

Artigo

Estimativa e Espacialização da Erosividade em Mesorregiões Climáticas no Estado de Alagoas

Edson de Oliveira Souza¹ , Micejane da Silva Costa¹ , José Francisco de Oliveira Júnior¹ ,
Givanildo de Gois² , Glauber Lopes Mariano¹ , Carlos Everaldo da Silva Costa³ ,
Washington Luiz Félix Correia Filho¹ , Dimas de Barros Santiago⁴ 

¹*Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.*

²*Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

³*Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.*

⁴*Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.*

Recebido em: 19 de Junho de 2020 - Revisado em: 7 de Julho de 2020 - Aceito em: 9 de Agosto de 2020

Resumo

A escassez de dados pluviográficos em Alagoas, similar em muitas regiões do país, faz com que utilizem equações de regressão obtidas em outras regiões do Brasil para calcular o fator R da Equação Universal de Perda de Solo. O estudo tem por objetivos: i) definir uma equação para estimar a erosividade das chuvas baseada no índice EI_{30} e no coeficiente de chuva R_c , ii) validar o método de imputação de dados para a chuva e erosividade e iii) estimar espacialmente a erosividade nos períodos chuvoso, seco e transição para Alagoas. Utilizaram-se dados pluviométricos mensais de 54 estações no período (1960-2016). A equação utilizada apresentou correlação significativa entre os dados observados e estimados, de acordo com os coeficientes r (93%), R^2 (87%) e $RMSE$ (775,2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹). A Krigagem Ordinária foi o melhor interpolador espacial. A isoerosividade mensal mostrou que os maiores índices de EI_{30} ocorreram entre abril e julho, período coincidente com a quadra chuvosa do estado. Na erosividade anual, os maiores registros estão situados no Leste Alagoano, próximas ao litoral. Destaque para as estações Satuba, Maceió, São Luiz do Quitunde e Flexeiras, categorizadas entre moderada e forte. Estes resultados auxiliarão no planejamento de práticas conservacionistas, principalmente em áreas de vulnerabilidade.

Palavras-chave: erosão hídrica, interpolação espacial, perda do solo.

Erosivity Estimation and Spatialization in Climatic Mesoregions in the State of Alagoas

Abstract

The lack of rainfall data in Alagoas, similar in many regions of the country, makes them use regression equations obtained in other regions of Brazil to calculate the R factor of the Universal Soil Loss Equation. The study aims to: i) define an equation to estimate rainfall erosivity based on the EI_{30} index and the rain coefficient R_c , ii) validate the data imputation method for rain and erosivity and iii) spatially estimate erosivity in rainy, dry and transition periods to Alagoas. Monthly rainfall data from 54 stations in the period (1960-2016) were used. The equation used showed a significant correlation between the observed and estimated data, according to the coefficients r (93%), R^2 (87%) and $RMSE$ (775.2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹). The Ordinary Kriging was the best spatial interpolator. The monthly isoerosivity showed that the highest EI_{30} rates occurred between April and July, a period coinciding with the rainy season in the state. In annual erosivity, the largest records are located in eastern Alagoas, close to the coast. Highlight for the stations Satuba, Maceió, São Luiz do Quitunde and Flexeiras, categorized between moderate and strong. These results will assist in planning conservation practices, especially in areas of vulnerability.

Keywords: water erosion, spatial interpolation, soil loss.

1. Introdução

A ação da chuva causa Erosão do Solo (ES) e, assim afeta diretamente a qualidade e a produtividade do solo, com redução nas taxas de infiltração, capacidade de retenção de água, nutrientes, matéria orgânica, biota e profundidade do solo (Pimentel *et al.*, 1995). Logo, realizar estimativas das perdas de solo por erosão hídrica é uma informação importante no planejamento de políticas ambientais e adoção de práticas conservacionistas que favoreçam o uso adequado do solo, principalmente dos recursos hídricos (Panagos *et al.*, 2015, Melo *et al.*, 2019), proteção da superfície com resíduos vegetais (Bertollo e Levien, 2019), que por sua vez são métodos de conservação que se mostram eficazes na contenção de processos provocados pela ação da erosão hídrica.

A erodibilidade do solo consiste na susceptibilidade do solo à erosão hídrica. É um atributo intrínseco de cada solo e constitui um fator fundamental para a previsão de perdas de solo e planejamento de uso da terra (Silva *et al.*, 2009). Quantificar as perdas de solo por erosão em nível de campo necessita de medidas históricas para obtenção de valores consistentes, sendo, portanto oneroso (Panagos *et al.*, 2015; Trindade *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2017). Silva *et al.* (2003) afirmaram que a falta de estudos científicos juntamente com as limitações econômicas e o tempo necessário para as pesquisas são maiores dificuldades na determinação de perdas de solo.

Segundo Oliveira *et al.* (2015), a erosão hídrica do solo consiste em um processo de soltura e arraste de sedimentos do solo pelos agentes erosivos, sendo um dos principais fatores de sua degradação. A erosão hídrica é uma ameaça para as atividades agrícolas, para as circunvizinhanças de encostas com propensão a deslizamentos, principalmente em ambientes urbanos com adensamento populacional (Terassi *et al.*, 2020). A erosão hídrica também interfere na captação de águas de açudes e transporte fluvial devido ao assoreamento, seguido da lixiviação do solo, diminuição da fertilidade do solo e poluição dos corpos hídricos e assim, afetam o meio ambiente (Brady e Weil, 2013; Melo *et al.*, 2019), podendo tornar grandes áreas férteis em improdutivas, levando até mesmo a processo de desertificação, caso o fenômeno de erosão evolua para níveis irreversíveis no que diz respeito à viabilidade econômica para recuperação (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2016).

Vale destacar que a ES é um instrumento fundamental para a tomada de decisão de práticas conservacionistas do solo e d'água (Lee e Heo, 2011). Como a ES é difícil de mensurar em grande escala, se usam modelos de estimativa da ES em nível regional e local (Panagos *et al.*, 2015; Terassi *et al.*, 2020). Por exemplo, em estudos realizados por Vijith *et al.* (2018) em região florestal Sarawak, Bornéu do Norte, na Malásia para a determinação da ES e identificação de zonas de riscos, seguido de Djoukbalá *et*

al. (2018) que estimaram a erosão em regiões semiáridas da Argélia, com o intuito de direcionar as áreas que requerem ação prioritária para uma análise em maior escala, a fim de encontrar soluções adequadas para combater a erosão e proteger o ambiente natural.

No Brasil, os dados pluviométricos não apresentam homogeneidade e normalidade e, por diversas vezes possuem falhas, lacunas e descontinuidade nas suas séries históricas (Oliveira Júnior *et al.*, 2012) e, portanto, podem interferir no cálculo do índice de erosividade (Oliveira *et al.*, 2013). Devido a essa carência de dados pluviométricos deu origem a Equação Universal de Perda de Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*). Esta equação possibilita realizar a previsão de perdas e o reconhecimento dos agentes relevantes causadores da erosão (Wischmeier e Smith, 1978).

A USLE é uma boa ferramenta para prever perdas de solo, sendo bastante utilizada no Brasil com resultados satisfatórios na literatura (Silva e Dias, 2003; Amorim *et al.*, 2010; Bertoni e Lombardi Neto, 2012; Mello *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2014; Jardim *et al.*, 2017; Back e Poleto, 2018; Terassi *et al.*, 2019; Terassi *et al.*, 2020) e, portanto, optou-se por utilizá-la no estado de Alagoas. Alagoas assim como os demais estados da Federação é carente quando se trata de disponibilidade de informações de pluviógrafos, no que se refere a quantidade de estações em funcionamento e com séries históricas longas disponíveis (Oliveira Júnior *et al.*, 2012; Lyra *et al.*, 2014). A quantificação da erosividade das chuvas e, consequentemente perdas de solo, é fator primordial para se estabelecer os limites críticos de perda aceitável nas áreas de cultivo (Cogo *et al.*, 2003), principalmente em Alagoas, cujo um dos principais vetores econômicos é a Agricultura, em especial a cana-de-açúcar, sendo o estado o maior produtor do Nordeste e, recentemente eucalipto (IBGE, 2017). Vale destacar que a erosividade é importante em relação às encostas passíveis de deslizamentos (Terassi *et al.*, 2020), e dependendo do manejo do solo adotado pode haver perda de solo e afetar a fertilidade do mesmo (Pedron *et al.*, 2009; Samuel-Rosa *et al.*, 2011).

