





ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DO PARÁ – BRASIL A PARTIR DE DADOS DE SATÉLITE

*Spatial and temporal analysis of rainfall erosivity in the state
of Pará-Brazil from satellite data*

*Análisis espacial y temporal de la erosividad de la lluvia em
el estado do Pará-Brasil a partir de dados satelitales*

Francisco Carlos Lira Pessoa  

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA)
fclpessoa@ufpa.br

Bruno Durão Rodrigues  

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MINAS)
profbrunodurao@gmail.com

David Figueiredo Ferreira Filho  

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA)
davydferreira@gmail.com

Resumo: Conhecer a magnitude da erosividade das chuvas e seu comportamento espaço-temporal é de suma importância para o planejamento ambiental em relação a práticas de manejo e de conservação do solo e da água. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo estimar os índices de erosividade de chuva (EI) mensal e anual e avaliar sua distribuição espaço-temporal no estado do Pará, região Norte do Brasil. Foram utilizados dados de precipitação do satélite meteorológico *Global Precipitation Climatology Centre* – GPCC fornecidos pelo Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha – DWD, com sua matriz original obtida da NOAA. Os índices EI foram determinados por correlações com os registros de precipitações médias mensais e anuais por meio do coeficiente de Fournier, e seguidamente espacializados utilizando o método de interpolação de pontos pela ponderação do inverso da distância - IDW (*Inverse Distance Weighting*). Os meses de janeiro a abril foram os que obtiveram os maiores índices EI mensal, apresentando erosividade muito alta em mais de 90% da área do estado. As mesorregiões Metropolitana de Belém, do Marajó e Nordeste Paraense foram as que apresentaram os cenários mais críticos para o risco de erosão.

Portanto, esses resultados podem ser usados como ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões preventivas nos processos de erosão, visando uma gestão do solo eficaz em todo o estado do Pará.

Palavras-chave: GPCC. Interpolação IDW. Conservação do solo e da água. Erosão do solo.

Abstract: Knowing the magnitude of rainfall erosivity and its spatio-temporal behavior is of paramount importance for environmental planning in relation to soil and water management and conservation practices. In view of the above, the present study aimed to estimate the monthly and annual rainfall erosivity (EI) indices and to assess their spatio-temporal distribution in the state of Pará, in the northern region of Brazil. Precipitation data from the Global Precipitation Climatology Center - GPCC meteorological satellite provided by the National Meteorological Service of Germany - DWD were used, with its original matrix obtained from NOAA. The EI indices were determined by correlations with the records of average monthly and annual rainfall using the Fournier coefficient, and then specialized using the point interpolation method by Inverse Distance Weighting - IDW. The months from January to April had the highest monthly EI rates, with very high erosivity in more than 90% of the state's area. The metropolitan mesoregions of Belém, Marajó and Nordeste Paraense were the regions that presented the most critical scenarios for the risk of erosion. Therefore, these results can be used as an aid tool in making preventive decisions in erosion processes, aiming at an effective soil management throughout the state of Pará.

Keywords: GPCC. IDW interpolation. Soil and water conservation. Soil erosion.

Resumen: Conocer la magnitud de la erosividad de las lluvias y su comportamiento espacio-temporal es de suma importancia para la planificación ambiental en relación con las prácticas de conservación y manejo de suelos y aguas. En vista de lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo estimar los índices de erosividad de la lluvia (IE) mensuales y anuales y evaluar su distribución espacio-temporal en el estado de Pará, en la región norte de Brasil. Se utilizaron datos de precipitación del satélite meteorológico Global Precipitation Climatology Center - GPCC proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional de Alemania – DWD, con su matriz original obtenida de NOAA. Los índices IE se determinaron mediante correlaciones con los registros de precipitación media mensual y anual mediante el coeficiente de Fournier, y luego se especializaron mediante el método de interpolación puntual por Ponderación de Distancia Inversa - IDW. Los meses de enero a abril presentaron las mayores tasas mensuales de EI, con erosividad muy alta en más del 90% del área del estado. Las mesorregiones metropolitanas de Belém, Marajó y Nordeste Paraense fueron las regiones que presentaron los escenarios más críticos para el riesgo de erosión. Por lo tanto, estos resultados pueden ser utilizados como una herramienta de ayuda en la toma de decisiones preventivas en los procesos de erosión, con el objetivo de una gestión eficaz del suelo en todo el estado de Pará.

Palabras clave: GPCC. Interpolación IDW. Conservación de suelo y agua. La erosión del suelo.

Submetido em: 13/04/2022

Aceito para publicação em: 07/11/2022

Publicado em: 23/11/2022



1. INTRODUÇÃO

A erosão é o processo de desgaste do solo e conseqüentemente o arraste acelerado dos seus constituintes causado por agentes climáticos como a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica) (Verheijen et. al., 2009; Bertoni e Lombardi Neto, 2005), bem como a ação humana (Riquetti et al., 2020). A erosão hídrica é a capacidade da chuva em causar erosão (MACHADO et. al., 2008) e nos últimos anos, na América do Sul, este processo têm se intensificado (Mello et al., 2015; Chou et al., 2014).

Existem muitas causas de erosão do solo, como erosão eólica, erosão hídrica e erosão por gravidade (WANG, 2004), mas a erosão hídrica é considerada a forma mais comum. Assim, agindo como um importante indicador do potencial de erosão, a erosividade da chuva é amplamente utilizada na avaliação de variações espaciais e temporais na erosão do solo causada pela água (Morgan, 2005; Qin et al., 2016).

A mesma é considerada uma problemática a nível mundial do ponto de vista ambiental, econômico e social (Sadeghi et. al., 2017; Wang et. al., 2016; Melo et. al., 2015; Almeida et. al., 2012), uma vez que pode resultar em perdas de terra arável (degradação dos solos agrícolas e redução na produtividade), bem como causar contaminação, poluição e assoreamento de corpos hídricos e danos a reservatórios de barragens. Em vista disso, conhecer as perdas de solo por erosão hídrica é uma informação de suma importância para o emprego de práticas que favoreçam a conservação do solo e da água e o planejamento ambiental.

A quantificação das perdas de solo por erosão em campo resulta em elevados custos com equipamentos e mão de obra qualificada, da mesma maneira que requer medições de longo tempo (Panagos et al., 2015). Desde que Wischmeier e Simith (1978) propuseram a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), a erosividade da chuva tornou-se um parâmetro de entrada-chave bem conhecido em modelos empíricos e implementado em modelos modificados e derivados, como a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) e Equação de Perda de Solo Chinesa (CSLE) (Zheng et al., 2001).

A precipitação é um agente primário que pode causar erosão acelerada do solo devido à sua capacidade de desagregar as partículas do solo devido ao impacto das gotas de chuva, escoamento superficial direto e transporte de sedimentos (Riquetti et al., 2020). O

potencial da chuva em causar erosão é conhecido como erosividade da chuva (Wischmeier e Smith, 1978) e seu estudo é essencial para o desenvolvimento de ações de planejamento integrado para mitigar a erosão e degradação do solo (Nearing et al., 2017; Meusburger et al., 2012).

Consequentemente, modelos matemáticos surgem como alternativas para a estimativa da erosão do solo. A Equação Universal de Perda de Solos – USLE (Universal Soil Loss Equation) é um dos modelos matemáticos mais utilizado em vários lugares do mundo para avaliar e quantificar as perdas de solo por erosão (Panagos et. al., 2015; Ballabio et. al., 2017; Duan et. al., 2016). Este modelo foi aperfeiçoado por Wischmeier e Smith (1978), sendo composto pelos principais fatores que influenciam a erosão: erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento da rampa (fator L), declividade do solo (fator S), uso e manejo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P).

A erosividade da chuva (fator R), quando comparado aos outros fatores da USLE, é a que influência sobremaneira as perdas de solo (Sadeghi et. al., 2011; Shamsad et. al., 2008), em razão de ser o parâmetro que representa uma interação entre a energia cinética e o movimento do escoamento superficial. Grande parte dessa erosividade deve-se às características físicas das chuvas como: intensidade e duração, massa, diâmetro e velocidade terminal da gota de chuva. O índice de erosividade de chuva (EI_{30}) é determinado por meio do produto da energia cinética total do evento e a intensidade máxima em 30 minutos. É a melhor relação para medir a potencialidade erosiva da chuva em regiões de clima temperado, sendo utilizado para estimar o valor do fator R da USLE (Wischmeier e Smith, 1958).

Para quantificar a intensidade da chuva - altura de chuva (mm) por unidade de tempo (h) – é necessário que se tenha registros pluviográficos com no mínimo 20 anos, porém esse tipo de equipamento de medição de chuva é raro ou muitas das vezes inexistentes em várias localidades. Em razão dessa limitação, vários autores (Morais et. al., 1991; Lombardi Neto e Moldenhauer, 1992; Bertol, 1994; Silva e Dias, 2003; Moreti et. al., 2003; Silva, 2004) desenvolveram métodos para facilitar a mensurar do índice de erosividade, relacionando-o com o coeficiente de chuvas (R_c) de Fournier (1956), modificado por Lombardi Neto (1977).

