



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – ICAT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA – PPGMET

EDSON DE OLIVEIRA SOUZA

Dissertação

**ESTIMATIVA E ESPACIALIZAÇÃO DA EROSIVIDADE NO ESTADO DE  
ALAGOAS**

Maceió – AL  
2021

**EDSON DE OLIVEIRA SOUZA**

**ESTIMATIVA E ESPACIALIZAÇÃO DA EROSIVIDADE NO ESTADO DE  
ALAGOAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Meteorologia, área de concentração Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior

Coorientadora: Dra. Micejane da Silva Costa

Maceió – AL  
2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S729e Souza, Edson de Oliveira.  
Estimativa e espacialização da erosividade no estado de Alagoas / Edson de Oliveira Souza. – 2021.  
110 f. : il.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.  
Co-orientadora: Micejane da Silva Costa.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 79-89.  
Apêndice: f. 90-110.

1. Erosão - Chuvas - Alagoas. 2. Espaços de interpolação. 3. Chuvas - Frequência da intensidade - Vulnerabilidade. I. Título.

CDU: 551.435.1(813.5)

Dedico a Deus e a minha família, por todo amor, apoio e compreensão.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus todos os dias por me conceder este privilégio de poder acordar e ter saúde para correr atrás dos meus sonhos, e nunca me desamparar. E por ter colocado em minha vida pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

À minha família que me deu o suporte necessário e sempre esteve ao meu lado, para que eu pudesse focar nos estudos e não desanimar nos mais momentos difíceis. Em especial à minha esposa (Priscilla), que em muitas noites ficou sem minha companhia para que eu virasse a madrugada fazendo o trabalho. Aos meus filhos (Cauã e Ian), que mesmo sendo tão pequenos entendiam que o papai precisava terminar os trabalhos e por isso não podia brincar naquela hora. Aos meus pais (Edson e Claudinete) que sempre me deram amor e as condições necessárias para que eu pudesse estudar ao longo de toda minha vida sem cobrar nada em troca. À minha irmã (Emanuelle) hoje doutoranda em educação, a qual me serviu de referência para tocar o barco adiante. Ao meu tio Clênio docente do ICAT, que me incentivou a não desistir do mestrado.

Ao meu orientador Professor Doutor José Francisco de Oliveira Júnior e coorientadora Doutora Micejane da Silva Costa, pelo acolhimento, paciência, disponibilidade, orientação, apoio e principalmente, por não terem permitido que eu desistisse do curso. Obrigado de coração, serei eternamente grato por tudo que fizeram e por terem acreditado em mim, que Deus os ilumine, os guarde e os dê muita sabedoria ao longo de vossas vidas.

Aos meus colegas de mestrado, que em muitas vezes me ajudaram com as disciplinas tirando dúvidas, me passando os assuntos por não poder ir a algumas aulas devido ao emprego. Em especial, Taywanne, Marcelo, Eridiane, Douglas, Jéssyca, Luma, Glauber e Kécia.

A todos que fazem parte do PPGMET por terem contribuído de alguma forma com meu aprendizado. Ao coordenador do PPGMET Professor Doutor Fabricio Santos, ao Rafael (secretário PPGMET) que sempre foram solícitos e me atenderam sempre com muita boa vontade, educação e eficiência.

À Universidade Federal de Alagoas, em especial ao ICAT por ter me proporcionado a possibilidade de realizar o mestrado.

## RESUMO

A escassez de dados pluviográficos no estado de Alagoas, similar em muitas regiões do país, faz com que se utilizem as equações de regressão obtidas em outras regiões do Brasil para calcular o fator R da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), esta que prediz a perda anual do solo de determinada área. Até o presente momento, Alagoas não possui um estudo sobre a erosividade da chuva. Portanto, o estudo tem por objetivos: **i)** definir uma equação para estimar a erosividade das chuvas baseado no índice  $EI_{30}$  e o coeficiente de chuva ( $R_c$ ), em que  $E$  é a energia cinética total da chuva e  $I_{30}$  é a intensidade máxima da chuva em 30 minutos, e **ii)** caracterizar e espacializar a erosividade no estado de Alagoas com base em dados pluviométricos históricos. Foram utilizados dados pluviométricos de 54 estações, no período de 56 anos (1960 – 2016), na estimativa da erosividade, sendo preenchidas as falhas via método de imputação (pacote mtdsi) no ambiente R. A equação utilizada, apresentou consistência e correlação significativa entre os dados observados e os estimados, com base nos coeficientes de determinação  $R^2$  (86%) e correlação de Pearson  $r$  (93%) e a menor *Raiz Quadrada do Erro-Médio* - RMSE (775,2 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>), que por sua vez indicaram a Krigagem Ordinária (KO) como melhor interpolador espacial. Com base na análise de agrupamento (AA) foram identificados três grupos homogêneos pela similaridade intragrupo ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) de erosividade no Estado, sendo o método Complete definido como o melhor a partir do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) > 0,7. O grupo  $G_1$  é o menor grupo formado, localizado no Leste Alagoano. Os grupos  $G_2$  e  $G_3$  são os maiores em extensão e se localizam nas mesorregiões climáticas do Agreste e Sertão. A isoerosividade mensal mostrou que os maiores índices de  $EI_{30}$  ocorreram entre abril e julho, com variações entre 325,4 e 2.215,9 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Na erosividade anual, as localidades com maior erosividade foram no Leste Alagoano, próximas ao litoral. Destaque para as estações Satuba (11.469,8 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), Maceió (9.945,4 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), São Luiz do Quitunde (9.806,2 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e Flexeiras (9.723,6 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), sendo categorizadas entre moderada e forte. Portanto, a equação de erosividade pode ser utilizada para estimativa do fator R da USLE no estado de Alagoas. Em relação à utilização dos produtos de precipitação CHIRPS e CHELSA para a estimativa de erosividade, ambos mostraram ser uma alternativa com base nos dados estatísticos encontrados. No que tange as tendências de chuva e erosividade, a primeira mostrou uma tendência de crescimento na região central do Estado principalmente na mesorregião Sertão Alagoano, enquanto que a tendência de erosividade