Em suma, os estudos relativos à erosividade das chuvas no estado de Alagoas são escassos. Assim, este estudo vem a contribuir com esta informação que é de fundamental importância para Agricultura e para Defesa Civil, visto que ao mapear e identificar as zonas iso-erosivas, pode-se adotar práticas conservacionistas no que se diz respeito ao uso do solo e dos recursos hídricos, auxiliando nas tomadas de decisão em planejamentos gerenciais relacionados ao manejo de culturas adequadas para cada faixa de erosividade, e às catástrofes envolvendo deslizamentos de barreiras nas encostas do estado e, assim minimizar os impactos nos setores social, econômico e ambiental. Portanto, os objetivos do estudo foram: i) definir uma equação para estimar a erosividade das chuvas baseado no índice EI_{30} e o coeficiente de chuva (R_c), ii)

validar o método de imputação de dados para a chuva e erosividade e iii) estimar espacialmente a erosividade nos períodos chuvoso, seco e transição para o estado de Alagoas.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O estado de Alagoas possui uma área aproximada de 27.767 km² (IBGE, 2020), o que representa aproximadamente 0,33% do território brasileiro. Localiza-se entre os paralelos 8°48'12" e 10°29'12" Sul (S) e entre os meridianos 35°09'36" e 38°13'54" Oeste (W). Está limitado ao norte (N) e W com o estado de Pernambuco, ao sul (S) com os estados de Sergipe e Bahia e a leste (E) com o oceano Atlântico (Fig. 1). Possui 339 km de extensão na direção do seu eixo maior (E-W) e 186 km na direção de seu eixo menor (N-S) - (Lyra et al., 2014). Alagoas possui apenas 1% de seu território localizado em áreas superiores a 600 m de altitude (Fig. 1). Atualmente, o estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões: o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano (Fig. 1). O Leste é a maior região em aspecto territorial e abrange o Litoral e a Zona da Mata. O Agreste é uma região de transição entre as zonas

úmida e seca, e o Sertão Alagoano corresponde às localidades com características climáticas áridas e semiáridas (IBGE, 2010).

A região Nordeste do Brasil (NEB), onde estado de Alagoas está inserido apresenta clima semiárido agregado a uma vegetação xerófila em cerca de 50% do seu território. Esse clima caracteriza-se pelo regime de chuvas irregular espacialmente e temporalmente, característica com maior evidência nas mesorregiões do Agreste e do Sertão alagoano (Oliveira Júnior et al., 2012). Estudos climatológicos mostram que fenômenos do tipo El Niño - Oscilação Sul (ENOS), e a circulação geral da atmosfera (CGA) seriam os responsáveis pela variabilidade pluviométrica no NEB (Nobre e Molion, 1986; Molion e Bernardo, 2002; Moura et al., 2020).

2.2. Série temporal pluviométrica (1960-2016)

Nesse estudo foram utilizados dados pluviométricos mensais referentes a 54 estações localizadas no estado de Alagoas conforme distribuição espacial da Fig. 1, pertencente à rede hidrometeorológica da ANA - Agência Nacional das Águas (ANA, 2020), obtidos via plataforma Hidroweb no seguinte endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>. O período de estudo correspondeu os anos

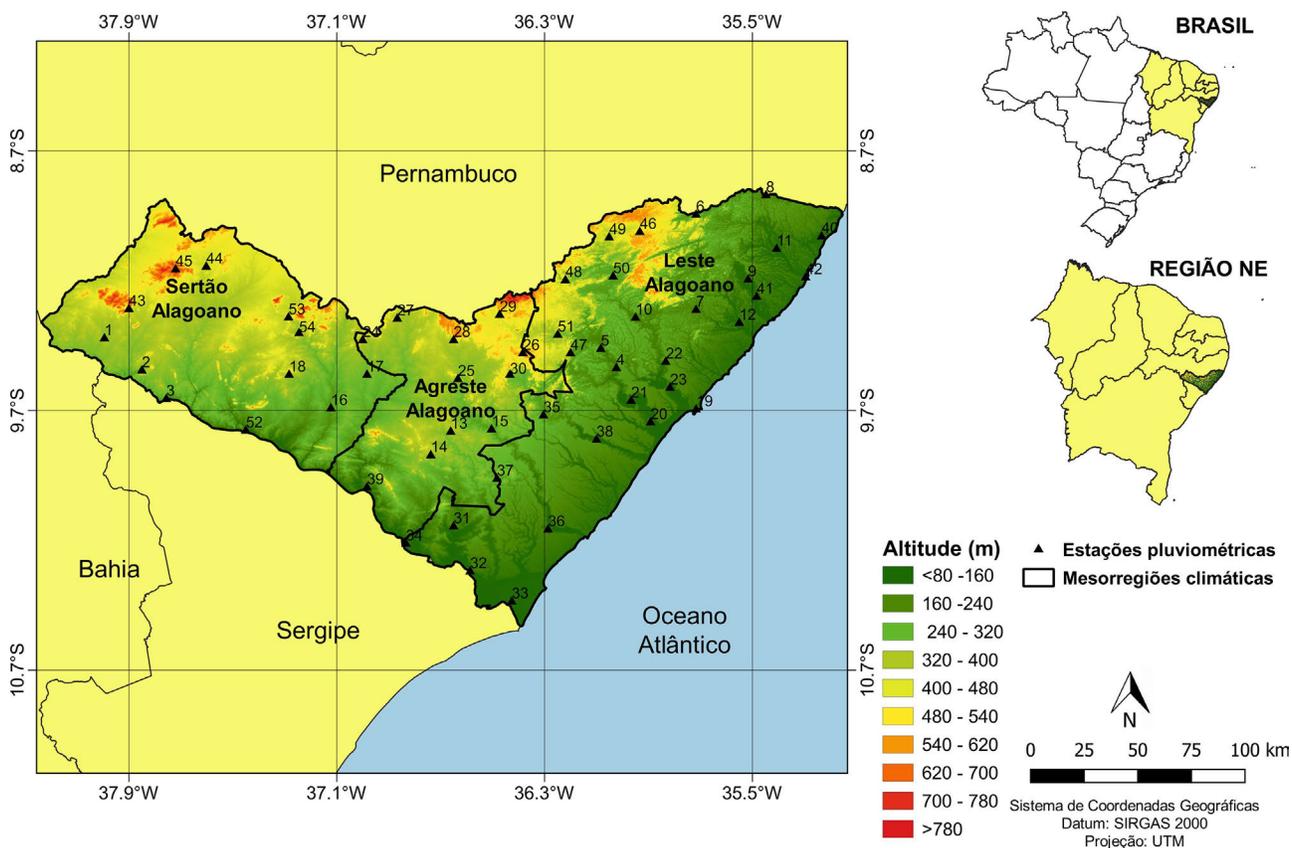


Figura 1 - Localização das 54 estações pluviométricas no estado de Alagoas, juntamente com sua altitude (m) via modelo digital de elevação (Modelo Digital de Elevação - Shuttle Radar Topography Mission 30 m) - (EMBRAPA, 2013) e as mesorregiões climáticas de Alagoas.

entre 1960 à 2016. A escolha desse período seguiu a premissa proposta por [Wischmeier e Smith \(1978\)](#), e também por [Bertoni e Lombardi Neto \(2012\)](#) de se utilizar séries temporais pluviométricas superiores a 20 anos. No estudo foi adotada a classificação climática baseada na atualização feita recentemente pelo Governo do Estado ([IBGE, 2019](#)), em três mesorregiões: Sertão, Agreste e Leste Alagoano.

2.3. Controle de qualidade, preenchimento das falhas e imputação de dados

No presente estudo foi aplicada a função “mstats” do pacote “mtsdi” versão 0.3-5 ([Junger e Ponce de Leon, 2018](#)) para o cálculo dos percentuais (%) de falhas das

séries temporal pluviométrica. A função “mstats” calculou a proporção de dados faltosos, maiores detalhes em [Plaia \(2006\)](#) e [Gois et al. \(2019\)](#). A escolha do método de imputação foi baseada na metodologia de [Harrell \(2001\)](#). Os percentuais (%) de dados faltantes das séries temporais de chuva (mm) mensal devem seguir os seguintes critérios: i) Percentual $\leq 0,05$: A imputação única ou análise somente dos dados completos; ii) Percentual entre 0,05 e 0,15: Uso da imputação múltipla e iii) Percentual $\geq 0,15$: A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Maiores detalhes do procedimento matemático podem ser encontrados em [Harrell \(2015\)](#); [Junninen et al. \(2004\)](#); [Junger \(2008\)](#); [Buuren e Oudshoorn \(2011\)](#).

Tabela 1 - Identificação (ID) das estações pluviométricas do estado de Alagoas com as coordenadas geográficas (latitude e longitude em graus (°)), altitude (m), percentuais de falhas (%), Mesorregiões Climáticas e Período das Séries Temporais, respectivamente.

