



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**VALKIRIA ANDRADE COSTA**

**EROSIVIDADE E DENSIDADE DA CHUVA NO MUNICÍPIO  
PALESTINA DO PARÁ, PARÁ, BRASIL**

**N°: 000**

**BELÉM - PA  
JUNHO - 2022**

**VALKIRIA ANDRADE COSTA**

**EROSIVIDADE E DENSIDADE DA CHUVA NO MUNICÍPIO  
PALESTINA DO PARÁ, PARÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA, para obtenção do grau Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Belém-PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

**VALKIRIA ANDRADE COSTA**

**EROSIVIDADE E DENSIDADE DA CHUVA NO MUNICÍPIO  
PALESTINA DO PARÁ, PARÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA, para obtenção do grau Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Data de aprovação: 08/07/2022.

Conceito: Bom

Banca Examinadora:




---

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Giordani Rafael Conceição Sodré - Membro  
Doutor em Ciências Ambientais  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Alexandre Melo Casseb Do Carmo - Membro  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer aos meus pais, Kelly de Andrade e Alexandre Costa, pela minha existência. Agradeço também meu pai de criação, Fernando Barata, por todo carinho, além de ter custeado a minha educação durante toda a minha vida.

Agradeço imensamente à minha tia Kedyma de Andrade, pelo amparo e suporte durante toda a minha vida, inclusive a graduação. Às minhas primas/irmãs Cecília Ramos e Clarice Ramos por todo o carinho e parceria. Obrigada também para a minha tia Roberta de Carvalho, por me incentivar na carreira de meteorologista.

Ao meu amigo, Vinicius Nascimento e seus pais (Ana Nascimento da Silva e José Afonso da Silva), por todo o carinho e suporte para concluir a minha graduação.

Agradeço também a existência de Loris e Eros na minha vida, por melhorarem minha saúde mental e por serem meus companheiros.

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências e a Faculdade de Meteorologia pela infraestrutura, suporte técnico e oportunidade de poder estar e me formar nessa instituição.

Ao Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza, que se disponibilizou em ajudar e me orientar, muito obrigada.

Ao Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira, além de ter me orientado e incentivado de maneira única durante a graduação. Devo muito a você e jamais esquecerei tudo o que foi me ensinado nesse período.

A todos os meus amigos, mas um agradecimento especial para Rafael Lima, Tarcísio Gabriel, Carolina Rodrigues, Caio Castor, Alex Monção, Ana Caroline Miron e Vinicius Feitosa que estão comigo, me acompanham (de perto ou de longe) desejando amor e energias positivas.

Às minhas amigas e colegas de graduação (Lorena Xavier, Valeria Taakondjo, Renata Bruna e Rayssa Loany) com quem compartilhei bons e maus momentos ao longo do curso, em sala de aula e em viagens de campo. Obrigada por me auxiliarem durante a graduação.

E a todos que indiretamente ou diretamente estiveram presente na minha caminhada até aqui.

*“É importante viver a experiência da nossa  
própria circulação pelo mundo,  
não como uma metáfora, mas como fricção,  
poder contar uns com os outros.”*

*(Ailton Krenak)*

## RESUMO

A erosividade da chuva é um dos principais parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que tem sido usada para prever a quantidade de perda de solo pela água por 50 anos. Investigar as tendências espaciais da erosividade das chuvas é importante para o planejamento da conservação do solo e da água. Espera-se que a erosividade da chuva (os fatores R) em muitas regiões seja alterada devido a mudanças nos padrões de chuva relacionados à intensidade da chuva, à frequência e distribuição espacial dos eventos de tempestade que podem ocorrer com as mudanças climáticas. Na Amazônia, estudos desta natureza são poucos, porém, de grande relevância, considerando que a maioria dos solos existentes na região é de baixa fertilidade natural e está submetida a elevados índices pluviométricos anuais, condições estas que favorecem a erosão do solo e o seu empobrecimento cada vez maior. O objetivo deste estudo é investigar as variações espaciais e densidade da erosividade da chuva para melhorar nossa compreensão da evolução da erosividade da chuva no município Palestina do Pará. Primeiro, calculamos a erosividade da chuva em 3 estações para 1991-2021 usando dados de precipitação do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia. Em segundo lugar, examinamos a variabilidade espacial da erosividade da chuva, a densidade da erosividade e estatísticas básicas para o município estudado. Os resultados fornecem percepções sobre a evolução da erosividade da chuva e os efeitos da circulação atmosférica em pequena escala na erosividade da chuva.

Palavras-chave: erosividade da chuva; Palestina do Pará; Amazônia.

## **ABSTRACT**

Rainfall erosivity is one of the main parameters of the Universal Soil Loss Equation (USLE), which has been used to predict the amount of soil loss by water for 50 years. Investigating spatial trends in rainfall erosivity is important for soil and water conservation planning. Rain erosivity (the R factors) in many regions is expected to change due to changes in rainfall patterns related to rainfall intensity, frequency and spatial distribution of storm events that can occur with climate change. In the Amazon, studies of this nature are few, however, of great relevance, considering that most existing soils in the region have low natural fertility and are subject to high annual rainfall, conditions that favor soil erosion and impoverishment. bigger and bigger. The objective of this study is to investigate the spatial variations and density of rainfall erosivity to improve our understanding of the evolution of rainfall erosivity in the municipality of Palestina do Pará. First, we calculated rainfall erosivity in 3 seasons for 1991-2021 using precipitation data from the National Institute of Meteorology database. Second, we examined the spatial variability of rainfall erosivity, erosivity density and basic statistics for the municipality studied. The results provide insights into the evolution of rainfall erosivity and the effects of small-scale climate circulation on rainfall erosivity.