No entanto, muito poucos lugares podem fornecer tais dados de precipitação de alta resolução temporal, muito menos séries de longo prazo desses dados (Zhu, Xiong e Xiao,



2020). Naturalmente, muitos modelos simples para calcular a erosividade da chuva foram estabelecidos por estudiosos, incluindo modelos de precipitação diária (Richardson et al., 1983; Yu e Rosewell, 1996), modelos de precipitação mensal (Renard e Freimund, 1994), modelos de precipitação sazonal (Kavian et al., 2011) e modelos de precipitação anual (Lee e Heo, 2011).

A carência ou inexistência de informações pluviográficas no Brasil, em especial a região Norte onde encontra-se o estado do Pará, pode ser considerada um dos grandes problemas para o desenvolvimento de pesquisas na área de hidroclimatológica para a região. Os poucos dados registrados, em sua maioria, pertencem a empreendimentos particulares, não estando disponíveis para consulta, por este motivo, a utilização de séries históricas obtidas de estações pluviométricas ou de satélite é uma alternativa para estimar o índice de erosividade de chuva (EI).

O mapeamento da erosividade de chuvas e as variações espaço-temporais é uma forma de avaliar e representar espacialmente o risco de erosão do solo e deslizamento de terra (Meusburger et. al. 2012), assim, diversos estudos ao redor do mundo foram desenvolvidos no avançar dos anos, como nos EUA (Biasutti e Seager, 2015), Coreia do Sul (Lee et al., 2018), Itália (Borrelli et al., 2016; Vallebona et al., 2015), Espanha (Angulo-Martínez et al., 2009), Brasil (Silva, 2004; Silva Neto e Aleixo, 2020; Back e Poletto, 2018), Irã (Sadeghi et al., 2017), Europa (Ballabio et al., 2017), África (Fenta et al., 2017), entre outros.

A equação do índice de erosividade (EI) desenvolvida por Lombardi Neto e Moldebhauer (1992), em conjunto com o método de interpolação IDW vem sendo utilizada com frequência em estudos realizados no Brasil (Silva Neto e Aleixo, 2020; Back e Poletto, 2018; Barbosa et. al., 2019; Oliveira et. al., 2015) com o propósito de quantificar e analisar espacialmente os índices EI mensal e anual.

O método de interpolação de pontos pela ponderação do inverso da distância – IDW (Inverse Distance Weighting), é um método quantitativo de análise espacial bastante recomendado para diferentes fins em todo o mundo (Xin et. al., 2011; Huang et. al., 2013). A interpolação IDW é classificada como determinística e produz uma superfície contínua a partir de pontos conhecidos. A ponderação é atribuída conforme a distância entre o ponto no qual se quer prever e o ponto amostrado. Sendo assim, pontos que estão mais distantes tem pesos menores e influenciam menos na previsão, e pontos que estão mais próximos

tem pesos maiores, resultando em maior influência na previsão (Mazzini e Schettini, 2009; Borrough e McDonnell, 1998).

Oliveira et. al. (2015) especializaram a erosividade das chuvas para todo o Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação utilizando os métodos de interpolação IDW e Krigagem Ordinária. A Krigagem ordinária é baseada na fórmula da média ponderada, onde os ponderadores dependem da informação estrutural fornecida pelo variograma. Esta é a principal diferença em relação aos outros métodos de estimativa como, por exemplo, o IDW. O valor da variável de interesse em um ponto não amostrado é calculado como combinação linear dos pontos de dados vizinhos. Sendo assim, no presente estudo, os resultados mostraram um melhor desempenho do método IDW para a interpolar a erosividade da chuva.

Barbosa et. al. (2019) utilizaram o método IDW para especializar o fator R na bacia hidrográfica do Rio Coxim, no estado de Mato Grosso do Sul. Outros trabalhos como os de Back e Poleto (2018) e Silva Neto e Aleixo (2020) estimaram o índice de erosividade e avaliaram a distribuição espacial e temporal da erosividade no estado de Santa Catarina e na região do médio Solimões no estado do Amazonas, respectivamente.

Diante dessas considerações, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial do índice de erosividade das chuvas mensal e anual no estado do Pará a partir de dados meteorológicos de satélite do GPCC, para uma série histórica de 37 anos de dados (1982 a 2018), podendo ser usados como ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões preventivas aos processos de erosão do solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

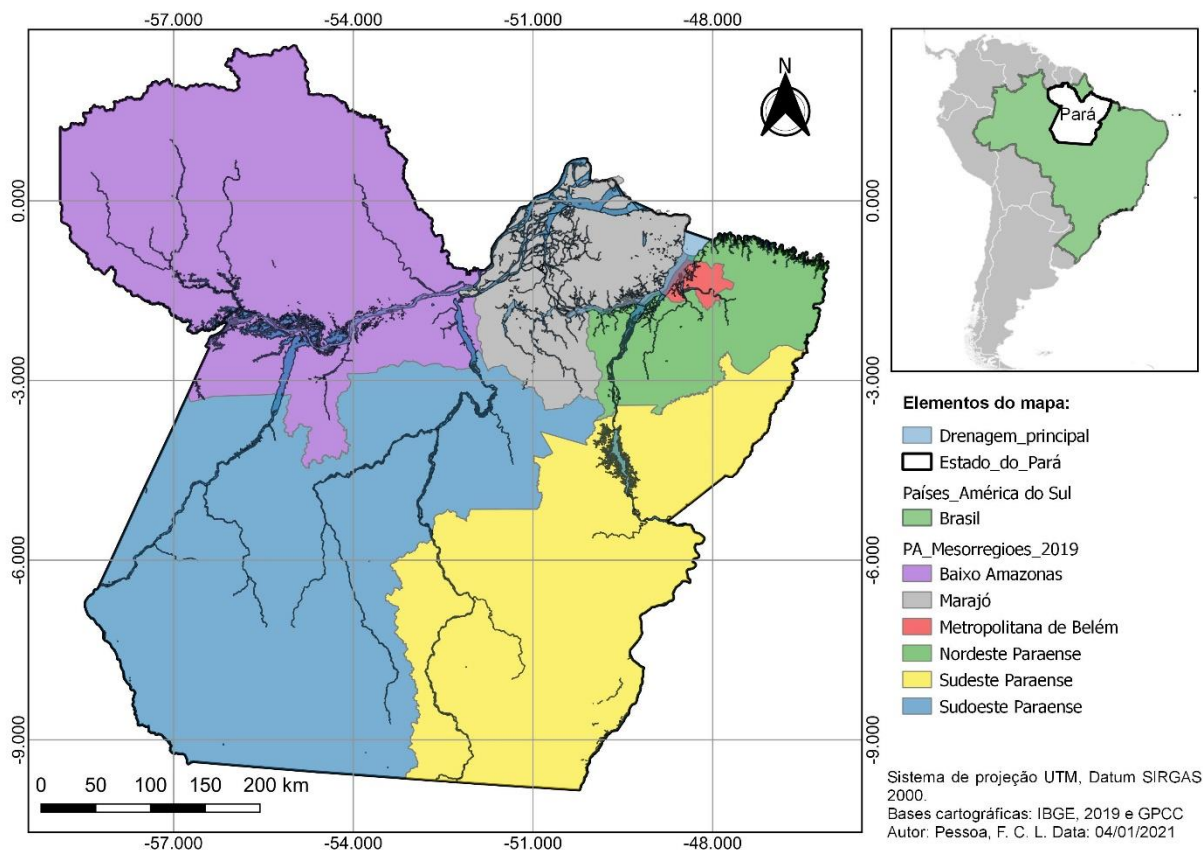
2.1. Área de estudo

O mapa da área de estudo apresentado foi elaborado utilizando técnicas da semiologia gráfica apresentadas por Bertin (1967) que objetivam a melhor visualização e comunicação. Dessa maneira, as informações da área, basicamente, com a variação visual de forma, tamanho, orientação, cor, valor e granulação permitem localizar, ordenar e organizar a área geográfica estudada.



Para isto, princípios cartográficos relacionados à semiologia gráfica, projeção cartográfica, sistema de coordenadas e escalas, destacados por Rosette e Menezes (2011) foram seguidos. Assim, neste trabalho, o ambiente geográfico é o estado do Pará, conforme mapa da figura 1.