ID	Municípios	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Falhas (%)	Mesorregiões climáticas	Períodos das Séries Temporais
1	Delmiro Gouveia	-9,39	-37,99	256	0,00	Sertão Alagoano	1960-2016
2	Olho D'água do Casado	-9,51	-37,85	209	49,92	Sertão Alagoano	1963-1991
3	Piranhas	-9,62	-37,75	110	0,00	Sertão Alagoano	1960-2016
4	Atalaia	-9,50	-36,02	54	0,73	Leste Alagoano	1960-2016
5	Capela	-9,43	-36,08	34	49,42	Leste Alagoano	1961-1989
6	Colônia Leopoldina	-8,91	-35,71	166	65,35	Leste Alagoano	1960-1980
7	Flexeiras	-9,28	-35,71	70	49,12	Leste Alagoano	1963-1991
8	Jacuípe	-8,84	-35,44	0	50,88	Leste Alagoano	1989-2016
9	Matriz de Camaragibe	-9,16	-35,51	16	49,12	Leste Alagoano	1963-1991
10	Murici	-9,31	-35,94	82	5,26	Leste Alagoano	1963-2016
11	Porto Calvo	-9,04	-35,40	54	35,82	Leste Alagoano	1960-2000
12	São Luiz do Quitunde	-9,33	-35,55	4	52,19	Leste Alagoano	1960-1987
13	Arapiraca	-9,75	-36,66	247	48,68	Agreste Alagoano	1960-1991
14	Lagoa da Canoa	-9,82	-36,73	235	34,06	Agreste Alagoano	1960-2000
15	Limoeiro de Anadia	-9,74	-36,50	150	33,77	Agreste Alagoano	1960-2001
16	Batalha	-9,66	-37,12	120	63,60	Sertão Alagoano	1964-1987
17	Major Isidoro	-9,53	-36,98	217	45,61	Sertão Alagoano	1960-1990
18	Olho D'água das Flores	-9,53	-37,28	289	52,78	Sertão Alagoano	1963-1989
19	Maceió	-9,66	-35,71	43	4,82	Leste Alagoano	1960-2016
20	Marechal Deodoro	-9,71	-35,89	0	53,95	Leste Alagoano	1990-2016
21	Pilar	-9,63	-35,96	131	66,67	Leste Alagoano	1963-1981
22	Rio Largo	-9,48	-35,83	62	44,74	Leste Alagoano	1963-2000
23	Satuba	-9,58	-35,81	20	41,67	Leste Alagoano	1963-1999
24	Cacimbinhas	-9,40	-37,00	300	40,35	Agreste Alagoano	1963-2001
25	Igaci	-9,55	-36,63	240	67,54	Agreste Alagoano	1963-2001
26	Mar Vermelho	-9,45	-36,38	620	40,79	Agreste Alagoano	1963-2001
27	Minador do Negrão	-9,31	-36,86	395	52,92	Agreste Alagoano	1963-1989
28	Palmeira dos Índios	-9,40	-36,65	320	3,65	Agreste Alagoano	1960-2016
29	Quebrangulo	-9,30	-36,47	411	14,91	Agreste Alagoano	1960-2011
30	Tanque D'Arca	-9,53	-36,43	280	49,12	Agreste Alagoano	1963-1991

(continua)

Tabela 1 - continua

ID	Municípios	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Falhas (%)	Mesorregiões climáticas	Períodos das Séries Temporais
31	Igreja Nova	-10,11	-36,65	17	39,62	Leste Alagoano	1960-2001
32	Penedo	-10,28	-36,55	28	0,44	Leste Alagoano	1960-2016
33	Piaçabuçu	-10,40	-36,42	10	45,61	Leste Alagoano	1960-1990
34	Porto Real do Colégio	-10,18	-36,83	30	39,18	Leste Alagoano	1960-1998
35	Anadia	-9,68	-36,30	140	50,88	Leste Alagoano	1960-1987
36	Coruripe	-10,12	-36,28	10	54,39	Leste Alagoano	1960-1985
37	Junqueiro	-9,93	-36,48	120	50,88	Leste Alagoano	1960-1987
38	São Miguel dos Campos	-9,78	-36,10	12	54,39	Leste Alagoano	1960-1985
39	Traipu	-9,96	-36,98	40	31,58	Agreste Alagoano	1960-1998
40	Maragogi	-9,00	-35,23	5	44,74	Leste Alagoano	1963-1999
41	Passo de Camaragibe	-9,23	-35,48	90	34,36	Leste Alagoano	1960-2000
42	Porto de Pedras	-9,15	-35,29	14	14,33	Leste Alagoano	1963-2016
43	Água Branca	-9,28	-37,90	510	56,14	Sertão Alagoano	1960-1984
44	Canapi	-9,11	-37,60	280	43,86	Sertão Alagoano	1960-1991
45	Mata Grande	-9,12	-37,72	633	35,09	Sertão Alagoano	1960-2000
46	Ibateguara	-8,98	-35,93	505	63,01	Leste Alagoano	1963-2016
47	Pindoba	-9,45	-36,20	190	76,32	Leste Alagoano	1963-1976
48	Santana do Mundaú	-9,16	-36,21	221	5,41	Leste Alagoano	1963-2016
49	São José da Laje	-9,00	-36,05	250	12,87	Leste Alagoano	1963-2016
50	União dos Palmares	-9,15	-36,03	155	0,29	Leste Alagoano	1960-2016
51	Viçosa	-9,37	-36,24	300	47,37	Leste Alagoano	1960-1989
52	Pão de Açúcar	-9,74	-37,44	45	4,09	Sertão Alagoano	1960-2016
53	Poço das Trincheiras	-9,21	-37,28	255	47,37	Sertão Alagoano	1960-1989
54	Santana do Ipanema	-9,37	-37,24	250	0,29	Sertão Alagoano	1960-2016

2.4. Estimativa da erosividade

Uma vez determinada a equação a ser utilizada para a estimativa do índice de erosividade mensal EI_{30} ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$) (Eq. (1)), foram calculadas as erosividades mensais nas estações seca, chuvosa e de transição, conforme classificação realizada por Lyra et al. (2014) via boxplot mensal da chuva para o estado de Alagoas. A estimativa do índice de erosividade se dá por meio da correlação entre o EI_{30} e o coeficiente de chuva R_c obtidos a partir dos dados pluviométricos, no caso os dados correspondentes ao período de 1960 à 2016. O R_c foi obtido a partir da (Eq. (2)) proposta por Lombardi Neto (1977).

$$EI_{30} = 67,355 \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right) 0,85 \quad (1)$$

$$R_c = \frac{P_m^2}{P_a} \quad (2)$$

em que EI_{30} é o índice de erosividade mensal ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$); P_m - Precipitação média mensal (mm) e P_a - Precipitação média anual (mm).

Calculado o R_c , foi possível encontrar as erosividades mensais a partir da (Eq. (1)) e determinar o índice de erosividade anual (fator R) ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), que é definido pela soma dos valores de EI_{30} mensais, conforme (Eq. (3)).

$$R = \sum_{i=1}^n RI_m \quad (3)$$

De posse dos valores dos índices de erosividade anuais (fator R) para cada estação, foi realizada a classificação de acordo com as classes propostas por Carvalho (2008) conforme a Tabela 2.

2.5. Métodos de interpolação espacial

Os procedimentos das interpolações espaciais, bem como o geoprocessamento dos dados, foram realizados no software *Quantum GIS* (QGIS) versão 3.4.6 (Qgis Core Team, 2019), que traz consigo o plugin do *software SAGA GIS* versão 2.0.2 (SAGA, 2005), o qual possui uma série de outros interpoladores espaciais. No estudo foram testados três métodos de interpolação matemática existentes na literatura para identificar qual (is) os melhor (es) para interpolação da erosividade no estado de Alagoas. Os

Tabela 2 - Classificação da erosividade das chuvas pelo fator R .

Erosividade (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classificação da erosividade
$R \leq 2452$	Fraca
$2452 < R \leq 4905$	Moderada
$4905 < R \leq 7397$	Moderada a Forte
$7397 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito Forte

Fonte: [Carvalho \(2008\)](#).

métodos usados foram: i) KO - Krigagem Ordinária; ii) KS - Krigagem Simples e iii) KU - Krigagem Universal.

2.6. Avaliação de desempenho da imputação da chuva e dos modelos de interpolação

Na avaliação do desempenho dos modelos de interpolação foram usados os seguintes parâmetros estatísticos: os coeficientes de determinação (R^2) e correlação linear de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d) ([Willmott, 1981](#)), índice de confiança ou desempenho (c) de [Camargo e Sentelhas \(1997\)](#), Erro Padrão da Estimativa (EPE , MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio ($RMSE$, MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}_0|)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}_0|)} \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_0 - \bar{x}_0)(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_0 - \bar{x}_0)^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}} \quad (5)$$

Os valores do coeficiente r foram classificados segundo a metodologia de [Hopkins \(2009\)](#), conforme a [Tabela 3](#).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (|x_i - x_0|)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - x_0| + |x_0 - \bar{x}_0|)^2} \right] \quad (6)$$

Analogamente, foi empregado o índice de confiança ou desempenho (c) de [Camargo e Sentelhas \(1997\)](#), obtido

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) e a sua respectiva classificação ([Hopkins, 2009](#)).