**Keywords:** rain erosivity; Palestine in Pará; Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da área de estudo. ....	15
Figura 2 – Equações utilizadas para determinar os valores mensais/anuais da erosividade de acordo com a área do território e seus respectivos autores. ....	16
Figura 3 – Distribuição espacial da precipitação média anual de 1991-2021 no município Palestina do Pará. ....	20
Figura 4 – Distribuição espacial da Erosividade da chuva anual de 1991-2021 no município Palestina do Pará. ....	21
Figura 5 – Distribuição espacial da precipitação média mensal de 1991-2021 no município Palestina do Pará. ....	23
Figura 6 – Distribuição espacial da Erosividade da chuva mensal de 1991-2021 no município Palestina do Pará. ....	24
Figura 7 – Correlação entre a precipitação média mensal e a Erosividade da chuva mensal. ....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do índice médio de Erosividade mensal.....	17
Tabela 2 – Classificação do índice médio de Erosividade anual.....	17
Tabela 3 – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade anuais para todas as estações.....	25
Tabela 4 – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensais para a estação Araguaína.....	25
Tabela 5 – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensal para a estação Marabá.....	26
Tabela 6 – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensal para a estação Imperatriz.....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 ÁREA DE ESTUDO E BASES DE DADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2 DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1 CÁLCULO DO FATOR R.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2 ESTATÍSTICAS BÁSICAS E CÁLCULO DA DENSIDADE DE EROSIVIDADE DA CHUVA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.3 ESQUEMA DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL.....</b>	<b>18</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E DA EROSIVIDADE DA CHUVA ANUAL.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA PRECIPITAÇÃO MENSAL E DA EROSIVIDADE DA CHUVA MENSAL.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 ESTATÍSTICAS BÁSICAS E DENSIDADE DE EROSIVIDADE MENSAL E ANUAL.....</b>	<b>25</b>
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo natural no qual a superfície da terra é desgastada por agentes meteorológicos e geológicos, desenvolvimento da terra feito pelo homem e outros fatores. A erosão do solo levou à diminuição da produtividade agrícola pela degradação da terra, aumento da atividade de deslizamento de terra, distúrbios do ecossistema e difusão de contaminantes pelo influxo de sedimentos nos rios (SHIN et al., 2019).

A USLE (Equação Universal de Perda de Solo) e RUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Revisada) são modelos empíricos bem conhecidos para estimar a perda de solo média anual global de longo prazo (RENARD, 1997; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Nos últimos 40 anos, o modelo (R)USLE tem sido amplamente utilizado para prever a taxa média de erosão do solo de terras aráveis. Pandey et al. (2016) mostraram que 21 dos 50 modelos de erosão do solo e produção de sedimentos foram adotados como parâmetros de entrada do modelo USLE.

A erosividade da chuva é um valor numérico que representa o potencial de erosão do solo pela água e é o único parâmetro climático de seis fatores no modelo (R)USLE. É definida como a média anual de longo prazo do produto da energia total da chuva (E) e a intensidade máxima de chuva de 30 minutos para eventos individuais de tempestade (RENARD, 1997; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Geralmente, o valor do fator R é maior do que os outros parâmetros em (R)USLE e apresenta maiores variações espaciais e temporais anuais do que os demais índices, exceto pelo fator cobertura-gestão relativamente; assim, variações espaciais e temporais na perda de solo estão altamente relacionadas com variações no fator R.

Wischmeier (1959) relatou que a erosividade da chuva pode explicar aproximadamente 80% da variação da perda de solo. Vários pesquisadores enfatizaram que a erosividade da chuva é um dado de entrada extremamente importante para a avaliação do risco de erosão do solo. Espera-se que os valores de erosividade da chuva (os fatores R) de muitas regiões sejam alterados devido às mudanças nos padrões de chuva, como a intensidade da chuva e a frequência e distribuição espacial dos eventos de tempestade que podem ocorrer com as mudanças climáticas.

A erosividade da chuva é um dos fatores mais importantes no RUSLE, um método empírico para estimar a perda média anual de solo em determinadas áreas. Assim, investigar as tendências espaciais e temporais da erosividade das chuvas é importante para o planejamento da conservação do solo e da água (SHIN et al., 2019).

Na Amazônia, estudos desta natureza são poucos, porém, de grande relevância, considerando que a maioria dos solos existentes na região é de baixa fertilidade natural e está submetida a elevados índices pluviométricos anuais, condições estas que favorecem a erosão do solo e o seu empobrecimento cada vez maior (OLIVEIRA JR, 1996).

A grande utilização das terras da parte leste do Estado do Pará com projetos agropecuários e extrações madeireiras, que de múltiplas formas modificam ou alteram a camada superficial dos solos deixando-os mais vulneráveis a ação da erosão hídrica causada pela chuva, planejou-se este estudo que visa de calcular a erosividade das chuvas nessa região do Estado, como um primeiro passo para um programa de conservação (OLIVEIRA JR, 1988).

É importante a definição da média de precipitação e erosividade da chuva no município Palestina do Pará, porque não tem estações meteorológicas oficiais próximas e pouca densidade de estações meteorológicas ao redor. Além de prejudicar a agropecuária na região, a Erosividade da chuva influencia no assoreamento do rio Araguaia, já que o município é as margens desse rio.

## **1.1. OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é investigar as variações espaciais e densidade da erosividade da chuva no município Palestina do Pará.

Os objetivos específicos são:

- a) Calcular e classificar a Erosividade mensal e anual para o município Palestina do Pará;
- b) Examinar a variabilidade espacial da Erosividade da chuva no município Palestina do Pará de acordo com dados de precipitação de 1991 a 2021;
- c) Analisar a densidade de Erosividade da chuva anual e mensal da região estudada;
- d) Avaliar estatísticas básicas de Erosividade da chuva da região estudada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