Figura 1 – Estado do Pará e sua divisão por mesorregiões.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

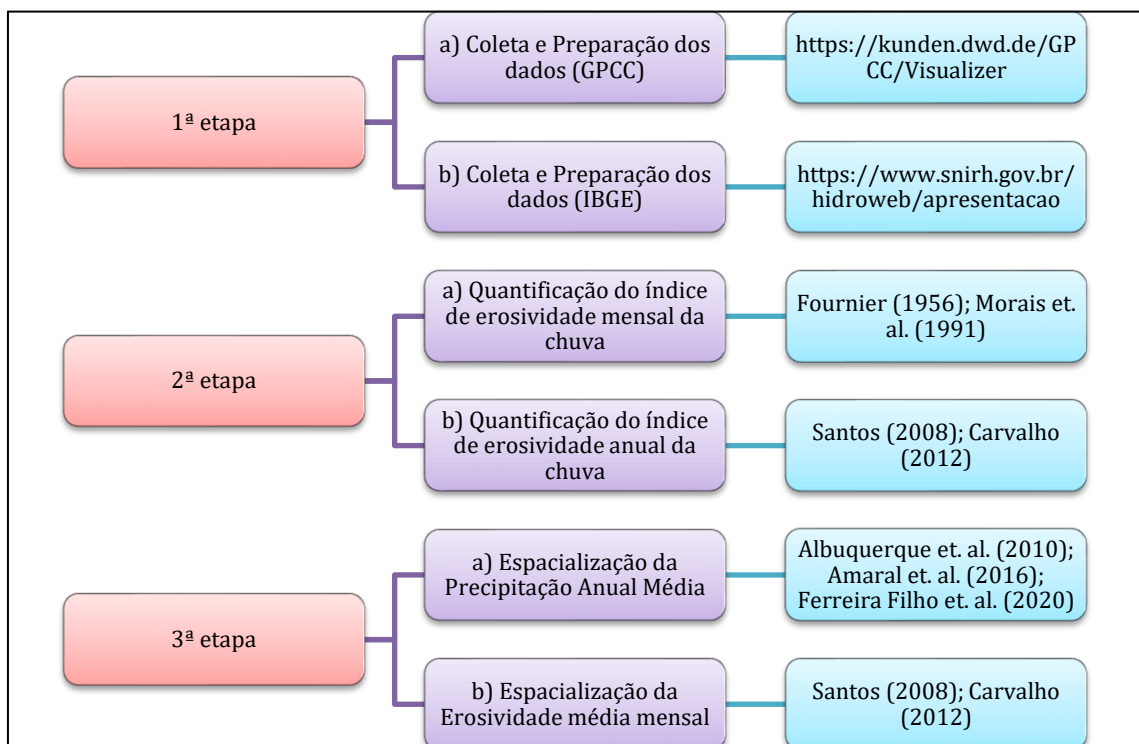
Localizado na região Norte do Brasil e inserido dentro dos limites da Amazônia brasileira, o estado do Pará é o segundo maior estado do país em extensão territorial, compreendendo uma área total de 1.245.870,798 km², possuindo uma população estimada para o ano de 2020 de aproximadamente 8,6 milhões de habitantes, de acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019). O estado está dividido em 6 mesorregiões: Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste Paraense, Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense (Figura 1). Considerando a classificação de Köppen-Geiger (1928), o estado pertence a classe de clima tipo “A”, designado a climas

tropicais com altos índices pluviométricos e com temperaturas médias maiores a 18°C, predominantemente quente e úmido.

2.2. Etapas da pesquisa

Este estudo foi desenvolvido em 3 etapas, conforme mostrado no esquema metodológico (Figura 2).

Figura 2 – Esquema das Etapas Metodológicas da Pesquisa.

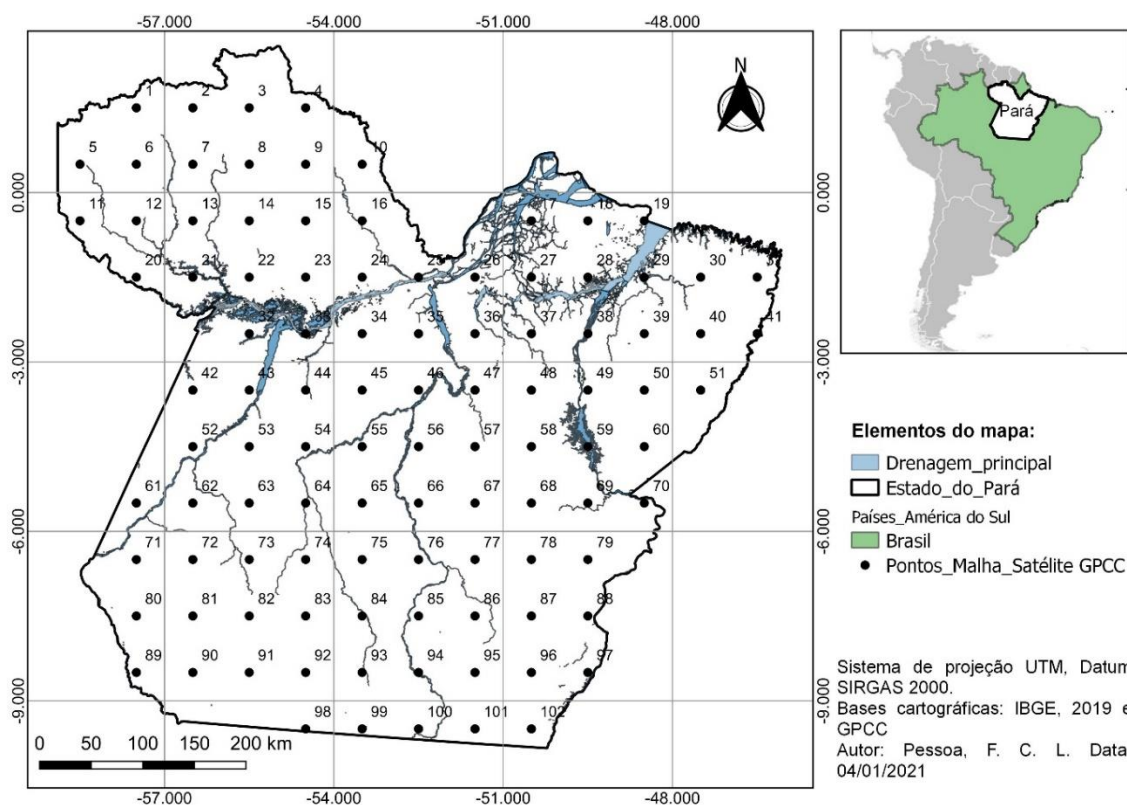


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na etapa 1, os dados do satélite meteorológico GPCC, operado pelo Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha - DWD, com dados originais da NOAA, foram obtidos por meio do site: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>, escolhendo os dados em DATASET e o mês de referência em PERIOD, o que resultou em uma malha de pontos para a América do Sul. Partindo deste ponto, em ambiente SIG, fez-se o recorte para a área de estudo, gerando uma malha com 102 pontos do GPCC, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Malha com os 102 pontos do satélite GPCC para o Estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O GPCC tem como um dos objetivos fornecer ao público dados de precipitação mensal e anual, disponíveis com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ latitude por longitude, desde 1901 até os dias atuais – setembro de 2022 (GPCC_FD). Esses dados permitiram a quantificação da precipitação anual média – PAM, da precipitação mensal média – PMM e do índice de Erosividade da chuva - EI para cada um dos 102 pontos do GPCC utilizados.

Ferreira Filho et al. (2020) fizeram uma comparação entre os dados do GPCC e da ANA para o estado do Pará, e concluíram que o GPCC é uma boa opção de fonte de dados para o estado.

Para a preparação dos mapas foram utilizadas as bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, versão 2019 e escala de 1:250.000.

Na Etapa 2, para cada um dos 102 pontos distribuídos em grade nos limites do estado do Pará, o valor médio do índice de erosividade foi quantificado por meio do método proposto Moraes et. al. (1991), a partir do coeficiente de chuva de Fournier (1956), conforme Equações 1 e 2.


$$(1) EI = 36,894. (Rc)^{1,0852}$$

$$(2) Rc = \frac{(p)^2}{P}$$

Em que: EI é a média mensal do índice de erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mês^{-1}$) e Rc é o coeficiente de chuva; p é a precipitação média mensal (mm) e P é a precipitação média anual (mm).

A região amazônica possui 4 equações de erosividade da chuva, de acordo com o estudo realizado por Silva (2004) que desenvolveu um mapeamento da distribuição das equações de erosividade da chuva para cada região do Brasil (Figura 4).

Figura 4 - Equações utilizadas para determinar os valores mensais/anuais da erosividade de acordo com a área do território e seus respectivos autores.



Number	Equation	Author(s)
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 42.77$	Oliveira Jr. and 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	$R_x = 0.13 * (M_x^{24})$	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 and Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

Fonte: Silva (2004).



De acordo com Silva (2004), parte da Amazônia, sentindo Oeste, pode ser definida pela equação de estudo de Oliveira Junior e Medina (1990). Na Porção Norte, duas regiões podem ser definidas pela equação composta no estudo de Oliveira Junior (1988), enquanto na porção central, pode ser representada pela equação de Morais et al. (1991).