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0-0,1	Muito baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito alta
0,9-1,0	Quase perfeita

pelo produto entre o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média (r) e o índice de concordância (d) de Willmott ([Willmott, 1981](#)), que está relacionada ao afastamento dos valores preditos em relação aos observados, que reúne os índices de precisão (r) e de exatidão (d), sendo expresso pela (Eq. (7)) e classificado segundo a [Tabela 4](#).

$$c = r \times d \quad (7)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_0 - x_i)^2}{n - 2}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_0 - x_i)}{n}} \quad (9)$$

em que, R^2 = coeficiente de determinação; r = coeficiente de correlação linear de Pearson; d = índice de concordância de Willmott; n = número de observação; X_i é o valor i -ésimo da chuva imputada ou erosividade imputada; X_0 é o valor i -ésimo da chuva observada ou erosividade observada; c = chuva média observada ou erosividade média observada e \bar{X}_i = chuva média imputada ou erosividade média imputada.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software R versão 4.0.3 ([R Core Team, 2020](#)).

3. Resultados e Discussão

3.1. Controle de qualidade, preenchimento das falhas e uso da imputação de dados

A contagem das falhas das estações pluviométricas ([Tabela 1](#)) nas mesorregiões climáticas do estado de Alagoas mostrou a soma total de 57,41% de falhas na série temporal de 56 anos. Em relação às mesorregiões, o Leste Alagoano foram computadas 31 estações com percentual de falhas entre 0,29 e 76,32%, seguido do Sertão com 12 estações e um percentual de falhas entre 0 e 63,60% e o

Tabela 4 - Índice c proposto por [Camargo e Sentelhas \(1997\)](#)

Valor de c	Desempenho
$> 0,80$	Ótimo
0,76 - 0,85	Muito Bom
0,66 - 0,75	Bom
0,61 - 0,65	Mediano
0,51 - 0,60	Sofrível
0,41 - 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Agreste Alagoano com 11 estações com percentual de falhas entre 3,65 e 67,54%. Todas as estações foram devidamente preenchidas via método de imputação de dados, com base nos critérios de percentuais de falhas (item 2.3).

O desempenho do método de imputação foi avaliado segundo os indicadores estatísticos (item 2.6). A maior dispersão em relação à linha 1:1 ocorreu a partir de 0 mm em todas as estações escolhidas. Os coeficientes R^2 (78% a 84%) e r entre 0,88 a 0,92 (Fig. 2), sendo categorizado com precisão muito alta (Tabela 3). Os índices $d > 0,9$ e $IC > 0,8$ em todas as estações pluviométricas mostraram-se com um desempenho ótimo, apesar dos percentuais de falhas de cada uma delas serem altas, por exemplo, 14,91% (Quebrangulo), 44,74% (Rio Largo) e 56,14% (Água Branca) - (Tabela 1). De modo geral, os dados imputados apresentaram alta precisão em ambas as mesorregiões, visto que o índice d foi próximo de 1 e categorizados como ótimos - (Tabela 4) - (Willmott, 1981; Camargo e Sentelhas, 1997). Os menores valores de EPE (< 30 mm) e RMSE (< 42 mm) ocorreram em Água Branca (Sertão Alagoano), enquanto que os maiores valores de EPE (> 45 mm) e RMSE (> 57 mm) em Rio Largo (Leste Alagoano), respectivamente. O método de imputação se ajustou satisfatoriamente aos dados observados, visto que os indicadores estatísticos foram satisfatórios ($R^2 > 0,78$; $r > 0,884$, $IC > 0,83$ e $d > 0,94$).

Desde década de 1970, a técnica de imputação de dados foi proposta para solucionar problemas de séries temporais, porém seu uso em diversas áreas do conhecimento se deu a partir da década de 1980 (Rubin, 1987) e, depois nas demais décadas (Little, 1992; Schafer, 1999; Zhang, 2003; Nunes et al., 2009). Porém, na Meteorologia é recente sua aplicação como método de preenchimento de falhas, por exemplo, Gois et al. (2019) usaram a imputação de dados para preenchimento de dados pluviométricos no Médio Paraíba - Rio de Janeiro, com resultados satisfatórios. Santos Silva et al. (2019) para o preenchimento de falhas de radiação solar global (Q_g) na estação de Arapiraca - Alagoas, cujo resultados foram uma correlação r quase perfeita e os índices d e IC categorizados como ótimo e muito bom ($r = 0,99$ e $d = 0,97$). Oliveira et al., (2019) aplicaram a imputação de dados no preenchimento de séries temporais das concentrações diárias de material particulado em $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), das partículas totais em suspensão (PTS) e do Ozônio (O_3) em Volta Redonda - Rio de Janeiro, no período de 2013 a 2015, sendo $R^2 = 85\%$ e $r > 0,9$.

3.2. Validação dos métodos de interpolação

A análise do desempenho dos métodos de interpolação via Krigagem (KO, KS e KU) entre os observados e imputados é exibida na Fig. 3. De modo geral, houve menor dispersão dos dados, pois se observa o não paralelismo na reta de regressão (1:1) entre os observados e imputados em todos os três métodos de interpolação de

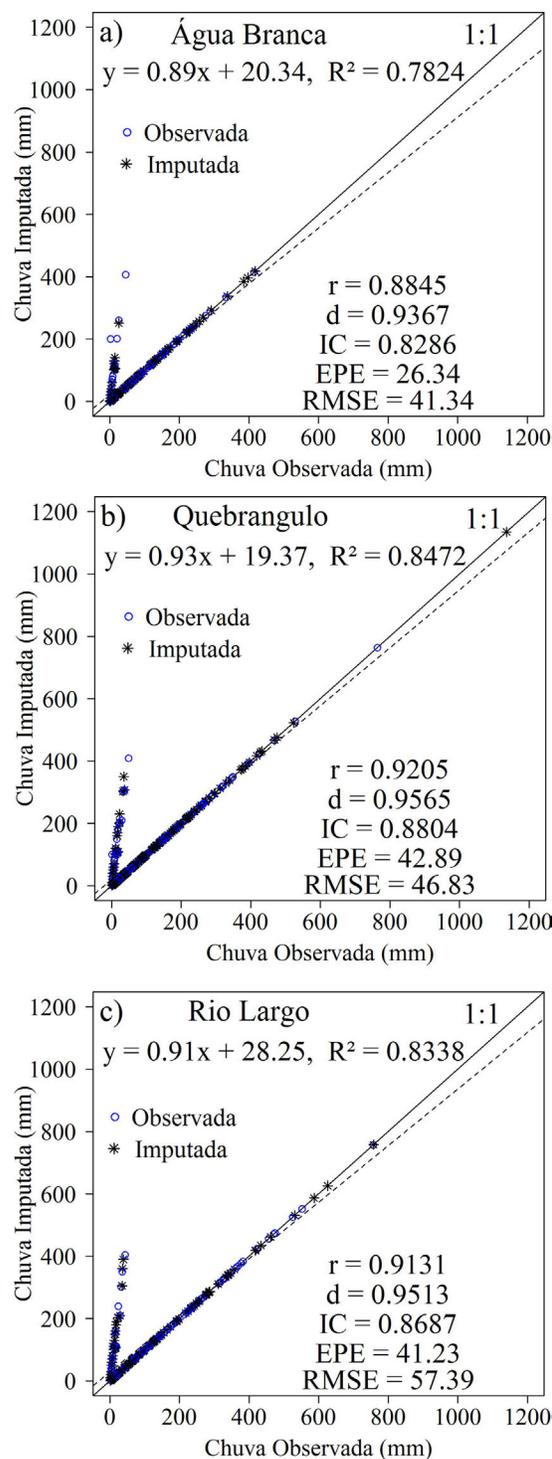


Figura 2 - Diagrama de dispersão (1:1) entre a Chuva Observada e a Chuva Imputada (mm) em (a) Água Branca - (Sertão), (b) Quebrangulo - (Agreste) e (c) Rio Largo (Leste Alagoano).

erosividade. Vale ressaltar quanto menor o desvio da reta 1:1, maior a concordância entre os dados observados e os estimados (Marcuzzo et al., 2011; Costa et al., 2019). O desempenho dos métodos de Krigagem, Fig. 3 (a), (b) e

(c), mostrou alta similaridade entre os métodos adotados no estudo, apesar de ter 57,41% de falhas nos dados pluviométricos, os mesmos foram preenchidos pela imputação de dados e, portanto não comprometeram o cálculo da erosividade. Vale ressaltar que o método de Krigagem tem sido recentemente usado no mapeamento da erosividade no Brasil e no Mundo, com resultados satisfatórios (Pana-gos *et al.*, 2015; Terassi *et al.*, 2019; Terassi *et al.*, 2020).