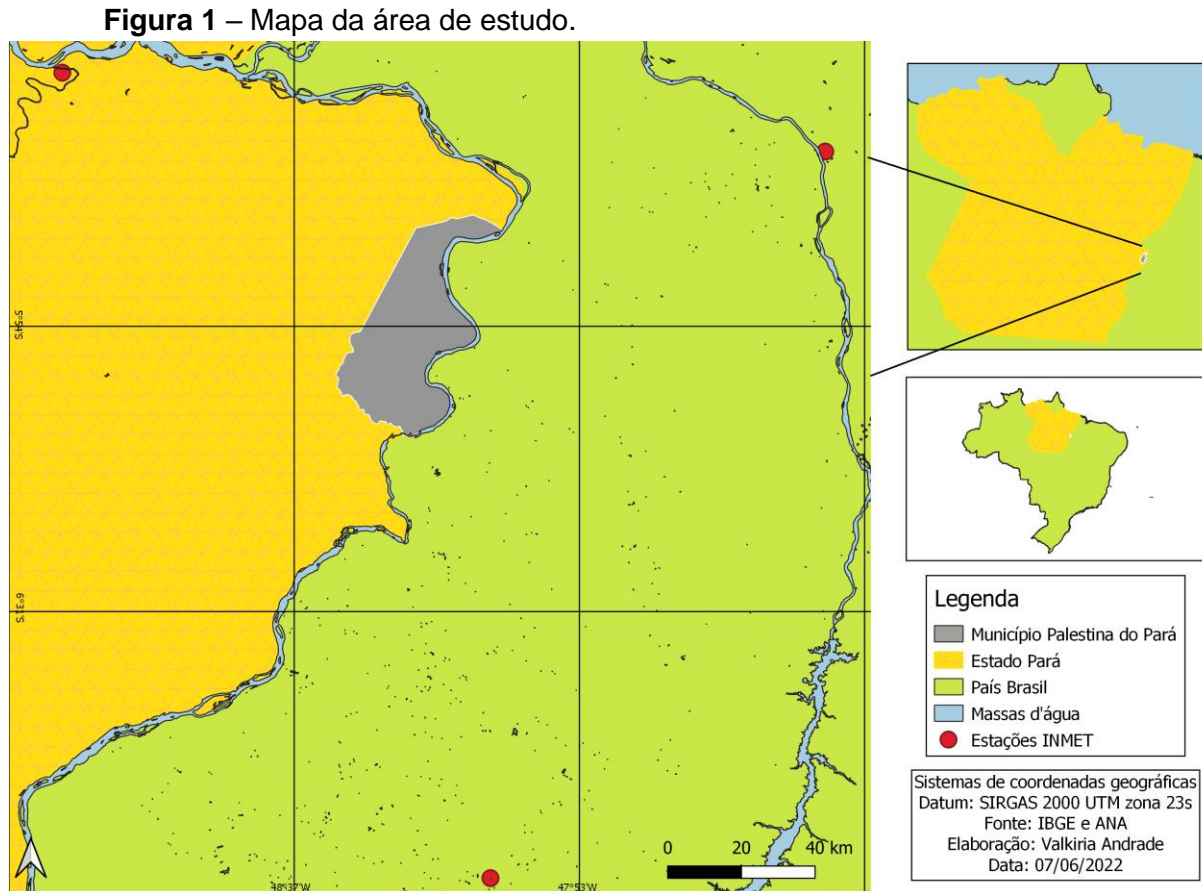
### 2.1 ÁREA DE ESTUDO E BASES DE DADOS

#### 2.1.1. ÁREA DE ESTUDO

Palestina do Pará é um município brasileiro do estado do Pará (Figura 1), com área territorial de 984,362 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021) e 7.575 habitantes (IBGE, 2020). Está localizado na região sudeste do Pará, a 600 km da capital do estado. Limita-se ao Norte com Brejo Grande do Araguaia; ao sul com São Geraldo do Araguaia; à leste com estado do Tocantins; a oeste com Brejo Grande do Araguaia. O município encontra-se às margens do Rio Araguaia divisando com o estado do Tocantins.

#### 2.1.2. DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Dados de precipitação mensal da estação meteorológica convencional do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia de 1991 a 2021 (Figura 1) – últimos 31 anos das estações meteorológicas de Araguaína, Marabá e Imperatriz.



Fonte: Autor (2022).


## 2.2 METODOLOGIA

### 2.2.1. CÁLCULO DO FATOR R

A partir dos cálculos climatológicos de precipitação, as equações utilizadas para determinar os valores de erosividade mensal/anual (Fator R) foram obtidas pela literatura (Figura 2). Algumas relações usam o índice de Fournier, enquanto outras usam ou equações exponenciais. A região de Palestina do Pará onde a equação foi aplicada se enquadra no número 2.

O fator RUSLE R é usado para obter o fator R anual e mensal para as estações meteorológicas empregadas (Araguaína, Marabá e Imperatriz) para o município Palestina do Pará. O fator R é um produto da energia cinética de um evento de chuva e a intensidade máxima contínua de 30 minutos dentro do evento de chuva (BROWN; FOSTER, 1987). A energia cinética de um evento de chuva é a soma dos produtos da unidade de energia estimada e a profundidade da chuva correspondente à unidade de energia. O fator R de um determinado mês é a soma dos fatores R de todos os eventos individuais de chuva naquele mês. O fator R de um determinado ano é a soma de todos os fatores R desse ano.

**Figura 2** – Equações utilizadas para determinar os valores mensais/anuais da erosividade de acordo com a área do território e seus respectivos autores.



Número	Equação	Autores
1	$R_x = 3,76 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 42,77$	OLIVEIRA & MEDINA (1990)
2	$R_x = 36,849 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{1,0852}$	MORAIS et al. (1991)
3	$R_x = (0,66 * M_x) + 8,88$	OLIVEIRA JR. (1988)

4	$R_x = 42,307 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 69,763$	SILVA (2001)
5	$R_x = 0,13 * (M_x^{1,24})$	LEPRUN (1981)
6	$R_x = 12,592 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0,6030}$	VAL et al. (1986)
7	$R_x = 68,73 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0,841}$	LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992)
8	$R_x = 19,55 + (4,20 * M_x)$	RUFINO et al. (1993)

Fonte: Adaptado de SILVA (2004).

A equação número 2 da Figura 2 significa que  $R_x$  é a Erosividade mensal ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ),  $M_x$  é o valor da média de precipitação mensal ( $\text{mm/mês}$ ), enquanto  $P$  representa o valor total de precipitação anual média ( $\text{mm/ano}$ ). A Erosividade anual é calculada somando todos os valores de Erosividade média ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

A partir dos resultados de Erosividade mensal e anual, os valores são classificados de acordo com a Tabela 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** – Classificação do índice médio de Erosividade mensal.

Erosividade ( $\text{Mj mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}$ )	Classe de erosividade
$R \geq 1250$	Alta
$800 < R < 1250$	Média
$R \leq 800$	Baixa

Fonte: ISRIC (1996).

**Tabela 2** – Classificação do índice médio de Erosividade anual.

Erosividade ( $\text{Mj mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}$ )	Classe de erosividade
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média a Alta
$7357 < R \leq 9810$	Alta
$R > 9810$	Muito alta

Fonte: Adaptado de FOSTER et al. (1981).

