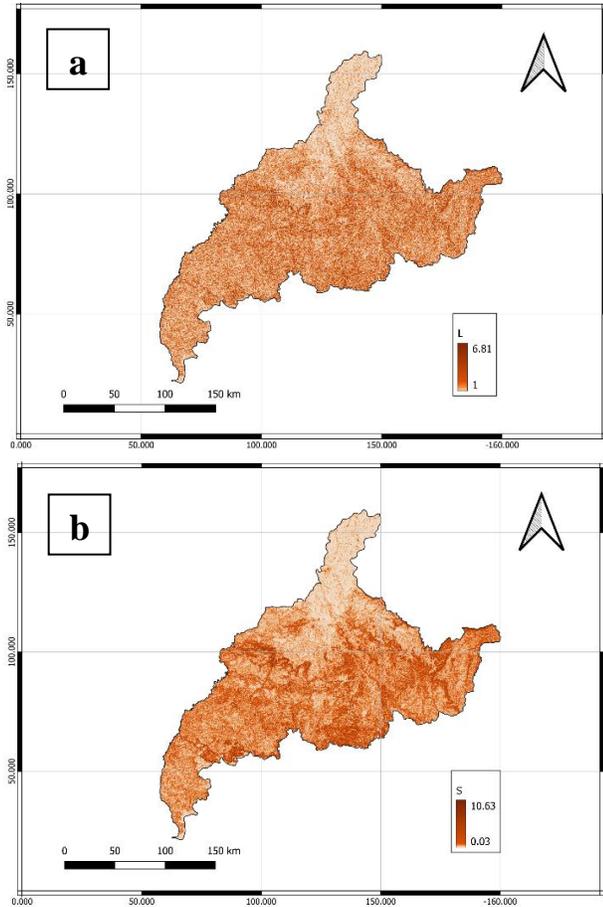


Figura 9. Mapa dos fatores L (a) e S (b).

Quanto ao fator CP (Figura 10), este variou de 0 a 1, mas os valores ficaram concentrados abaixo de 0,1 pois o intervalo de valores mostrado na legenda foi feito com base nos quartis, isto é, cada cor possui o mesmo número de pixels. Isso pode ter ocorrido devido ao fato da bacia do Alto Araguaia ter grande área com agricultura (CP = 0,0144) e um remanescente de vegetação natural (CP = 0.00004).

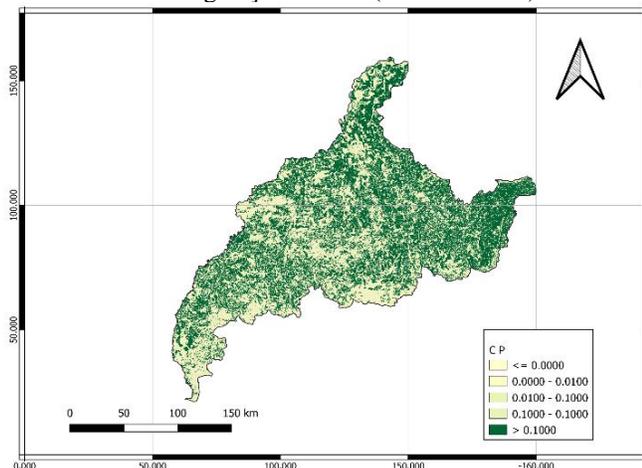


Figura 10. Mapa dos fatores CP.

As perdas de solo estimadas podem ser observadas na Figura 11 e a sua estatística básica na Tabela 3. Como a legenda dos mapas foi feita com a mesma regra da legenda do mapa de erodibilidade, isto é, intervalo com base nos quartis, nota-se que a perda de solo no período chuvoso se concentrou em até  $5,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semestre}^{-1}$ , sendo muito superior a do período seco com  $0,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semestre}^{-1}$ . Visualmente a distribuição dos valores ao longo da área de estudo seguiu o mesmo padrão mesmo que a erosividade tenha se distribuído de modo diferente. No entanto, para confirmar essa análise visual será analisado o mapa gerado pela diferença das perdas normalizadas. Quanto à estatística, observa-se que os valores máximos de perdas de solo nos períodos seco e chuvoso foram muito diferentes, respectivamente, 3,55 e  $29,34 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semestre}^{-1}$  bem como a média de 0,46 e  $3,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semestre}^{-1}$ , ressaltando a diferença na erosão quando considerada a sazonalidade.