Destaque para os coeficientes de R^2 (KO e KU = 0,8707 e KS = 0,8505) e r (KO e KU = 0,9331 e KS = 0,9222), com correlação quase perfeita (Tabela 3) para a Krigagem e suas derivações. Em relação aos índices d (KO e KU = 0,9552 e KS = 0,9512) e IC (KO e KU = 0,8913 e KS = 0,8772) também foram categorizados como ótimos (Tabela 4). Vale ressaltar que todos os métodos de interpolação espacial podem ser usados no mapeamento da isoerosividade do estado de Alagoas, pois apresentaram alta precisão, visto que o índice $d > 0,9$, sendo próximo de 1 (Willmott, 1981). Os maiores valores de EPE e RMSE ocorreram na KS ($EPE = 825,90 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $RMSE = 810,46 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e KU ($EPE = 790,00 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $RMSE = 775,24 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), a exceção foi a KO menores valores dos EPE ($789,99 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e $RMSE = (775,22 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1})$, com menores superestimativas em relação as demais derivações da Krigagem, o método KO é definido no estudo para o mapeamento da isoerosividade mensal e anual no estado de Alagoas. Vale ressaltar que o resultado obtido foi superior em relação ao estudo realizado por Trindade *et al.* (2016) na avaliação da variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil, onde obtiveram $R^2 = 0,83$, seguido de Back e Poletto (2018) que usaram o método KO para o mapeamento da erosividade no período de 1980 a 2015 para o estado de Santa Catarina com resultados satisfatórios, porém com a base de dados inferior ao usado neste estudo.

3.3. Mapas de isoerosividade de Alagoas

Com base no método de KO via indicadores estatísticos, foram confeccionados mapas mensal e anual da erosividade do solo no estado de Alagoas. Os mapas mensais de isoerosividade foram separados quanto à distribuição de chuva no estado, em período seco (Fig. 4 - outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro), chuvoso (Fig. 5 - abril, maio, junho e julho) e transição (Fig. 6 - março, agosto e setembro), com base no estudo realizado anteriormente por Lyra *et al.* (2014).

3.3.1. Erosividade Média Mensal

3.3.1.1. Períodos seco e transição

Nos meses correspondentes ao período seco (Fig. 4), os maiores valores da erosividade variaram entre 394 e 554 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, principalmente em janeiro e feve-

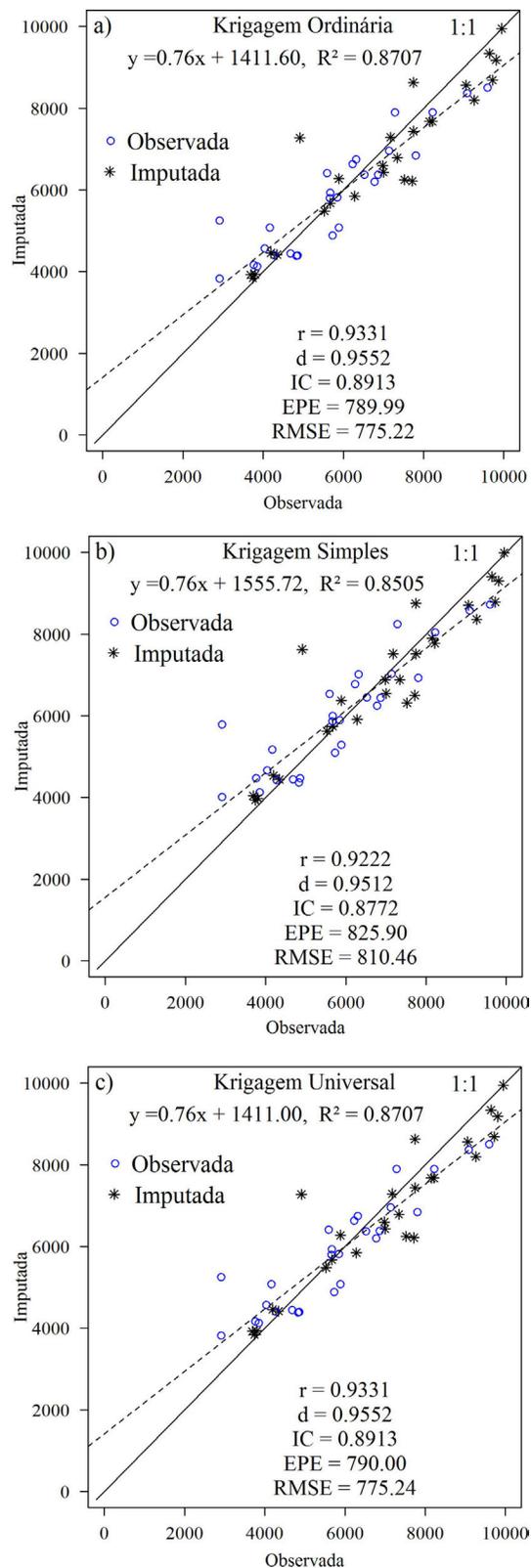


Figura 3 - Diagrama de dispersão (1:1) do desempenho dos métodos de Krigagem Ordinária, Simples e Universal entre Observado e Imputado, seguidos dos parâmetros estatísticos: coeficientes R^2 e r , dos índices d e IC , dos valores de EPE e $RMSE$ ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

reio nas mesorregiões Leste e Sertão Alagoano, a exceção foi Agreste com as erosividades mensais entre 114 e 154 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. No período seco, destaque para outubro e novembro com menores valores da erosividade, principalmente no Sertão Alagoano inferior a 34 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. No período de transição (Fig. 5) os maiores valores da erosividade variaram entre 400 e 900 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ no Leste Alagoano, principalmente no mês de março. As exceções foi o Sertão Alagoano com a erosividade mensal entre 70 e 95 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ no mês de setembro. Vale ressaltar que a estação de transição possui

valores das erosividades mensais maiores em relação a estação seca. Os sistemas meteorológicos que contribuem para variabilidade da chuva e, consequentemente da erosividade em Alagoas nas estações seca e de transição correspondem aos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), sem região preferencial e no período de dezembro a março (Pontes da Silva et al., 2011; Lyra et al., 2014); VCAN juntamente com a penetração de Sistemas Frontais (SF), na costa Leste e interior do NEB (Moscati e Gan, 2007; Lyra et al., 2014; Moura et al., 2020); e Alta da Bolívia (AB) juntamente com posição migratória da

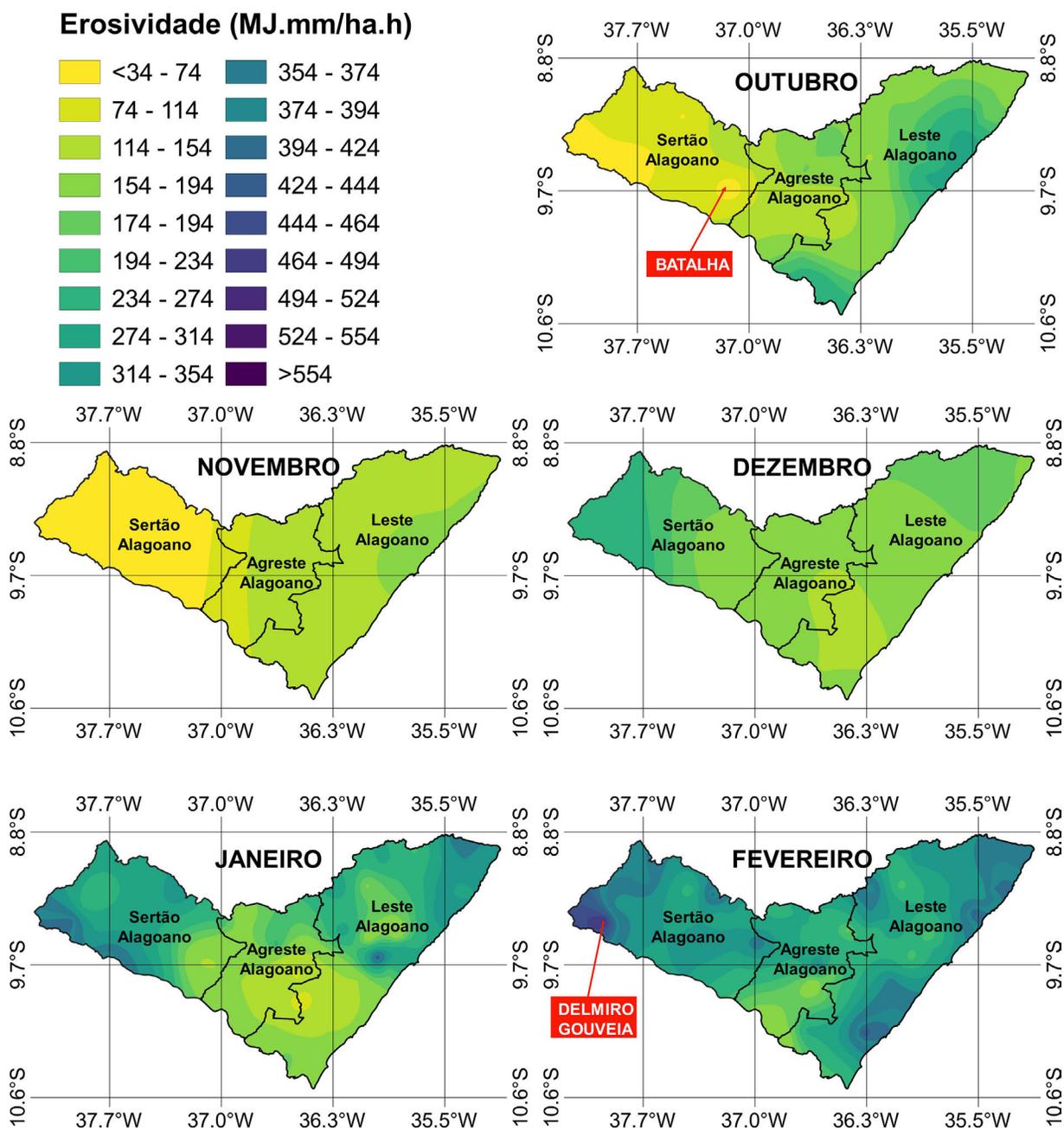


Figura 4 - Erosividade média mensal (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹) no período seco, no estado de Alagoas no período de 1960-2016.