Em contrapartida, Silva et. al. (2019) afirmam que a Equação (1), proposta no estudo de Morais et. al. (1991), apresenta melhor concordância entre o índice de chuva e a erosividade, pois, os autores utilizaram uma série de dados mais robusta, com 334 estações pluviométricas, corrigindo as falhas pela técnica CPC MORPHING, e através do desempenho de estimativa, aplicando métodos estatísticos.

Para quantificar a erosividade da chuva anual, os valores mensais do índice de erosividade para toda a série histórica de 37 anos (1982-2018) foram somados, conforme Equação 3. Conforme Silva et al. (2019), quanto mais robusta for a série histórica, melhor serão os resultados obtidos.

$$(3) R = \sum EI$$

Em que: R é a erosividade da chuva anual ((MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

Com o intuito de uma melhor visualização dos resultados de erosividade da chuva média anual e mensal foi utilizada a classificação proposta por Carvalho (2012) e Santos (2008), adotada por outras pesquisas como: Amaral et. al. (2014), Back e Poleto (2018) e Neto e Aleixo (2020), conforme indica a Tabela 1. A utilização desta classificação está no fato de tentar padronizar a visualização dos resultados, como aplicados nos estudos citados acima.



Tabela 1- Classes de erosividade da chuva média anual e mensal.

Classes	Valores de erosividade	
	MJmha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	MJmha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹
Muito baixa	R < 2.500	EI < 250
Baixa	2.500 < R < 5.000	250 < EI < 500
Média	5.000 < R < 7.000	500 < EI < 700
Alta	7.000 < R < 10.000	700 < EI < 1.000
Muito alta	R > 10.000	EI > 1.000

Fonte: Carvalho (2012) e Santos (2008).

Na Etapa 3 foram empregados métodos baseados na hidrologia e na geoestatística visando avaliar a erosividade da chuva nas escalas temporal (ao longo do período de 1982 a 2018) e espacial (ao longo dos limites do estado).

Para mapear a variabilidade espacial da precipitação média anual e dos índices de erosividade mensais e anual foi utilizado o método de interpolação de pontos pela ponderação do inverso da distância, conhecida como IDW – Inverse Distance Weighting. O método IDW aplica uma suposição de que o valor de um atributo em um local sem informações é uma média ponderada de pontos com dados conhecidos em uma vizinhança local ao redor do local com ausência de dados, conforme a Equação 4 (Borrough e Mcdonnell, 1998):

$$(4) Z^*(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}}$$

Em que: Z* e Z(x_i) são os valores estimados e observados dentro de uma vizinhança escolhida. Os pesos (r) estão relacionados a distância por d_{ij}, que é a distância entre os pontos estimados e observados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das precipitações anuais médias e das precipitações mensais médias são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2- Precipitações médias anuais e mensais para o Estado do Pará.

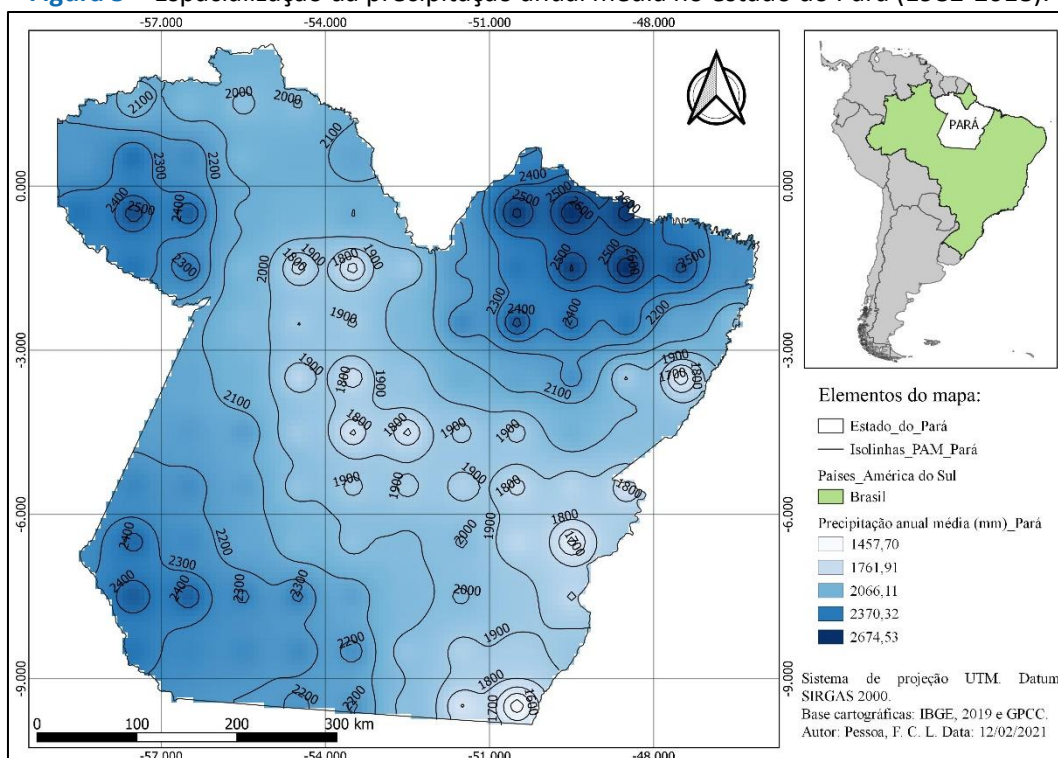
Pontos	PMM (mm)	PMA (mm)	Pontos	PMM (mm)	PMA (mm)	Pontos	PMM (mm)	PMA (mm)	Pontos	PMM (mm)	PMA (mm)
1	170	2045	27	198	2378	53	182	2179	79	131	1575
2	170	2036	28	218	2612	54	158	1901	80	208	2494
3	164	1967	29	223	2679	55	140	1682	81	206	2470
4	166	1995	30	210	2520	56	140	1678	82	193	2317
5	184	2205	31	188	2252	57	156	1869	83	193	2321
6	200	2405	32	168	2011	58	155	1863	84	180	2162
7	190	2274	33	158	1896	59	173	2075	85	169	2025
8	170	2045	34	158	1892	60	166	1988	86	167	2010
9	174	2092	35	170	2037	61	191	2297	87	160	1918
10	179	2143	36	191	2287	62	189	2265	88	149	1793
11	200	2397	37	211	2531	63	181	2166	89	199	2385
12	213	2555	38	202	2426	64	163	1954	90	191	2295
13	207	2480	39	198	2376	65	156	1869	91	190	2283
14	174	2086	40	178	2140	66	156	1870	92	189	2273
15	172	2064	41	166	1994	67	154	1849	93	187	2245
16	175	2103	42	178	2135	68	147	1760	94	163	1952
17	219	2622	43	172	2069	69	153	1832	95	154	1850
18	223	2673	44	151	1809	70	143	1719	96	156	1877
19	220	2635	45	144	1730	71	203	2438	97	161	1931
20	199	2392	46	162	1943	72	190	2281	98	185	2218
21	198	2375	47	174	2094	73	178	2134	99	184	2210
22	169	2023	48	178	2141	74	169	2028	100	165	1980
23	147	1758	49	187	2240	75	164	1963	101	141	1694
24	139	1662	50	158	1893	76	168	2011	102	121	1457
25	159	1913	51	137	1645	77	167	2007			
26	184	2210	52	182	2189	78	150	1802			

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os valores máximo e mínimo de PAM encontrados no estado foram de, respectivamente, 2.679,30 mm e 1.457,46, com uma média de 2.100,90 mm. Segundo Menezes et. al. (2015) e Ferreira Filho et. al. (2020) a média da precipitação anual é próxima de 2.000 mm.

Com base nos resultados obtidos por intermédio dos dados do GPCC foi possível espacializar o comportamento da precipitação anual média - PAM para todo o estado do Pará (Figura 5), considerando um período de 37 anos (1982-2018).