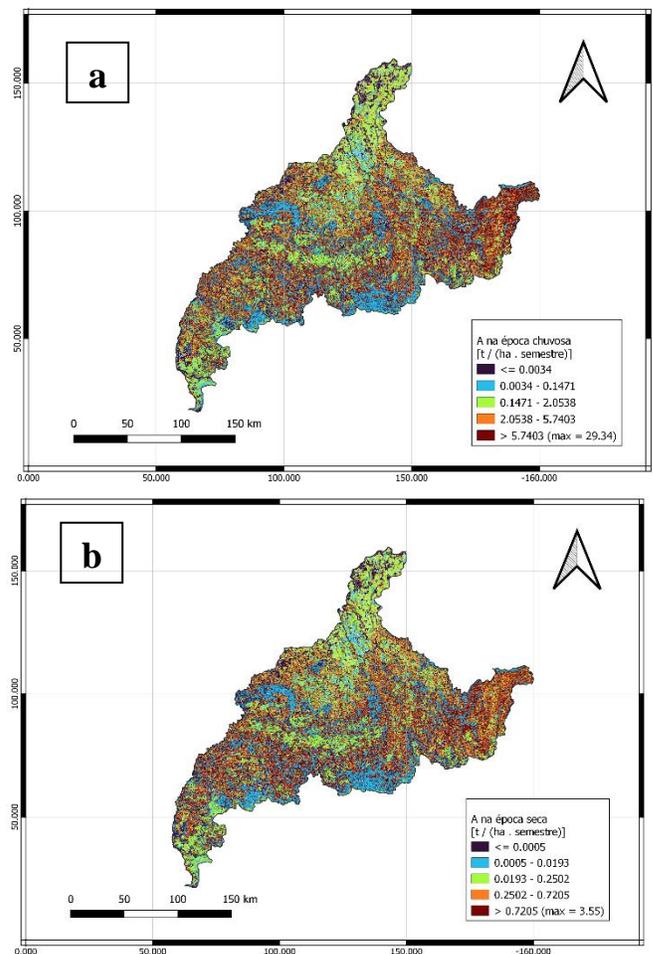
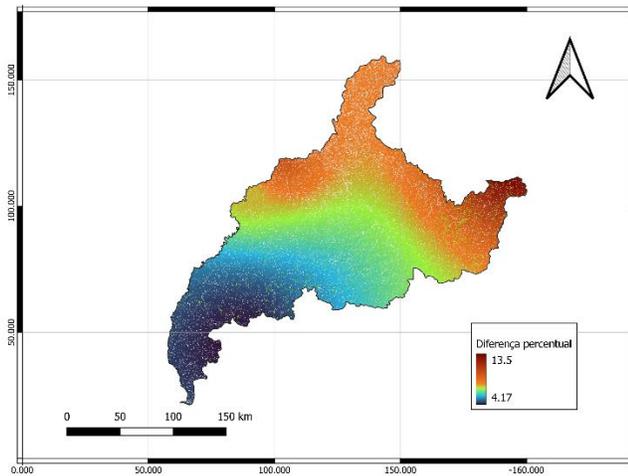


Figura 11. Mapas das estimativas de perda de solo nos períodos chuvoso (a) e seco (b).

Métricas	Perdas de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot semestre^{-1}$ )	
	Período Seco	Período Chuvoso
Valor mínimo	0	0
Valor máximo	3.55	29.34
Valor médio	0.46	3.76
Desvio padrão	0.79	6.46

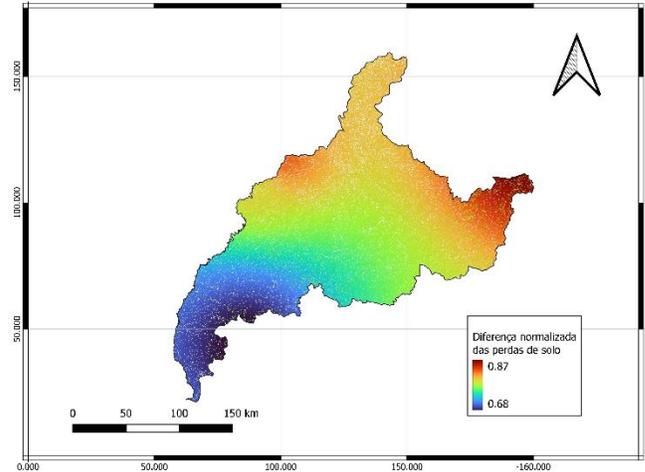
**Tabela 3. Estatística básica das perdas de solo no período seco e no chuvoso.**