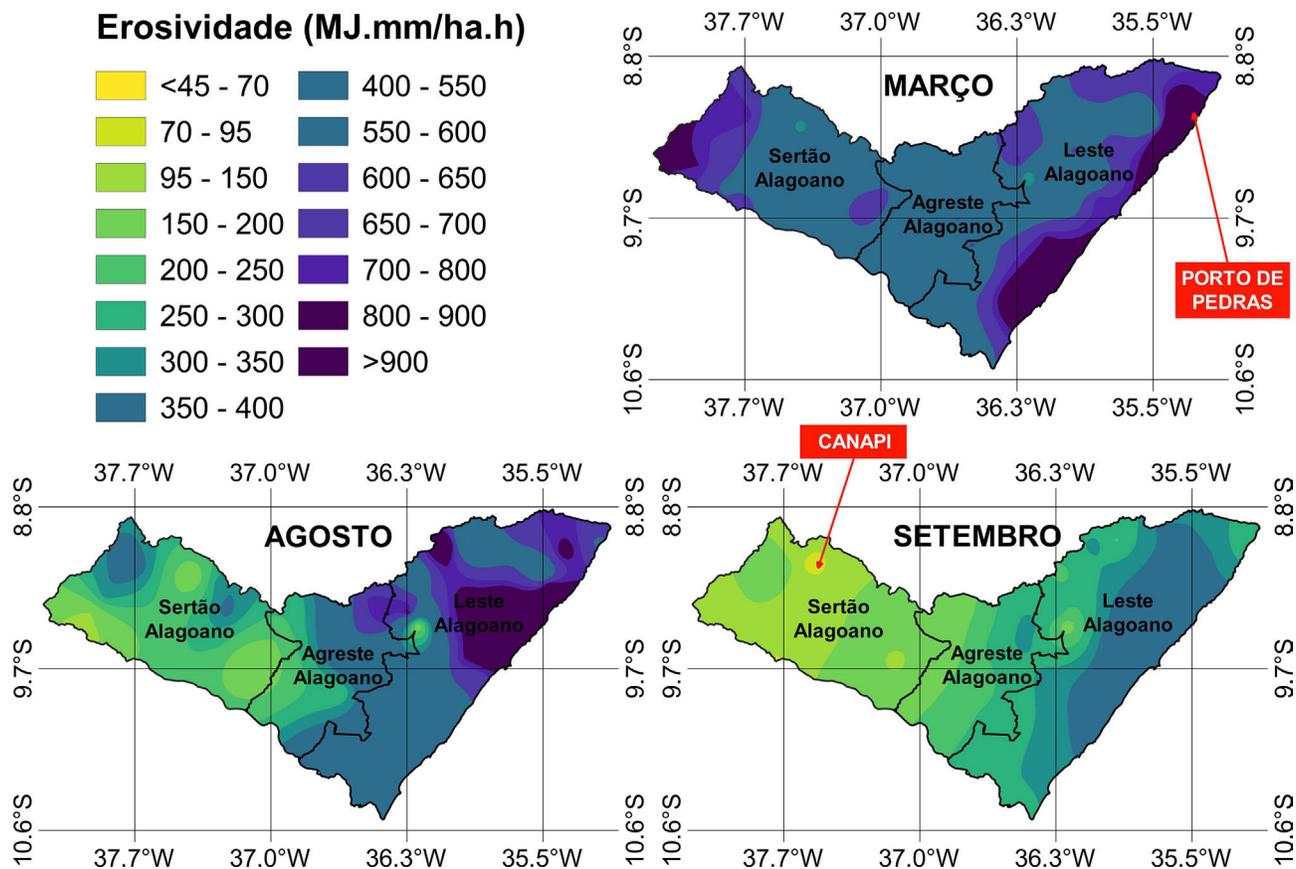


Figura 5 - Erosividade média mensal ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$) no período de transição, no estado de Alagoas no período de 1960-2016.

Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), no período de outubro a janeiro (Kousky e Gan, 1981; Rao *et al.*, 1997; Lyra *et al.*, 2014).

3.3.1.2. Período chuvoso

Nos meses correspondentes ao período chuvoso (Fig. 6), novamente os maiores valores da erosividade mensal ocorreram no Leste Alagoano, entre 1425 e 2200 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, similar as estações de transição e seca, seguido valores intermediários da erosividade mensal entre 625 e 1325 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, particularmente no Agreste Alagoano. A ocorrência acentuada da erosividade no Leste Alagoano, proximidade do ambiente costeiro, é devida a maior ocorrência de chuvas nessa região (Barros *et al.*, 2012; Lyra *et al.*, 2014). Os sistemas meteorológicos que contribuem para variabilidade da erosividade em Alagoas na estação chuvosa são as circulações das brisas marítima/terrestre juntamente com a penetração dos SF e os ventos alísios, na costa Leste do NEB (ENEB), no período de abril a julho - (Kousky, 1980 Molion e Bernardo, 2002; Pontes da Silva *et al.*, 2011; Lyra *et al.*, 2014; Moura *et al.*, 2020); seguido da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) juntamente com as Linhas de Instabilidade (LI), na costa Leste e interior do NEB no período de maio e julho (Moura *et al.*, 2009; Lyra *et al.*, 2014) e os Complexos

Convectivos de Mesoescala (CCM) e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), no período de março a agosto - (Molion e Bernardo, 2002; Teixeira, 2008; Lyra *et al.*, 2014; Melo, 2019).

Algumas estações se destacaram no estudo por apresentarem alta variabilidade da erosividade mensal no período abordado. No período seco (Fig. 4), destaca-se as estações de Batalha (ID 16), com o valor de 34,3 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (menor) em outubro e Delmiro Gouveia (ID 1) com 470,0 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (maior) em fevereiro, ambas no Sertão Alagoano, respectivamente. No período chuvoso (Fig. 6), também se destacaram as estações Canapi (ID 44) com 325,4 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$, pertencente ao Sertão Alagoano e Satuba (ID 23) com 2.215,9 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no Leste Alagoano, com maior valor da erosividade mensal. Novamente, no período de transição (Fig. 5) a estação de Canapi obteve menor valor da erosividade mensal (41,7 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$), seguida de Porto de Pedras (ID 42) localizada no Leste Alagoano com maior valor 1.117,8 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Todas as estações listadas anteriormente houve alta variabilidade da erosividade mensal devido aos fatores fisiográficos (relevo, continentalidade e maritimidade) e atuação de sistemas meteorológicos em multiescala que interferem no regime e na dinâmica da chuva no estado de Alagoas (Molion e Ber-

Erosividade (MJ.mm/ha.h)