### 2.2.2. ESTATÍSTICAS BÁSICAS E CÁLCULO DA DENSIDADE DE EROSIVIDADE DA CHUVA

A densidade de erosividade é uma medida do teor de erosividade por unidade de precipitação. A densidade de erosividade é a razão entre a erosividade mensal e a precipitação mensal. Assim, a densidade de erosividade é definida pela Equação 1.

$$\alpha_m = \left( \frac{R_x}{P} \right) \quad (1)$$

Onde,  $\alpha_m$  é a densidade mensal de Erosividade da chuva (MJ/ha/h).

Para investigar a variabilidade anual da densidade de erosividade, a densidade de erosividade anual é calculada para todas as estações empregadas. No presente estudo, a densidade de erosividade anual é a razão entre a erosividade da chuva anual e a precipitação anual.

Também foram calculadas estatísticas básicas de correlação de Pearson,  $R^2$  e desvio padrão para fornecer percepções sobre a evolução da erosividade da chuva e os efeitos da circulação atmosférica em larga escala na erosividade da chuva.

### 2.2.3. ESQUEMA DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

No presente estudo, o método do peso da distância inversa (IDW) é utilizado para o esquema de interpolação espacial. O método IDW é realizado com a suposição subjacente de que um valor de atributo em um local não observado é a média ponderada de pontos de dados conhecidos da região vizinha ao redor do local não observado. O método IDW pode calcular o fator R de uma localização não observada sem o uso de variáveis externas, exceto para informações de localização. Este método é apropriado para a interpolação espacial de dados do fator R na Coreia do Sul. Além disso, o método IDW foi adaptado como um esquema de interpolação para o fator R por MILLWARD e MERSEY (1999), XIN et al. (2011), HUANG et al. (2013), RISAL et al. (2016), e SADEGHI et al. (2017). No presente estudo, a interpolação espacial do fator R é realizada no Qgis usando o método IDW.

Primeiramente, as médias climatológicas de precipitação foram calculadas para os dados de 31 anos das estações de Araguaína, Marabá e Imperatriz (1991-2021) e foram produzidos mapas através da interpolação IDW (Equação 2) com valores médios mensais de janeiro a dezembro para a análise do ciclo anual climatológico.

Uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos espalhados espacialmente é o IDW (Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distância). A interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011). Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (2)$$

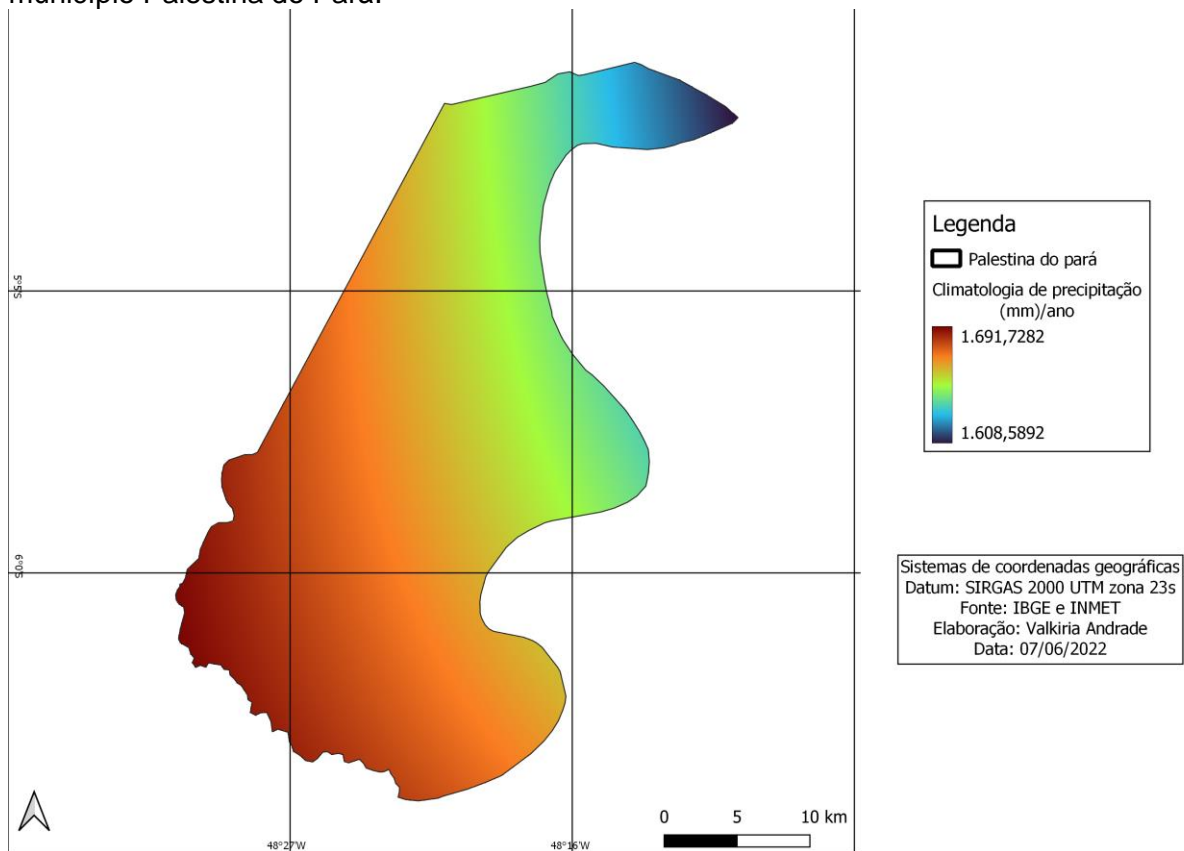
Onde,  $Z(x)$  é o valor que estamos tentando prever para a localização de  $x$ ,  $n$  é o número de pontos de amostra medidos ao redor do local de previsão que será usado na previsão,  $\omega_i$  são os pesos atribuídos a cada ponto medido que vamos usar (esses pesos diminuirão com a distância) e  $Z(x_i)$  é o valor observado no local  $x_i$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E DA EROSIDADE DA CHUVA ANUAL