Figura 5 – Espacialização da precipitação anual média no estado do Pará (1982-2018).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

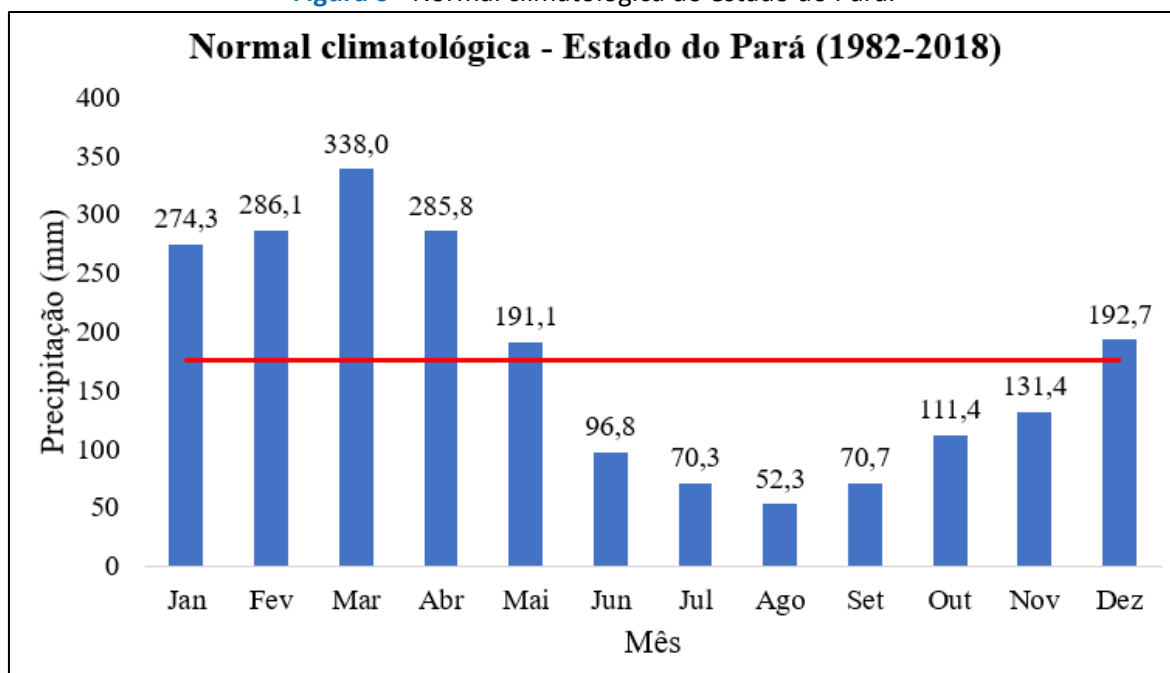
Os maiores valores de PAM foram registrados nas mesorregiões do Marajó, metropolitana de Belém e no nordeste do estado do Pará, assim como em parte da mesorregião do baixo Amazonas, com precipitações superiores a 2.500 mm. Em contrapartida, os menores valores de PAM foram encontrados no sudeste do estado, próximo das fronteiras com os estados do Mato Grosso e Tocantins, com valores inferiores a 1.500 mm.

Estes resultados apresentam conformidade com os encontrados nos estudos de Ferreira Filho et. al. (2020), Amaral et. al. (2016) e Albuquerque et. al. (2010), os quais identificaram valores de PAM inferiores a 1.476 mm, 1.600 mm e 1.900 mm, respectivamente.

A Figura 6 apresenta a normal climatológica para o estado do Pará, que corresponde aos valores médios mensais da precipitação para o período de 1982 a 2018.



Figura 6 - Normal climatológica do estado do Pará.

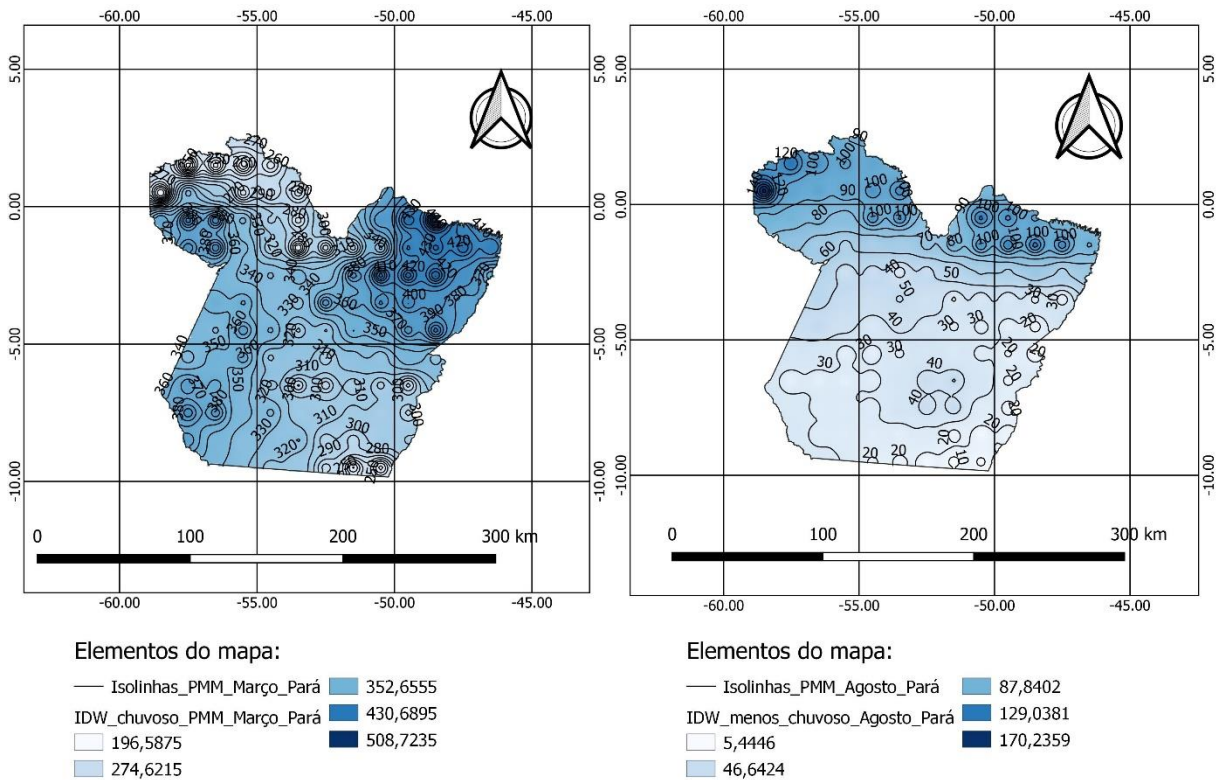


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando a Figura 6, notam-se dois períodos bem definidos: o período menos chuvoso, que se inicia no mês de junho e perdura até o mês de novembro, e o período mais chuvoso, que vai de dezembro até maio. O mês de março foi o que apresentou o maior registro de precipitação mensal, com valor igual a 338 mm, ao passo que o mês de agosto foi o menor, igual a 52,3 mm, com uma média de 275 mm.

Na Figura 7 é possível observar a espacialização da precipitação mensal média para os períodos mais chuvoso (mês de março) e para o menos chuvoso (mês de agosto).

Figura 7 – Espacialização da precipitação mensal média, períodos mais chuvoso e menos chuvoso, no estado do Pará (1982-2018).



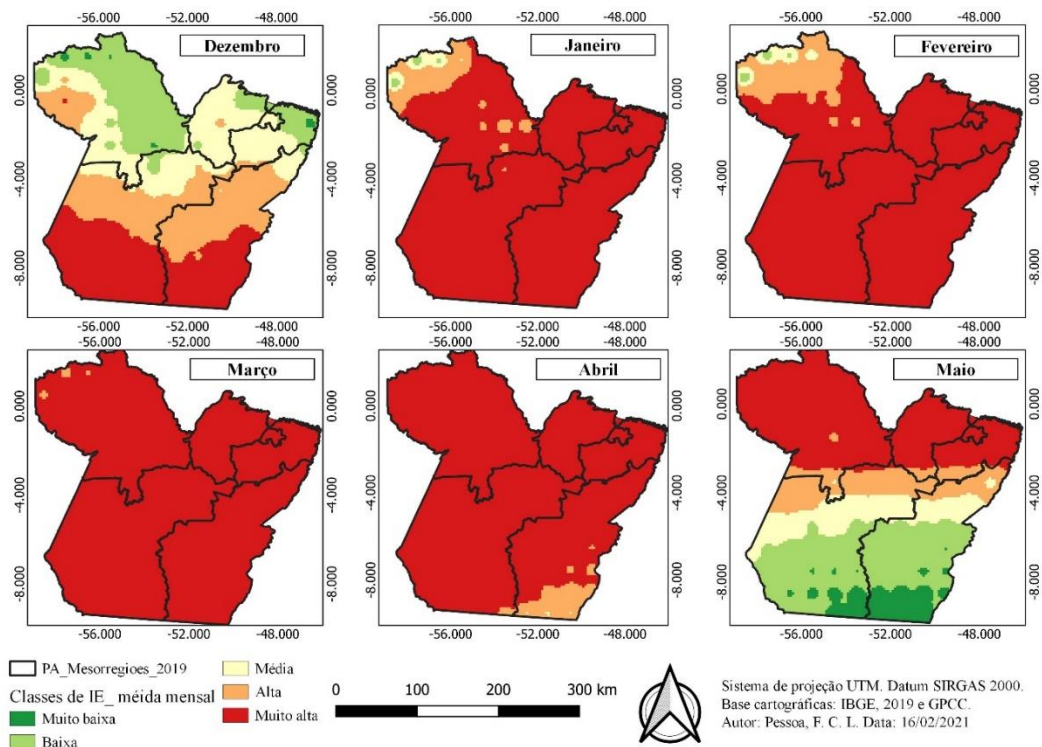
Sistema de projeção UTM. Datum SIRGAS 2000. Base cartográficas: IBGE, 2019 e GPCC. Autor: Pessoa, F. C. L. Data: 05/11/2022.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A erosividade da chuva representou o potencial da chuva em causar erosão no estado do Pará. A partir da sazonalidade da PMM, período mais chuvoso e menos chuvoso, e na equação proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), os índices de erosividade de chuva médio mensal - EI e médio anual - R foram quantificados, da mesma maneira que foram classificados em erosividade muito baixa, baixa, média, alta e muito alta com base na proposta de Carvalho (2012) e Santos (2008). As Figuras 8 e 9 mostram a distribuição sazonal dos valores de erosividade da chuva média mensal – EI para os dois períodos.