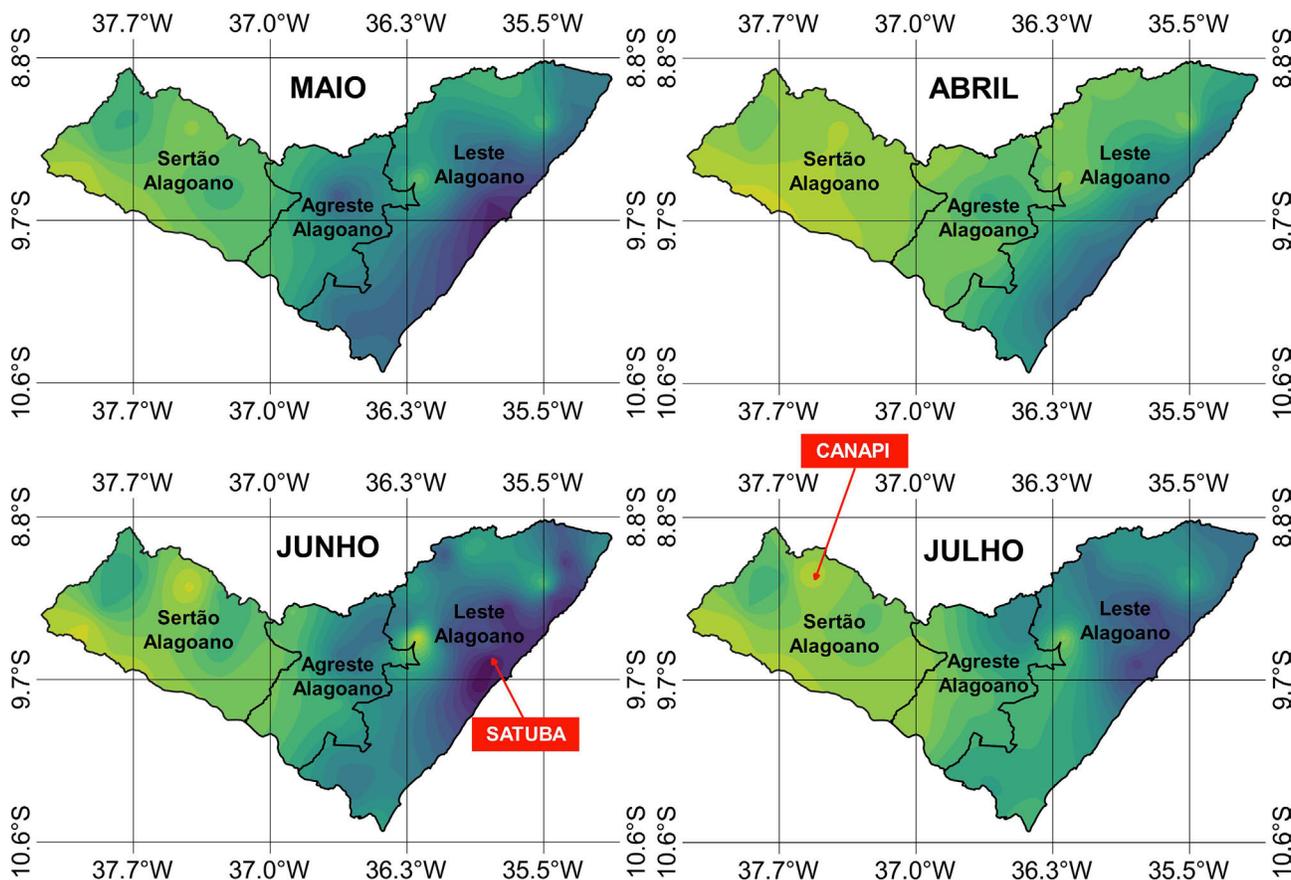
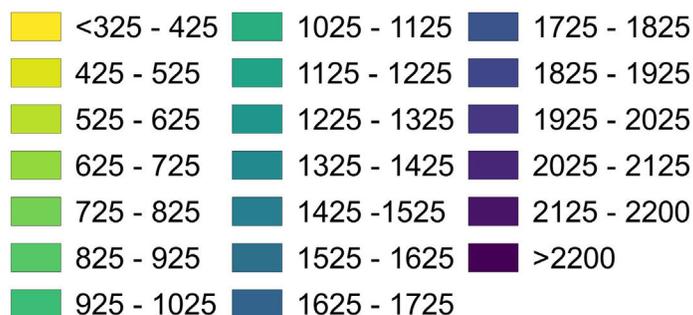


Figura 6 - Erosividade média mensal (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹) no período chuvoso, no estado de Alagoas no período de 1960-2016.

nardo, 2002; Oliveira Júnior et al., 2012; Lyra et al., 2014).

3.3.2. Erosividade Média Anual

A erosividade média anual no estado de Alagoas (Fig. 7) variou entre 2.910,2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Moderada) a 11.469,8 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Muito Forte) na série histórica, conforme a Tabela 2. Os maiores valores encontrados para o período de 56 anos foram 11.469,8 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Satuba ID 23), 9.945,4 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Maceió ID 19),

9.806,2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (São Luiz do Quitunde ID 12) e 9.723,6 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Flexeiras ID 7), sendo todas as estações pertencentes à mesorregião Leste Alagoano e categorizadas como Muito Forte (Carvalho, 2008). Vale destacar a formação de um gradiente de erosividade da chuva, similar ao gradiente de chuva identificado anteriormente por Lyra et al. (2014). Outro aspecto relevante que contribuem para tais valores da erosividade anual nestas estações é a proximidade com ambiente costeiro, a influência das circulações das brisas marítima/terrestre e do Complexo Lagunar (Lagoas Mundaú e Man-

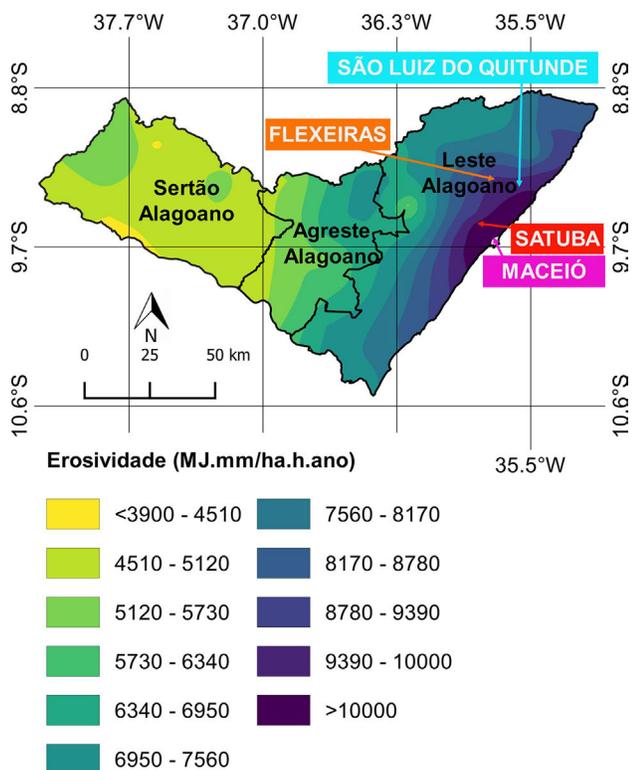


Figura 7 - Erosividade anual ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) no estado de Alagoas no período de 1960-2016.

guaba) que contribuem para maior registro das chuvas nessa área (Da Silva et al., 2010). Com relação às estações de Maceió e Satuba, que fazem parte da Região Metropolitana de Maceió (RMM), estão próximas da Lagoa Mundaú, também são influenciadas pela circulação da brisa lagunar (Nascimento et al., 2018).

4. Conclusões

A metodologia proposta (índice EI_{30} e o R_c) consegue caracterizar as faixas da erosividade anual e mensal no estado de Alagoas. A distribuição espacial da erosividade acompanha a variabilidade da chuva, sendo que na escala mensal, os períodos chuvosos e de transição são críticos em relação ao potencial erosivo em Alagoas, com os maiores registros de erosividade, exceto o período seco. A mesorregião climática do Leste Alagoano se sobressai em relação à erosividade mensal independente do período estacional, destaque para o Sertão Alagoano com menor indicativo da erosividade mensal, principalmente no período seco. Na escala anual, o potencial erosivo das chuvas no estado é categorizado entre moderado e muito forte, principalmente nos municípios que compõe o Leste Alagoano, onde a maioria da população reside no estado. Em suma, a variabilidade espacial da erosividade mensal e anual é determinada pela dinâmica da chuva a partir da

atuação de sistemas meteorológicos em multiescala e pelos fatores fisiográficos existentes no estado.

A adoção da imputação de dados como método de contagem e preenchimentos de falhas é satisfatória ($R^2 > 0.78$; $r > 0.888$, $IC > 0.8$ e $d > 0.9$) e perfeitamente aplicáveis para as séries históricas de chuvas que possuam lacunas, falhas e descontinuidade temporais superiores a 50%, no caso de Alagoas. O uso do pacote de imputação de dados via software ambiente R aplicado à série temporal de chuva é útil e, também devidamente aplicável a qualquer série temporal. A imputação de dados é fundamental para garantir homogeneidade dos dados em relação o seu uso na escala espacial, no mapeamento da isoerosividade. Os métodos de interpolação espacial podem ser usados no mapeamento da isoerosividade do estado de Alagoas, pois os indicadores estatísticos avaliados no estudo são satisfatórios. Entretanto, o método Krigagem Ordinária se sobressai em relação aos demais ($R^2 = 87\%$, d e $r > 0.9$ e menores $RMSE$ e EPE), sendo este, utilizado neste estudo, com resultados satisfatórios.

Os resultados inéditos obtidos no estudo são fundamentais para Agricultura e Defesa Civil de Alagoas, visto que ao mapear e identificar as zonas isoerosivas pode-se adotar práticas conservacionistas no que se diz respeito ao uso do solo (culturas agrícolas) e dos recursos hídricos (abastecimento d'água) e, assim auxiliar nas tomadas de decisão em planejamentos gerenciais relacionados às catástrofes que envolvam deslizamentos de barreiras em encostas e assoreamento dos rios existentes no estado de Alagoas, onde essas regiões são áreas de alta vulnerabilidade social.

Agradecimentos

À Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilidade dos dados históricos pluviométricos. O terceiro autor agradece ao CNPq pela sua bolsa de Produtividade em Pesquisa nível 2 sob número do processo 309681/2019-7. O sétimo autor agradece o Conselho Nacional para Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Pós-doutorado de nº 161023/2019-3.