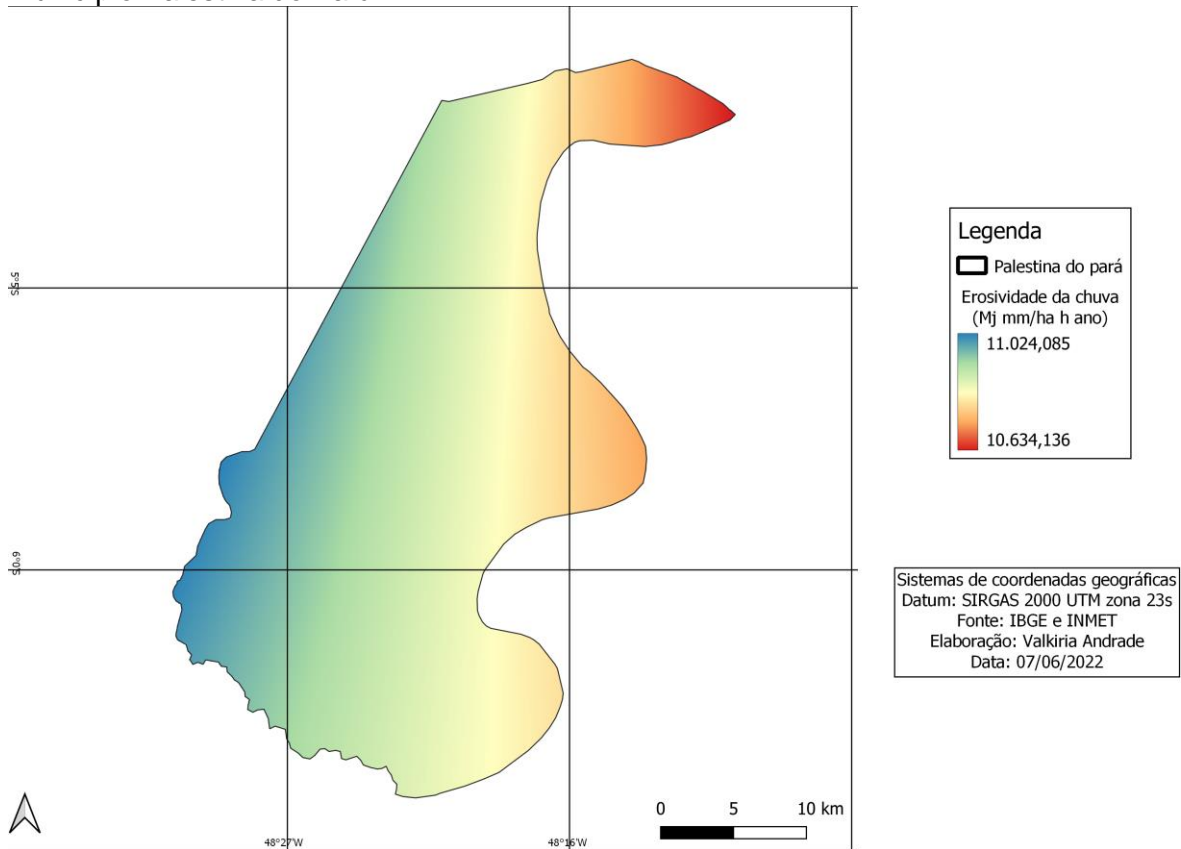
Foram calculadas as médias anuais para cada estação com o objetivo de calcular a distribuição espacial de precipitação anual (Figura 3). A Figura 3 representa as médias anuais de 1991 a 2021, os valores variam entre 1608 a 1691 mm/ano. Os fatores R anuais para cada estação precisavam ser calculados para investigar a distribuição espacial dos fatores R no município Palestina do Pará (Figura 4), os valores ficam em torno de 10634 a 11024 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O fator R total de janeiro a dezembro é classificado como 100% como *muito alta*, de acordo com a Tabela 2.

**Figura 3** – Distribuição espacial da precipitação média anual de 1991-2021 no município Palestina do Pará.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 4** – Distribuição espacial da Erosividade da chuva anual de 1991-2021 no município Palestina do Pará.



Fonte: Autor (2022).

No geral, o padrão espacial do fator R anual significa que é semelhante ao padrão espacial da precipitação anual.

### 3.2. DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA PRECIPITAÇÃO MENSAL E DA EROSIVIDADE DA CHUVA MENSAL

Para investigar a variabilidade mensal na distribuição espacial da precipitação (Figura 5) e erosividade da chuva (Figura 6), são calculadas as médias mensais de precipitação e do fator R mensal do período de 1991 a 2021. Assim, os fatores R mensais são calculados de janeiro a dezembro. As médias mensais de precipitação variam de 5,77 mm a 334,95 mm e os valores médios mínimos e máximos mensais do fator R são 0,59 MJ·mm/ha/h e 3342,86 MJ·mm/ha/h, respectivamente (Tabela 4, 5 e 6). Esses resultados indicam uma variabilidade mensal muito grande do fator R.

A maior precipitação mensal, fator R mensal, densidade de erosividade mensal são observados em março. Na Figura 5 mostra que a mudança mensal na distribuição espacial da precipitação mensal é grande. Diferentemente do caso da precipitação