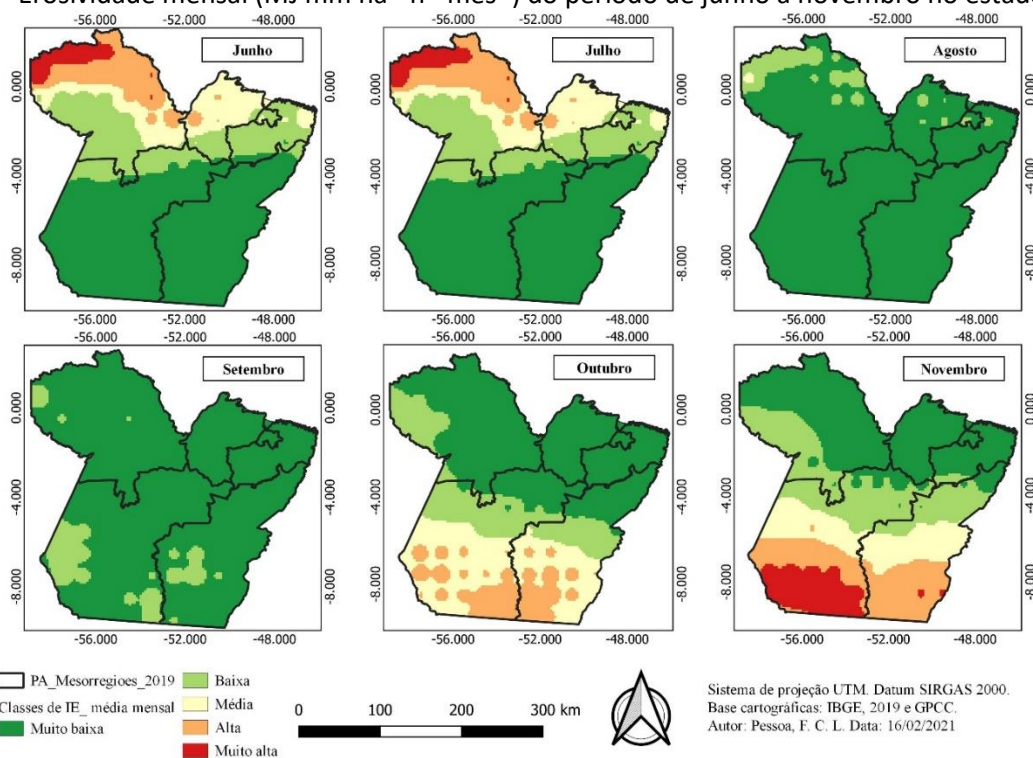


Figura 8 - Erosividade média mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{mês}^{-1}$) do período de dezembro a maio no estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 9 - Erosividade mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{mês}^{-1}$) do período de junho a novembro no estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nota-se na Figura 8, que os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foram os que apresentaram os maiores valores de EI mensal, variando entre 361,41 a 3.270,22 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, resultando em erosividade muito alta em mais de 90% de toda a área de estudo. Em estudo realizado por Raimo et al. (2018), o período de outubro a abril, no estado do Mato Grosso, corresponde a 91% de toda a erosividade anual para a área de estudo.

Globalmente, ao analisar a discrepância nos valores do EI ao longo dos meses do ano, podem observar-se variações nas faixas de erosividade para noroeste-sudeste, que é quando começa a estação das chuvas, e para sudeste-noroeste, que é o período de transição chuvoso-seco (Figuras 8 e 9).

Este padrão de variabilidade é atribuído à influência da massa continental equatorial (CEM), criada a partir da elevada evapotranspiração da floresta amazônica, que passa sobre toda Amazônia e proporciona eventos pluviométricos em todo o território (RAIMO et al., 2018).

Vale destacar que o mês de março foi o que apresentou o maior potencial erosivo, uma vez que 99,7% de todo o estado foi classificado como erosividade muito alta, com índices máximo, mínimo e médio iguais 3.270,50, 795,45 e 2.003,50 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, respectivamente, concordando com o mês que ocorrem os maiores índices pluviométricos.

Em contrapartida, os meses de agosto e setembro foram os que mostraram os menos EI mensal, com médias inferiores a 105 e 155 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, respectivamente. Nesses meses a região foi classificada com erosividade muito baixa em mais de 91%, conforme pode ser observado na Figura 9.

Esse comportamento é devido a expansão da CEM, que começa em agosto, deixando a região amazônica em direção ao centro-oeste do Brasil. Este movimento aparece predominantemente na direção noroeste-sudeste até chegar ao Estado de São Paulo (Marcuzzo et al., 2012; Raimo et al., 2018).

As mesorregiões do Marajó, Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense são as que expuseram os cenários mais críticos no período mais chuvoso para erosividade de chuva, visto que nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, 100% das mesmas apresentaram erosividade muito alta. Além do mais, no mês de maio, 100% da mesorregião Metropolitana de Belém e mais de 95% das mesorregiões do Marajó e Nordeste Paraense foram



classificadas com erosividade de chuva muito alta. É importante destacar também os resultados encontrados na mesorregião do Sudoeste Paraense, em especial ao sul dos municípios de Novo Progresso, Jacareacanga e Altamira, que apresentaram erosividade muito alta para os meses citados e para o mês de novembro e dezembro.

Os meses de maio, junho, novembro e dezembro podem ser considerados como períodos de transição, em razão de demonstrarem uma variabilidade significativa para as cinco classes de erosividade de chuva média mensal em todo o estado do Pará. Neste período os valores de EI média mensal variaram entre 1,65 a 2.850 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹.

Nos meses de novembro e dezembro, os maiores índices EI mensal foram observados na parte sul das mesorregiões Sudoeste e Sudeste Paraense. Esses valores foram decrescendo gradativamente no sentido sul ao norte do estado do Pará, apresentado os menores índices nas mesorregiões do Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense. Nos meses de maio e junho os resultados apresentaram comportamento oposto aos encontrados nos meses de novembro e dezembro.

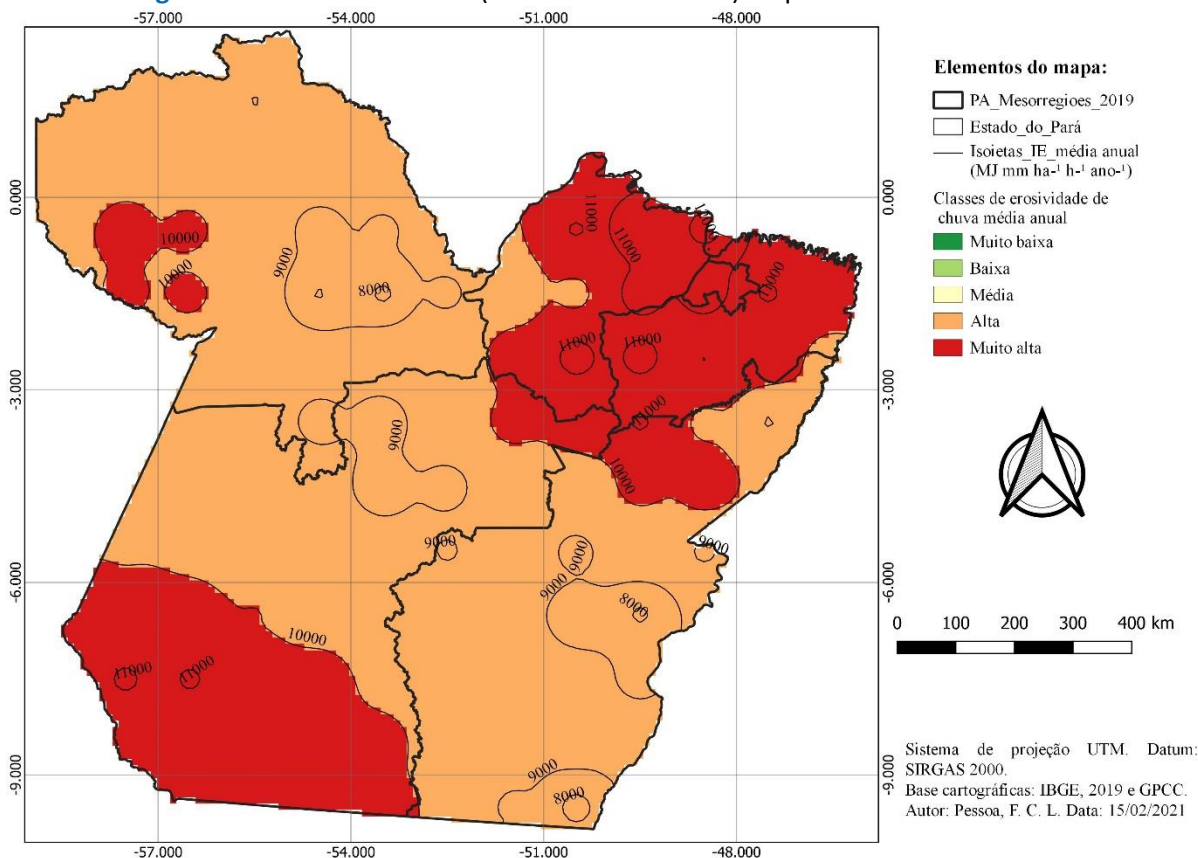
É possível notar que o estado do Pará apresenta diferentes padrões de EI em três períodos distintos durante o ano, os quais variando de acordo com a distribuição da chuva ao longo do ano no estado.