O resultado do primeiro método de comparação dos períodos é observado na Figura 12. A diferença percentual variou de 4,17 a 13,5%, indicando que a perda de solo foi maior em todos os pixels, isto é, em toda a área de estudo, no período chuvoso em relação ao seco, com variações graduais no espaço devido à variação na intensidade da chuva e sua distribuição espacial e temporal. Essa variação fez com que a diferença entre os períodos fosse mais intensa ao Norte e decaindo no sentido Sul.



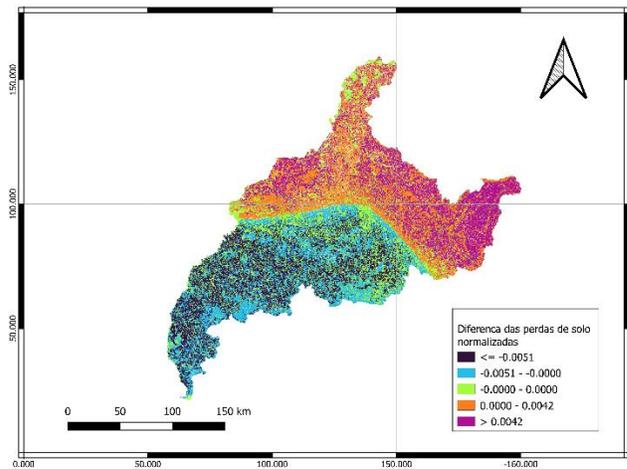
**Figura 12. Mapa da diferença percentual das perdas de solo.**

Nota-se que a diferença normalizada variou de 0,68 a 0,87, indicando uma diferença significativa entre a agressividade da chuva nas duas épocas (Figura 13). Observa-se o padrão de cores similar ao da diferença percentual, que é novamente explicado pela variação na intensidade das chuvas e sua distribuição espacial e temporal. A maior intensidade da erosão ao norte sugere que essa área é mais propensa a altas perdas de solo na época chuvosa, que é a mais intensa, necessitando de estratégias de manejo do solo mais rigorosas durante a época chuvosa.



**Figura 13. Mapa da diferença normalizada das perdas de solo.**

Quanto à diferença espacial entre as perdas de solo (Figura 14), observa-se que as regiões ao Norte foram mais críticas para o período chuvoso que para o período seco (no mapa estão representadas em cores alaranjadas e rosadas) em relação a média de cada período, enquanto as regiões ao Sul foram mais críticas no período seco do que no chuvoso (no mapa estão representadas em azul e tonalidades mais escuras) em relação a média. No entanto, ressalta-se que o período chuvoso foi o que representou maior perda de solo independentemente da região, esse índice propõe a análise apenas da distribuição e identificação de regiões críticas por período (máximo local).



**Figura 14. Mapa da diferença das perdas de solo normalizadas.**

Por fim, quanto ao último método de análise, este resultou no coeficiente de pearson igual 0,98, indicando uma correlação positiva muito forte entre as variáveis. Isso confirmou o que era esperado, uma vez que o método de estimar a erosividade não foi alterado, apenas alterou-se os valores devido à intensidade e distribuição temporal das chuvas em cada período.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi evidenciada a importância de considerar a sazonalidade climática na estimativa da erosão do solo através da análise de 3 mapas de diferenças entre as perdas de solo nos períodos chuvoso e seco.

A análise dos fatores que compõem a Equação Universal de Perda de Solo Revisada mostrou variações significativas na erosividade entre os períodos seco e chuvoso, com a agressividade da chuva sendo até 10 vezes maior na época chuvosa.