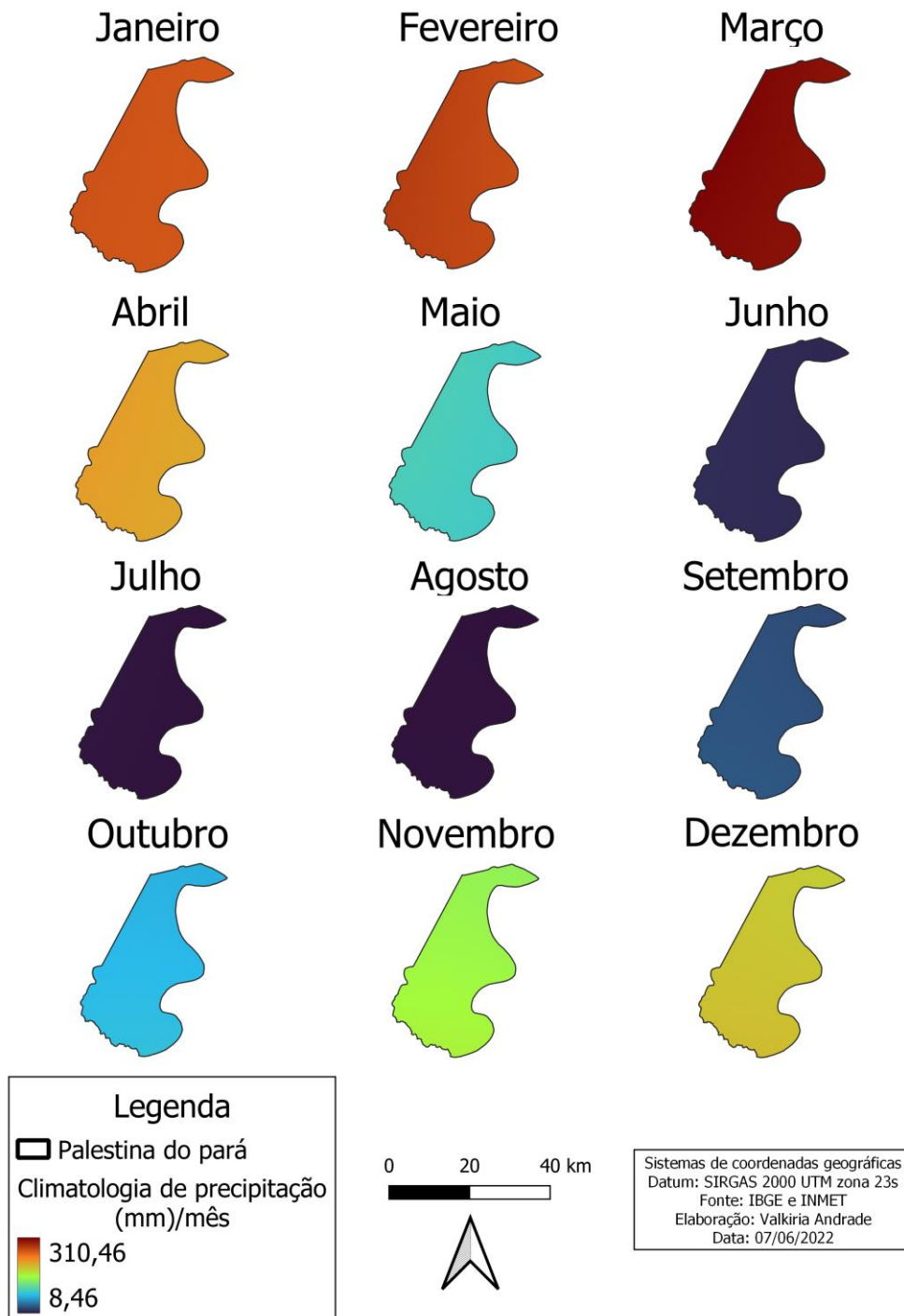
total e da média total do fator R de janeiro a dezembro, as distribuições espaciais da média mensal dos fatores R são diferentes daquelas da precipitação mensal. As distribuições espaciais do fator R em janeiro, fevereiro e março governam a distribuição espacial anual do fator R. A variabilidade mensal nas distribuições espaciais médias mensais do fator R e a variabilidade espacial do fator R para cada mês são muito altas.

As chuvas de janeiro a abril, apresentaram maior poder erosivo no município de Palestina do Pará, visto que o percentual do fator R ultrapassou o de precipitação, fato não observado nos outros meses. De janeiro a abril, representam 75% da erosividade relativa da chuva e 62% da precipitação relativa total anual, indicando que, neste período, era provável que ocorresse a maior parte das perdas anuais de solo por erosão. Na prática, deve-se evitar deixar o solo desprotegido nos meses de janeiro a abril, com o intuito de minimizar os efeitos erosivos das chuvas.

A erosividade relativa para o município Palestina do Pará é de 18,92% em janeiro; 20,43% em fevereiro; 26,45% em março; 12,08% em abril; 2,52% em maio; 0,07% em junho; 0,016% em julho; 0,014% em agosto; 0,32% em setembro; 1,92% em outubro; 6,98% em novembro; e 10,23% em dezembro. Observa-se que a erosividade mensal das chuvas varia de acordo com a precipitação, com o pico no mês de março, a partir do qual inicia-se um decréscimo, chegando ao mínimo no mês de agosto. Esses valores, modificados para percentagens, representam a porcentagem acumulada da erosividade para cada mês do ano, possibilitando a análise da distribuição da erosividade ao longo dos períodos.

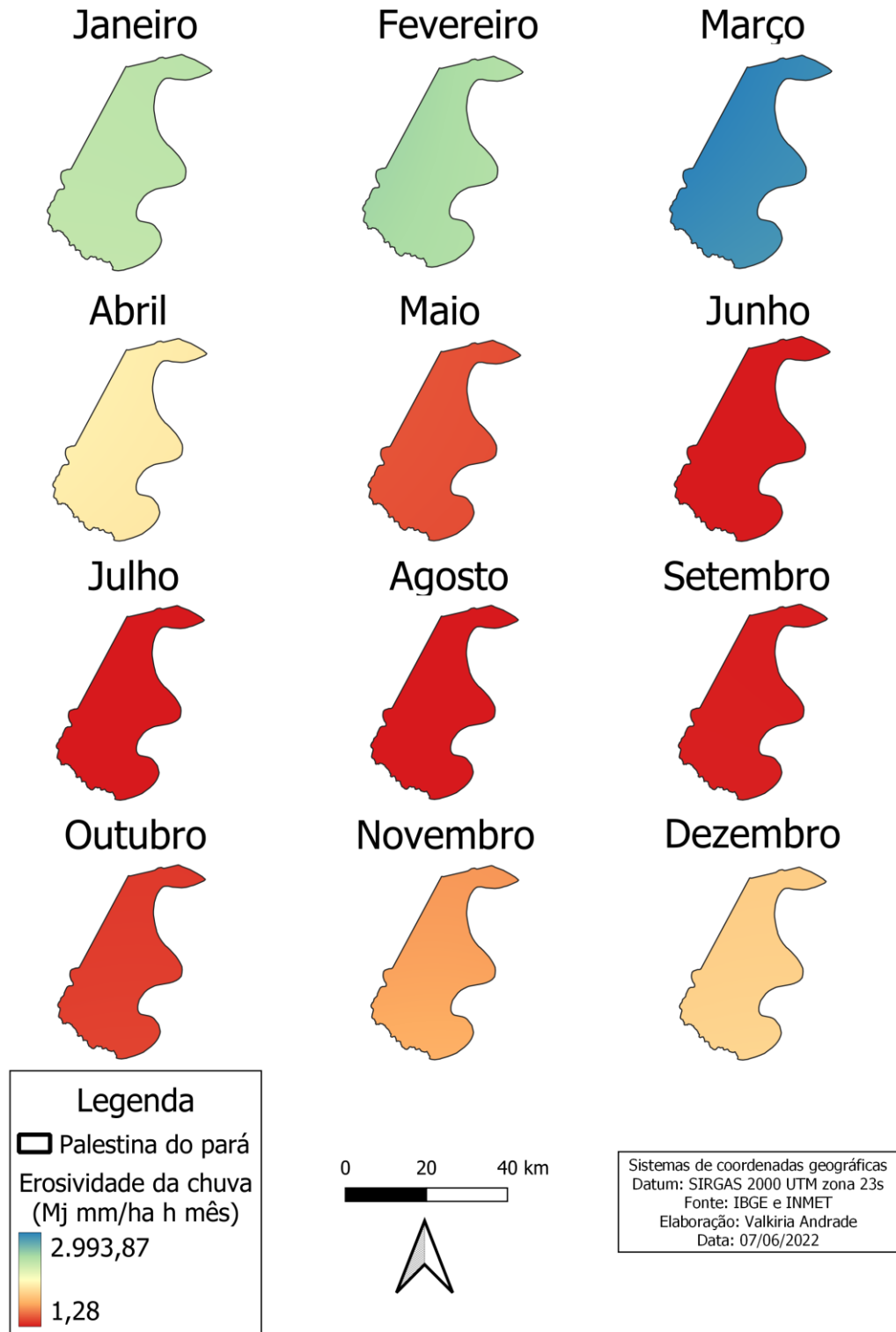
De acordo com a Tabela 1, o fator R mensal de janeiro a dezembro é classificado como alta para janeiro, fevereiro, março e abril; média em dezembro; e baixa em maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro. Os índices de erosividade para a maior parte do ano foram considerados muito altos, estabelecendo cenários críticos para o planejamento de práticas conservacionistas do solo e da água.