Vale citar que os estudos nos estados de Tocantins (Viola et al., 2014) e Goiás (Almeida e Casaroli, 2016) foram também caracterizados como tendo valores EI altos e muito altos entre dezembro e março, e valores de EI baixos e muito baixos entre abril e setembro, resultados semelhantes aos apresentados por esta pesquisa). Tal semelhança deve-se à uniformidade da distribuição da precipitação que é proporcionada pela proximidade entre estes estados. Tal proximidade faz com que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ) e a CEM se comportem com intensidade semelhante acima do território dos Estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins (Carvalho e Jones, 2009; Gan et al., 2009) e pelo estado do Pará.

Uma grande faixa de humidade, conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ), ocorre frequentemente no Verão, de norte a leste, na América do Sul. Esta tem o potencial de gerar precipitação intensa levando a valores elevados do fator R (Mello et al., 2013).

A Figura 10 apresenta as isoietas de erosividade de chuva anual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e a distribuição das classes de erosividade para todo o estado do Pará.

Figura 10- Erosividade anual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) do período de 1982 a 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando a espacialização da erosividade de chuva média anual (Figura 10), percebe-se a ausência de áreas na região em estudo categorizadas com erosividade muito baixa, baixa ou média. Por outro lado, 67,08% do estado apresentou potencial alto e 32,92% muito alto para erosividade de chuva, o que está de acordo com os estudos desenvolvidos por Trindade et. al. (2016), visto que os mesmos identificaram a região Norte com erosividade muito alta e alta.

Os resultados obtidos da erosividade da chuva média anual para todo o estado do Pará apresentaram uma variação de 7.500 a 12.500 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, com um valor médio superior a 9.700 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$. De acordo com os estudos desenvolvidos por Oliveira et. al. (2015), Oliveira et. al. (2012) e Trindade et. al. (2016), na região Norte são encontrados os maiores valores de erosividade anual em todo o território brasileiro.



Trindade et. al. (2016) verificaram uma variação de 7.116 a 16.583 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para a região Norte, se comparados a região Nordeste, onde a variação fica entre 2000 a 8000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e sudeste com variações entre 4000 a 8000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Silva, 2004).

Panagos et al. (2017) cartografaram a erosividade mundial e obtiveram valores superiores 7.400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, representando uma classe muito alta. Tais comparações evidenciam a importância dos estudos de erosividade que contemplam áreas menores e utilizam dados de informações provenientes de satélites.

Riquetti et al. (2017) apresentados no estudo onde para a América do Sul derivado da base de dados do WorldClim (Fick e Hijmans, 2017) e do Fator Rf modelo geográfico, os resultados foram de foram 4482 MJ mm (ha h)⁻¹ ano⁻¹, no entanto, os mesmos ainda afirma que ao norte, os resultados apresentaram valores entre 3000 e 8000 MJ mm (ha h)⁻¹ ano⁻¹.

A mesorregião do Marajó foi a que apresentou os maiores índices de erosividade média anual, apresentando valores máximos próximos a 12.500 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Trindade et. al. (2016), relatam que o estado do Amapá, a Ilha do Marajó e o litoral nordestino podem apresentar os maiores valores de erosividade em todo o Brasil, consequência da proximidade à linha do Equador.

Como todas as macrorregiões do estado do Pará têm valores de EI elevados (Figura 9), o que realça o fato de que qualquer atividade agrícola aí desenvolvida requer a adoção de práticas de conservação. No entanto, os valores mais críticos ocorrem nas regiões nordeste e sudoeste, e uma pequena porção a noroeste, esta última que são constituídas por florestas nativas e densas, das quais são eficazes para a proteção do solo.

A erosividade pluviométrica é um dos parâmetros de entrada mais importantes para descrever processos erosivos e propor medidas de conservação, utilizando modelos de previsão da erosão do solo (Paganos et al., 2017).

O gradiente de erosividade criado pela Cordilheira dos Andes é claramente visível no mapa da erosividade de Paganos et al (2017), e ainda há poucos estudos sobre avaliações sobre a EI na América do Sul (Hoyos; Waylen; Jaramilló, 2005).

A erosão do solo tem sido afetada tanto pelas alterações climáticas como pelo crescimento populacional nas últimas décadas (UNCCD, 2012). As mudanças climáticas

afetam diretamente os quantitativos pluviométricos mensais e anuais, assim como, o uso e ocupação do solo têm sido influenciado pelo crescimento populacional, onde, mudanças como estas, podem afetar a erosão em áreas ocupadas de formas inadequadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos da pesquisa foram satisfatoriamente alcançados, resultando em mapas que mostram a variabilidade da erosividade das chuvas no espaço e no tempo para o estado do Pará, uma vez que resultados similares foram encontrados nos estudos realizados por Riquetti et al. (2017), Trindade et. al. (2016), Oliveira et. al. (2015) e Oliveira et. al. (2012). O método de interpolação IDW mostrou-se eficiente na espacialização dos dados utilizados neste estudo, resultando em mapas de qualidade, passíveis a serem utilizados em estudos futuros.

A espacialização da erosividade da chuva média anual para o estado do Pará permitiu identificar a ausência de áreas classificadas com erosividade muito baixa, baixa ou média, em contrapartida pouco mais de 67% e 32% da área possui potencial alto e muito alto para erosão, perante o quantitativo de chuvas na região, respectivamente.

As mesorregiões Metropolitana de Belém, Marajó e Nordeste Paraense são as áreas mais suscetíveis ao risco de erosão, sobretudo no período mais chuvoso, apresentando erosividade média mensal muito alta em mais de 95% nos meses entre janeiro e maio.

Os mapas de espacialização dos índices EI mensal e anual produzidos nesta pesquisa poderão auxiliar no planejamento de manejo e de práticas conservacionistas do solo e da água, permitindo um uso mais sustentável da terra, prevenindo riscos à erosão do solo, ocupações em áreas inadequadas, explorações irregulares, bem como, identificando áreas passíveis a recuperação.

De forma geral, o resultado da análise espaço-temporal dos índices de EI indicou que dados de satélite como o GPCC podem e devem ser usados na ausência ou insuficiência de informações pluviográficas ou pluviométricas, principalmente em regiões onde há uma defasagem de dados médios *in loco*, ou então, dados com falhas em seus registros.

Sugere-se utilizar outras fontes de dados provenientes de satélites meteorológicos, com uma resolução espacial maior que utilizada neste estudo (Resolução espacial maior que



1ºx1º), a fim de investigar se há respostas melhores frente ao EI, identificar o surgimento de novas áreas de EI, e quais impactos que tais mudanças podem ocasionar.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas Décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 151 – 168, 2010.

ALMEIDA, C.O.S.; AMORIM, R.S.S.; ELTZ, F.L.F.; COUTO, E.G.; JORDANI, S.A. Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 142-152, 2012.

ALMEIDA, R. T. S.; CASAROLI, D. Erosividade média e o calendário agrícola da microrregião sudoeste do estado de Goiás. **GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, v. 17, p. 26-43, 2016.

AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO, J. F. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 04, p. 691-701, 2014.

AMARAL, M.A.C.M.; JOSÉ, J.V.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, R.D.; BARROS, T.H. da S. Distribuição espacial da precipitação pluviométrica em relação à topografia no estado do Pará. **Irriga, Botucatu, Edição Especial, Irriga e Inovagri**, p. 1-12, 2016.

ANGULO-MARTINEZ, M.; LOPEZVICENTE, M.; VICENTESERRANO, S.M., et al. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 13, n. 10, p. 1907–1920, 2009.

BACK, A. J.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 381-403, 2018.

BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; SPINONI, J., et al. Mapping monthly rainfall erosivity in Europe. **Sci. Total Environ.**, v. 579, p. 1298–1315, 2017.

BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; SPINONI, J.; MEUSBURGER, K.; MICHAELIDES, S.; BEGUERÍA, S.; KLIK, A.; PETAN, S.; JANEČEK, M.; OLSEN, P. A.; ALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICZ, A.; DUMITRESCU, A.; TADIĆ, M. P.; DIODATO, N.; KOSTALOVA, J.; ROUSSEVA, S.; BANASIK, K.; ALEWELL, C.; PANAGOS, P. Mapping monthly rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1298–1315, 2017.

BARBOSA, E. H. B.; IDE, C. N.; GONÇALVES, F. V. Análise Estatística de Comparação Entre os Modelos de Erosividade da Chuva (Fator R). **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 133-140, 2019.

BERTIN, J. **Sémiologie Graphique**. P. 8-13. Paris: Mouton, 1967.

- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1453-1458, 1994.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BIASUTTI, M.; SEAGER, R. Projected changes in US rainfall erosivity. **Hydrol. Earth Syst. Sc.**, v. 19, n. 6, p. 2945–2961, 2015.
- BORRELLI, P.; DIODATO, N.; PANAGOS, P. Rainfall erosivity in Italy: a national scale spatio-temporal assessment. **Int. J. Digit Earth.**, v. 9, n. 9, p. 835–850, 2016.
- BORROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, Oxford, 1998.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro, Interciência, p. 599, 2012.
- CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the eta simulations nested in three global climate models. **Am. J. Clim. Chang.**, v. 3, p. 438–454, 2014.
- DUAN, X.; GU, Z.; LI, Y.; XU, H. The spatiotemporal patterns of rainfall erosivity in Yunnan Province, southwest China: an analysis of empirical orthogonal functions. **Global and Planetary Change**, v. 144, p. 82–93, 2016.
- FENTA, A.A., YASUDA, H., SHIMIZU, K., et al. Spatial distribution and temporal trends of rainfall and erosivity in the Eastern Africa region. **Hydrol. Process.**, v. 31, n. 25, p. 4555–4567, 2017.
- FERREIRA FILHO, D. F.; PEREIRA, B. R. L.; CRISPIM, D. L.; PESSOA, F. C. L.; FERNANDES, L. L. Análise pluviométrica no estado do Pará: comparação entre dados obtidos de estações pluviométricas e do satélite GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 541-560, 2020.
- FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. Worldclim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **Int. J. Climatol.**, v. 37, p. 4302–4315, 2017.
- FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic Int. Public**, v. 38, 1956.
- GAN, M.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- HOYOS, N.; WAYLEN, P. R.; JARAMILLO, Á. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. **J. Hydrol.**, v. 314, p. 177–191, 2005.



HUANG, J; ZHANG, J; ZHANG, Z; XU, C.Y. 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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e estados**: Belém. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>. Acesso em: 04 de janeiro 2021.

KAVIAN, A.; FATHOLLAH, N.Y.; HABIBNEJAD, M., et al. Modeling seasonal rainfall erosivity on a regional scale: a case study from northeastern Iran. **J. Environ. Res.**, v. 5, n. 4, p. 939–950, 2011.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. **Justus Perthes**, 1928.

LEE, J.H.; HEO, J.H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. **J. Hydrol.**, v. 409, n. 1, p. 30–48, 2011.

LEFRE, J.H.; LEE, J.; JULIEN, P.Y. Global climate teleconnection with rainfall erosivity in South Korea. **Catena**, v. 167, p. 28–43, 2018.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. Purdue University, West Lafayette, Dissertation (Master of science), p. 53, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v.51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, D. H.; PINTO, M. F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2113-1223, 2008.

MARCUZZO, F. F.; MELO, D. C.; COSTA, H. C. Sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 1, p. 77-86, 2012.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; OWENS, P.R.; MELLO, J.M.; BESKOW, S. Interpolation methods for improving the RUSLE R-factor mapping in Brazil. **J. Soil Water Conserv.**, v. 70, p. 82–197, 2015.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202–203, p. 88–102, 2013.

MELO, D. de C.D.; XAVIER, A.C.; BIANCHI, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; SCANLON, B.R.; LUCAS, M.C.; WENDLAND, E. Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multisatellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 120, p. 9426-9436, 2015.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 11, p. 64-71, 2015.

MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 1, p. 167–177, 2012.

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 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 15, n. 3, p. 339-344, 1991.

MORETI, D.; CARVALHO, M.P.; MANNIGEL, A.R.; MEDEIROS, L.R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 713-725, 2003.

MORGAN, P.R.C. Erosion Hazard Assessment, in: Soil Erosion and Conservation (thirded). **Blackwell Publishing, London**, p. 67, 2005.

NEARING, M.A., YIN, S., BORRELLI, P., POLYAKOV, V.O. Rainfall erosivity: an historical review. **Catena**, v. 157, p. 357–362, 2017.

NETO, J. C. A. S.; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 77, p. 01-17, 2020.

OLIVEIRA, J. P. B.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 558-563, 2015.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. P. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 69–79, 2012.

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; KLIKC, A.; ROUSSEVA, S.; PERČEC TADIĆ M.; MICHAELIDES, S.; HRABALÍKOVÁ, M.; OLSEN, P.; AALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICZ, A.; DUMITRESCU, A.; BEGUERÍA, S.; ALEWELL C. Rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 801–814, 2015.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGUER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K. J. et al. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 41-75, 2017.

QIN, W., GUO, Q.K., ZUO, C.Q., et al. Spatial distribution and temporal trends of rainfall erosivity in mainland China for 1951–2010. **Catena**, v. 147, p. 177–186, 2016.

RAIMO, Luis Augusto Di Loreto Di et al. Spatio-temporal variability of erosivity in Mato Grosso, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, 2018.



RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the Rfactor in the revised USLE. **J. Hydrol**, v. 157, n. 1–4, p. 287–306, 1994.

RICHARDSON, C.W.; FOSTER, G.R.; WRIGHT, D. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. **Trans. A. Sae**, v. 26, n. 1, p. 153–157, 1983.

RIQUETTI, NELVA B. et al. Rainfall erosivity in South America: Current patterns and future perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 724, p. 138315, 2020.

ROSETTE, A. C.; MENEZAS, P. M. L. **Erros comuns na cartografia temática**. Rio de Janeiro: UFRJ, p. 1-9, 2011.

SADEGHI, S. H. R.; MOATAMEDNIA, M.; BEHZADFAR, M. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 451–464, 2011.

SADEGHI, S. H.; ZABIHI, M.; VAFAKHAH, M.; HAZBAVI, Z. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Natural Hazards**, v. 87, p. 35-56, 2017.

SADEGHI, S. H.R; MOATAMEDNIA, M; BEHZADFAR, M. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 451–464, 2011.

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

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 2008.

SHAMSHAD, A; AZHARI, M. N.; ISA, M. H.; WAN HUSSIN, W. M. A.; PARIDA, B. P. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE E130 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. **Catena**, v. 72, n. 3, p. 423–432, 2008.

SILVA, A.M.D. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251–259, 2004.

SILVA, D. S.; BLANCO, C. J. C.; DOS SANTOS JUNIOR, C. S.; MARTINS, W. L. D. Modeling of the spatial and temporal dynamics of erosivity in the amazon. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, n. 1, p.513-523, 2019.

SILVA, J.R.C.; DIAS, A.S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:347-354, 2003.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). **Zero Net Land Degradation**. A Sustainable Development Goal for Rio+20 (Bonn, Germany), 2012.

VALLEBONA, C.; PELLEGRINO, E.; FRUMENTO, P., et al. Temporal trends in extreme rainfall intensity and erosivity in the Mediterranean region: a case study in southern Tuscany Italy. **Climatic Change**, v. 128, p. 139–151, 2015.

VERHEIJEN, F. G.; JONES, R. J.; RICKSON, R. J.; SMITH, C. J. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. **Earth-Science Reviews**, v. 94, n. 1-4, p. 23-38, 2009.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; de MELLO, C. R.; de OLIVEIRA LIMA, S.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 125-135, 2014.

WANG, B.; ZHENG, F. GUAN, Y. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 168-176, 2016.

WANG, L. China's water conservancy encyclopedia: volume of soil and water conservation. **China Water Power Press, Beijing**, 2004.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S Department of Agriculture, Agr. Handbook, v. 537, p. 1-58, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transaction American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285–291, 1958.

XIN, Z; YU, X; LI, Q; LU, X. X. 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.

YU, B., ROSEWELL, C. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. **Aust. J. Soil. Res.**, v. 34, n. 1, p. 139–152, 1996.

ZHENG, F.L.; LIU, F.; YANG, Q.K., et al. Review of research progress in soil erosion prediction model. **Bull. J. Soil. Water. Conserv**, v. 21, n. 6, p. 16–18, 2001.

ZHU, DAYUN; XIONG, KANGNING; XIAO, HUA. Multi-time scale variability of rainfall erosivity and erosivity density in the karst region of southern China, 1960–2017. **Catena**, v. 197, p. 104977, 2021.