Referências

- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, 2010.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *Hidroweb*. 2020. Available in <http://hidroweb.ana.gov.br>.
- 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, n. 1, p. 381-403, 2018.

- BARROS, A. H. C.; FILHO, J. C. A.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas - Dados Eletrônicos**. Recife: Embrapa Solos, 32 p., 2012.
- BERTOLLO, A.M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2012.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 704 p., 2013.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, A.C.B.; RIBEIRO, C.B.M.; ROCHA, W.S.D. Modelos para estimar perdas de solo. In: **Tópicos em Sustentabilidade & Conservação**. Juiz de Fora: Edição dos autores, 2017.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciada por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. Validação dos Dados de Precipitação Estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 2, p. 228-243, 2019.
- DA SILVA, D.F., SOUSA, F.A.S., KAYANO, M.T. Escalas Temporais da Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 147-155, 2010.
- DJOUKBALA, O.; MAZOUR, M.; HASBAIA, M.; BENSELAMA, O. Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. **Environment Earth Science**, v. 77, n. 1, p. 345-358, 2018.
- EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 1 mai. 2020.
- GOIS, G.; FREITAS, W. K.; TERASSI, P.M.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; PORTZ, A. Variabilidade Anual e Mensal da Chuva e da Temperatura do Ar no Município de Resende, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 2, p. 67-88, 2019.
- HARRELL, F.E. Regression models for continuous y and case study in ordinal regression. In: **Regression Modeling Strategies**. Springer Series in Statistics. Berlin: Springer, p. 359-387, 2015.
- HOPKINS, W.G. **A New View of Statistics: Correlation Coefficient**. New York: Internet Society for Sport Science, 2009. <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acessado em 18 de janeiro de 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**, 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área da Unidade Territorial: Área Territorial Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas, 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1.pdf.
- JARDIM, A.M.R.F.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; SILVA, M.J.; MORAIS, J.E.F.; SILVA, T.G.F. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 186-193, 2017.
- JUNGER, W.; PONCE DE LEON, A. **Mtsdi: Multivariate Time Series Data Imputation: R Package Version 0.3.5**. <https://CRAN.R-project.org>, 2018.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.
- LEE, J.H.; HEO, J.H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1-2, p.30-48, 2011.
- LITTLE, R.J.A. Regression with missing Xs - A review. **Journal of the American Statistical Association**, v. 87, n. 420, p.227-37, 1992.
- LOMBARDI NETO, F. **Rainfall Erosivity - Its Distribution and Relationship with Soil Loss at Campinas, Brazil**. Dissertação de Mestrado, West Lafayette, Purdue University, 53 p., 1977.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; CUNHA-ZERI, G.; ZERI, M. Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 129, n. 1, p. 157-171, 2017.
- MACHADO, D.O.; SOBRINHO, T.A.; RIBEIRO, A.S.; IDE, C.N.; OLIVEIRA, P.T.S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 19, n. 2, p. 195-202, 2014.
- MARCUZZO, F.F.N.; ANDRADE, L.R.; MELO, D.C.R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C.; BENITES, G. Soil and water assessment tool soil loss simulation at the sub-basin scale in the alt penedès-anoia vineyard region (NE Spain) in the 2000s. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 2, p. 160-170, 2016.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; CURI, N.; SILVA, A.M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1878-1891, 2012.

- MELO, R.F.; GIONGO, V.; DEON, D.S.; ANJOS, J.B. Uso e manejo do solo. In: **Agricultura Familiar Dependente de Chuva no Semiárido**. Brasília: Embrapa, p. 395-444, 2019.
- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p.1-10, 2002.
- MOSCATI, M.C.D.L.; GAN, M.A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2007.
- MOURA, G.B.A.; ARAGÃO, J.O.R.; MELO, J.S.P.; SILVA, A.P.N.; GIONGO, P.R.; LACERDA, F.F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 462-469, 2009.
- MOURA, G.B.A.; BRITO, J.I.B.; SOUSA, F.A.S.; CAVALCANTI, E.P.; SILVA, J.L.B.; NASCIMENTO, C.R.; LOPES, P.M.O. Identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil utilizando análise de correlação canônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1463-1482, 2020.
- NASCIMENTO, M.C.; LOMBARDO, M.A.; GUIMARÃES JUNIOR, S.A.M.; ANDRADE, E.L. Análise da vulnerabilidade físico-ambiental causada pelas chuvas intensas na região metropolitana de Maceió. **Caminhos da Geografia**, v. 19, n. 67, p. 268-288, 2018.
- NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática - ClimAnálise - Número Especial, Edição Comemorativa de 10 Anos**. São José dos Campos: INPE, 125 p., 1986.
- NUNES, L.N.; KLÜCK, M.M.; FACHEL, J.M.G. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 2, p. 268-278, 2009.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; BRITO, T.T.; MOURA, N.S.H. Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 101-112, 2012.
- OLIVEIRA, J.G.I.; PAIVA, R.F.P.S.; REIS, M.M.; GOIS, G. Poluição do ar e internações por doenças respiratórias em Volta Redonda, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 1, p. 72-88, 2020.
- OLIVEIRA, P.T.S.; NEARING, M.A.; WENDLAND, E. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, n. 1, p.139-147, 2013.
- OLIVEIRA, P.T.S.; NEARING, M.A.; WENDLAND, E. 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, p.1524-1532, 2015.
- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; PASQUALLE, B.; MEUSBURGUER, K.; KLIK, A.; ROUSSEVA, S.; TADIC, M. T.; MICHAELIDES, S.; HRABALIKOVA, M.; OLSEN, P.; AALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICK, DUMITRESCU, A.; BEGUEIRA, S.; ALEWELL, C. Rainfall Erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 511, n. 1, p. 801-814, 2015.
- PEDRON, F.D.A.; AZEVEDO, A.C.D.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K.; MENEZES, F.P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação serra geral no Rio Grande no Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 119-128, 2009.
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.S.; CRIST, L.; SHPRITZ FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.
- PLAIA, A.; BONDI, A.L. Single imputation method of missing values in environmental pollution data sets. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 1, p.7316-7330, 2006.
- PONTES DA SILVA, B.F.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B.M. Sistemas Sinóticos Associados às Precipitações Intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 323-338, 2011.
- QGIS - Quantum Geographic Information System. **Quantum GIS Geographic Information System**. v. 3.4.6. Open Source Geospatial Foundation Project, 2019.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020. Disponível em <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/3.6.3/>.
- RAO, V.B.; SÁ, L.D.A.; FRANCHITO, S.H.; HADA, K. Interannual variations of rainfall and corn yields in Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, n. 1-2, p. 63-74, 1997.
- RUBIN, D.B. **Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys**. New York: Wiley, p. 26, 1987.
- SAGA. **System for Automated Geoscientific Analyses**. Versão 2.0.2. 2005. Disponível em <http://www.saga-gis.org>.
- SAMUEL-ROSA, A.; MIGUEL, P.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A. Uso da terra no Rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. 33, n. 1, p.161-173, 2011.
- SANTOS SILVA, D.S.B.; JIMENEZ, J.C.V.; PEREIRA, C.C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; GOIS, G. Imputação de dados diários de radiação solar global via ambiente R. **Enciclopedia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 957-969, 2019.
- SCHAFER, J.L. Multiple imputation: A primer. **Statistical Methods in Medical Research**, v. 8, n. 1, p.3-15, 1999.
- SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003.
- SILVA, A.M.; WIECHETECK, M.; ZUERCHER, B. Spatial assessment of indices for characterizing the erosive force of rainfall in El Salvador Republic. **Environmental Engineering Science**, v. 28, n. 4, p. 309-316, 2011.
- 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 de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 347-354, 2003.
- SILVA, M.A.; NAVES SILVA, M.L.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas

- Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009.
- TEIXEIRA, R.F.B. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 282-291, 2008.
- TERASSI, P.M.B.; BIFFI, V.H.R.; GALVANI, E.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F. Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu - Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, n. 15, p. 143-168, 2019.
- TERASSI, P.M.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; OSCAR JÚNIOR, A.C.; SOBRAL, B.S.; BIFFI, V.H.R.; BLANCO, C.J.C.; CORREIA FILHO, W.L.F.; VIJITH, H. Rainfall and erosivity in the municipality of Rio de Janeiro - Brazil. **Urban Climate**, v. 33, n. 1, p. 100637, 2020.
- TRINDADE, L.F.T.; 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.
- VIJITH, H.; SELING, L.W.; DODGE-WAN, D. Estimation of soil loss and identification of erosion risk zones in a forested region in Sarawak, Malaysia, Northern Borneo. **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, n. 1, p.1365-1384, 2018.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p.184-194, 1981.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning**. Washington: USDA, 58 p., 1978.
- ZHANG, P. Multiple imputation: Theory and method. **International Statistical Review**, v. 71, n. 3, p.581-92, 2003.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.