**Figura 5** – Distribuição espacial da precipitação média mensal de 1991-2021 no município Palestina do Pará.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 6** – Distribuição espacial da Erosividade da chuva mensal de 1991-2021 no município Palestina do Pará.



Fonte: Autor (2022).

### 3.3. ESTATÍSTICAS BÁSICAS E DENSIDADE DE EROSIVIDADE MENSAL E ANUAL

A Tabela 3 apresenta as médias das densidades de erosividade anuais para cada estação meteorológica. Enquanto, nas tabelas 4, 5 e 6, apresentam as densidades de Erosividade mensais de janeiro a dezembro e as estatísticas básicas associadas para todas as estações empregadas.

**Tabela 3** – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade anuais para todas as estações.

ESTAÇÃO	PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm)	EROSIVIDADE ANUAL (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	DESVIO PADRÃO	DENSIDADE
ARAGUAÍNA	1766,6	10856,51	6427,53	6,14
MARABÁ	1761,84	11673,77	7008,79	6,62
IMPERATRIZ	1490,37	10055,31	6056,32	6,74

Fonte: Autor (2022).

**Tabela 4** – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensais para a estação Araguaína.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)	EROSIVIDADE MENSAL (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup> )	DESVIO PADRÃO	DENSIDADE
JANEIRO	258,53	1899,96	1160,66	7,34
FEVEREIRO	271,65	2115,46	1303,77	7,78
MARÇO	292,92	2491,51	1554,63	8,5
ABRIL	206,89	1171,41	682,01	5,66
MAIO	93,19	207,46	80,80	2,22
JUNHO	21,42	8,53	9,11	0,39
JULHO	8,26	1,07	5,08	0,12
AGOSTO	12,21	2,51	6,85	0,2
SETEMBRO	52,14	58,82	4,72	1,12
OUTUBRO	120,3	361,11	170,27	3,0
NOVEMBRO	207,42	1177,94	686,26	5,67
DEZEMBRO	221,67	1360,67	805,39	6,13

Fonte: Autor (2022).

**Tabela 5** – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensal para a estação Marabá.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)	EROSIVIDADE MENSAL (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup> )	DESVIO PADRÃO	DENSIDADE
JANEIRO	269,91	2092,28	1288,61	7,75
FEVEREIRO	298,69	2606,88	1632,13	8,72
MARÇO	334,95	3342,86	2126,91	9,98
ABRIL	232,97	1520,16	910,18	6,52
MAIO	122,91	379,43	181,38	3,08
JUNHO	24,68	11,63	9,22	0,47
JULHO	14,62	3,73	7,7	0,25
AGOSTO	9,06	1,32	5,47	0,14
SETEMBRO	39,46	32,22	5,11	0,81
OUTUBRO	75,98	133,58	40,72	1,75
NOVEMBRO	148,58	572,69	299,89	3,85
DEZEMBRO	190,03	976,91	556,40	5,14

Fonte: Autor (2022).

**Tabela 6** – Valores de precipitação, erosividade, desvio padrão e densidade da erosividade mensal para a estação Imperatriz.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)	EROSIVIDADE MENSAL (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup> )	DESVIO PADRÃO	DENSIDADE
JANEIRO	252,72	2174,98	1359,24	8,6
FEVEREIRO	239,58	1936,98	1200,24	8,08
MARÇO	283,32	2787,33	1770,6	9,83
ABRIL	195,56	1246,69	743,26	6,37
MAIO	90,57	234,53	101,79	2,58
JUNHO	13,42	3,71	6,86	0,27
JULHO	5,77	0,59	3,66	0,1
AGOSTO	7,18	0,95	4,4	0,13
SETEMBRO	24,96	14,3	7,53	0,57
OUTUBRO	69,37	131,47	43,91	1,89
NOVEMBRO	131,52	527,01	279,65	4
DEZEMBRO	176,4	996,7	580,03	5,65

Fonte: Autor (2022).