A erodibilidade do solo, determinada pela textura e conteúdo de carbono orgânico, foi classificada como baixa a média, indicando que esses aspectos específicos do solo não foram os principais determinantes da erosão na área de estudo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] J. A. A. Anache, E. C. Wendland, P. T. S. Oliveira, D. C. Flanagan, M. A. Nearing. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. *Catena*, v. 152, pp. 29-39, 2017.
- [2] E. A. Davidson, A. C. de Araújo, P. Artaxo, J. K. Balch, I. F. Brown, M. M. C. Bustamante, M. T. Coe, R. S. DeFries, M. Keller, M. Longo, J. W. Munger, W. Schroeder, B. S. Soares-Filho, C. M. Souza, S. C. Wofsy. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, pp. 321–328, 2012. DOI:10.1038/nature10717.
- [3] P. T. S. Oliveira, M. A. Nearing, E. Wendland. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 11, pp. 1524-1532, 2015.
- [4] E. Wohl, A. Barros, N. Brunsell, N. C. Chappell, M. Coe, T. Giambelluca, S. Goldsmith, R. Harmon, J. M. H. Hendrickx, J. Juvik, J. McDonnell, F. Ogden. 2012. The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, 2: 655–662. DOI:10.1038/nclimate1556.
- [5] E. J. Didoné, J. P. G. Minella, J. M. Reichert, G. H. Merten, L. Dalbianco, C. A. P. Barros, R. Ramon. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, v. 14, pp. 1287-1297, 2014.
- [6] J. M. Moura-Bueno, R. S. D. Dalmolin, P. Miguel, T. Z. Horst. Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo. *Scientia Agraria*, v. 19, n. 1, pp. 102-112, 2018.
- [7] IBGE. *Produção Agrícola Municipal*. Disponível - site IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Consultado em 25 mar. 2024.
- [8] W. H. Wischmeier, D. D. Smith. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook*, n. 537. US Department of Agriculture: Washington, D.C., 1978.
- [9] K. Renard, G. Foster, G. Weesies, D. McCool, D. Yoder. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA Agriculture Handbook*, 703. Agricultural Research Service, Washington, DC, USA, 1997
- [10] F. J. A. Borges, R. F. Juliano. "Distribuição espacial e temporal de uma comunidade de anuros do município de Morrinhos, Goiás, Brasil (Amphibia: Anura)". *Neotropical Biology and Conservation*, v. 2 (1), pp. 21-21, 2007.
- [11] IBGE. *Malhas territoriais do Brasil*, 2022. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em 4 abr. 2024
- [12] Agência Nacional de Águas - Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. *Unidades de Planejamento Hídrico* [Catálogo digital]. Brasília, Brasil: Agência Nacional de Águas, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/df48de18-753b-4789-964d-7f0967c53d08> Acesso em 4 abr. 2024.
- [13] R. P. C. Morgan. *Soil erosion and conservation*, 3 ed., p. 631, 2005.
- [14] Walter H. Wischmeier, Dwight D. Smith. "Rainfall energy and its relationship to soil loss." *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 39, n. 2, pp. 285-291, 1958.
- [15] G. R. Foster, D. K. McCool, K. G. Renard, W. C. Moldenhauer. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 36, n. 6, pp. 355-359, 1981.
- [16] P. Panagos, K. Meusburger, C. Ballabio, P. Borrelli, C. Alewell. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of Total Environment*, v. 479-480, pp. 189-200, 2014.
- [17] E. Reis. *Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo Cálculo do Fator Topográfico (LS) Guias de apoio à delimitação da REN*. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Selma Pena – Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, Direção-Geral do Território, Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., 2020
- [18] P. Panagos, P. Borrelli, K. Meusburger. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, v. 5, pp. 117-126, 2015.
- [19] E. D. Nunes, S. S. de Castro. Análise multiescalar aplicada à avaliação de erosão hídrica linear para área tropical subúmida

situada na região Sudoeste do estado de Goiás-Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 00, 2023.

[20] A. A. Couto Júnior, F. T. da Conceição, S. dos Anjos Ferreira Pinto. *Utilização de imagens orbitais GeoEye para a obtenção do Fator C da EUPS em duas bacias hidrográficas de pequeno porte*. 2015.

[21] T. C. C. da Costa, E. C. C. Fidalgo, U. J. Naime, S. P. Guimarães, M. J. Zaroni, M. C. Uzeda. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da equação universal de perda de solo e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrológicos e de uso/cobertura da terra no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v. 4, n. 1, 2009.

[22] A. R. Mannigel, M. P. Carvalho, D. Moreti, L. R. Medeiros. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5, pp. 1335-1340, 2002.