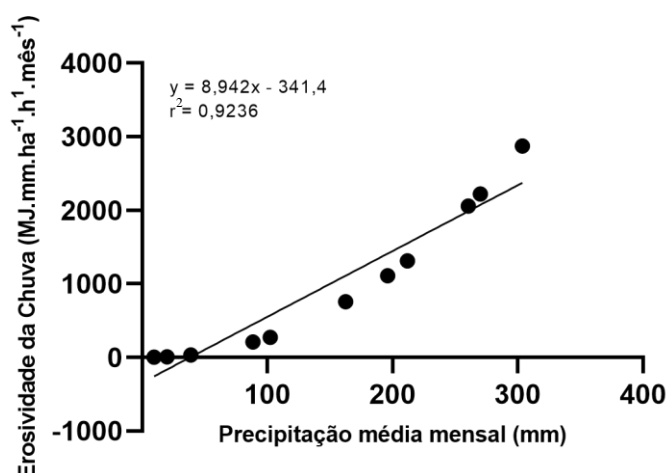
A média de Desvio Padrão anual é 6497,54 MJ·mm/ha/h/ano. A média das médias de densidade de erosividade de janeiro a dezembro é de 4,21 MJ/ha/h, e as médias de densidade de erosividade de todas as estações variam de 0,1 MJ/ha/h a 9,98 MJ/ha/h. A média de densidade de erosividade de janeiro a dezembro são 1003,26 MJ/ha/h.

A variabilidade anual da densidade de erosividade é maior que a variabilidade anual da precipitação, mas menor que a variabilidade do fator R. A distribuição da densidade média de erosividade para algumas estações pode não ser normal. O padrão da densidade média de erosividade é mais semelhante ao padrão espacial do fator R total médio do que o da precipitação total média.

De acordo com as Tabela 4, 5 e 6, a variabilidade mensal da densidade de erosividade é maior que a da precipitação, mas menor que a do fator R. A densidade de erosividade mensal média e as distribuições espaciais mensais do fator R são semelhantes.

Correlacionou-se as precipitações mensais (abcissas) com os correspondentes valores do fator R (Coordenadas) obtendo-se coeficientes de correlação significativos ao nível de 1% de probabilidade. Na Figura 7, apresenta a correlação entre a precipitação média mensal e a Erosividade da chuva mensal. O R para esta correlação apresenta o valor de 0,96 e o  $R^2$  é de 0,92, ou seja, são valores de correlações muito altas. Isto indica que a erosividade mensal das chuvas no município pode ser estimada utilizando dados de precipitação.

**Figura 7** – Correlação entre a precipitação média mensal e a Erosividade da chuva mensal.



Fonte: Autor (2022).

## 4. CONCLUSÃO

A variabilidade espacial e temporal da erosividade da chuva (fator R) e densidade de erosividade no município Palestina do Pará são investigados no presente estudo. Os fatores R anual e mensal são calculados por observações de precipitação em 3 estações meteorológicas. A Precipitação e o fator R mensal e anual são ilustradas.

A precipitação anual, os fatores R anuais e a densidade de erosividade anual apresentam um padrão semelhante. A variação espacial do fator R anual é maior do que a da precipitação anual e valores de densidade de erosividade.

No presente estudo, o método IDW é adotado como método de interpolação espacial, embora o IDW não seja o melhor método para interpolação espacial. A distribuição espacial pelo IDW para as variáveis utilizadas pode ser imprecisa para regiões onde a densidade da rede é baixa.

Em geral, os padrões de distribuição espacial de precipitação, fator R e densidade de erosividade são semelhantes entre si. Como os valores do fator R e da densidade de erosividade estão relacionados à magnitude dos eventos de precipitação, uma grande quantidade de precipitação leva a grandes valores do fator R e da densidade de erosividade e vice-versa.

Investigar a variabilidade espacial e temporal no fator R na Amazônia melhora nossa compreensão da erosividade da chuva, especialmente relacionada às características do fator R na região do Leste Amazônico. Mais estudos devem investigar a relação entre o fator R e os índices climáticos para entender profundamente a variabilidade do fator R no município de Palestina do Pará.

## REFERÊNCIAS

BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Storm erosivity using idealized intensity distributions. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 2, p. 379-0386, 1987.

FOSTER, G. R. et al. **User's Guide—revised universal soil loss equation version 2 (RUSLE 2)**. Washington, DC: USDA—Agricultural Research Service, 2002.

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

HUANG, J. et al. Spatial and temporal variations in rainfall erosivity during 1960–2005 in the Yangtze River basin. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 27, n. 2, p. 337-351, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Área territorial brasileira 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/palestina-do-para.html>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/palestina-do-para.html>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

INTERNATIONAL SOIL REFERENCE AN INFORMATION CENTER - ISRIC. Disponível em: <[https://www.isric.org/sites/default/files/isric\\_report\\_1996\\_08.pdf](https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_1996_08.pdf)> Acesso em: 19 jun. 2022.

LEPRUN, J.C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro**. Recife: Ministério do Interior. SUDENE, 1981.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, p. 189 – 196, 1992.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso**. [S.l. : s.n.], 2011.

MILLWARD, Andrew A.; MERSEY, Janet E. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. **Catena**, v. 38, n. 2, p. 109-129, 1999.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 de chuva e sua relação

com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 15, p. 339 – 344, 1991.

OLIVEIRA Jr., R.C de. **A erosividade das chuvas na parte leste do Pará**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, , 1988.

OLIVEIRA Jr, R. C de. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1996. (Boletim de pesquisa,).

OLIVEIRA Jr, R.C. de; MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 14, p. 235 – 239, 1990.

PANDEY, A. et al. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, v. 147, p. 595-620, 2016.

RENARD, K. G. **Predicting soil erosion by water**: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). [S.I.]: United States Government Printing, 1997.

RISAL, A. et al. Application of Web ERosivity Module (WERM) for estimation of annual and monthly R factor in Korea. **Catena**, v. 147, p. 225-237, 2016.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; HERTEN, G.H. 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 17, p. 439 – 444.

SADEGHI, S. H. et al. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Natural Hazards**, v. 87, n. 1, p. 35-56, 2017.

SHIN, Ju-Young et al. Spatial and temporal variations in rainfall erosivity and erosivity density in South Korea. **Catena**, v. 176, p. 125-144, 2019.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>>. Acesso em: 07 de junho de 2022.

VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C., DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras, MG. **Ciência. Prát.**, v. 10, p. 199 – 209, 1986.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

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

XIN, Z. et al. Spatiotemporal variation in rainfall erosivity on the Chinese Loess Plateau during the period 1956–2008. **Regional Environmental Change**, v. 11, n. 1, p. 149-159, 2011.