apresentou um crescimento maior próximo ao litoral na mesorregião Leste Alagoano. Os resultados obtidos neste estudo dão suporte para um planejamento de práticas conservacionistas, principalmente em áreas de vulnerabilidade em Alagoas.

**Palavras-Chaves:** erosividade das chuvas; interpolação espacial; vulnerabilidade regional; identificação de zonas isoerosivas.

## ABSTRACT

The lack of rainfall data in the state of Alagoas, similar in many regions of the country, makes use of the regression equations obtained in other regions of Brazil to calculate the R factor of the Universal Soil Loss Equation (USLE), which predicts the annual loss of soil in a given area. To date, Alagoas does not have a study on rain erosivity. Therefore, the study aims to: **i)** define an equation to estimate rainfall erosivity based on the index  $EI_{30}$  and the rain coefficient ( $R_c$ ), where  $E$  is the total kinetic energy of the rain and  $I_{30}$  is the maximum intensity of the rain in 30 minutes, and **ii)** characterize and spatialize erosivity in the state of Alagoas based on historical rainfall data. Rainfall data from 54 stations, over a 56-year period (1960 - 2016), were used to estimate erosivity, filling in the gaps via the imputation method (mtdsi package) in the R environment. The equation used showed consistency and significant correlation between the observed and estimated data, based on the coefficients of determination  $R^2$  (86%) and Pearson's correlation  $r$  (93%) and the lowest Square Root of the Mean Error - RMSE ( $775.2 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), which in turn indicated Ordinary Kriging (KO) as the best spatial interpolator. Based on the cluster analysis (AA), three homogeneous groups were identified due to intra-group similarity ( $G_1$ ,  $G_2$  and  $G_3$ ) of erosivity in the State, with the Complete method defined as the best from the Cophenetic Correlation Coefficient ( $\text{CCC} > 0, 7$ ). The  $G_1$  group is the smallest group formed, located in Eastern Alagoas. Groups  $G_2$  and  $G_3$  are the largest in extension and are located in the climatic mesoregions of Agreste and Sertão. The monthly isoerosivity showed that the highest rates occurred between April and July, with variations between  $325.4$  and  $2.215.9 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . In annual erosivity, the most erosive locations were in Eastern Alagoas, close to the coast. Highlight for the stations Satuba ( $11,469.8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ), Maceió ( $9,945.4 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ), São Luiz Quitunde ( $9,806.2 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ) and Flexeiras ( $9,723.6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ), being categorized between moderate and strong. Therefore, the erosivity equation can be used to estimate the USLE R factor in the state of Alagoas. Regarding the use of precipitation products CHIRPS and CHELSA to estimate erosivity, both proved to be an alternative based on the statistical data found. Regarding the trends of rain and erosivity, the first showed a growth trend in the central region of the State, mainly in the Sertão Alagoano mesoregion, while the erosivity trend showed a greater growth close to the coast in the eastern Alagoan mesoregion. The results obtained in this study support the planning of conservationist practices, especially in vulnerable areas in Alagoas.

**Key-words:** rainfall erosivity; spatial interpolation; regional vulnerability; identification of isoerosive zones.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização das 54 estações pluviométricas no estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil juntamente com sua altitude (m) via modelo digital de elevação (MDE – SRTM 30 m). 31
- Figura 2** - Mesorregiões climáticas do estado de Alagoas - o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano. 33
- Figura 3** - 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). 48
- Figura 4** - 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  $RMSE$  ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ). 52
- Figura 5** - Dendrograma dos três grupos homogêneos ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) da erosividade das chuvas do estado de Alagoas. 53
- Figura 6** - Distribuição espacial dos grupos homogêneos ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) quanto à erosividade nas mesorregiões climáticas do estado de Alagoas. 54
- Figura 7** - Distribuição pluviométrica anual (mm) do estado de Alagoas. 56
- Figura 8** - Boxplot das erosividades médias anuais ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ) dos grupos  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  no Estado de Alagoas no período de 1960 – 2016. 60
- Figura 9** - Erosividade média mensal ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ) no período seco, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016. 63
- Figura 10** - Erosividade média mensal ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ) no período chuvoso, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016. 64
- Figura 11** - Erosividade média mensal ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ) no período de transição, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016. 65
- Figura 12** - Erosividade média anual ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ) no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016. 66
- Figura 13** - Diagrama de dispersão (1:1) do desempenho dos produtos CHIRPS e 67

CHELSA, entre Observado e Imputado, seguidos dos parâmetros estatísticos: coeficientes  $R^2$  e  $r$ , dos valores de  $RMSE$  ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ).

- Figura 14** - Erosividade anual ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ) no estado de Alagoas (CHIRPS (a) e CHELSA (b), respectivamente). 68
- Figura 15** - Tendência de chuva. 72
- Figura 16** - Tendência de erosividade. 75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- 54 Estações pluviométricas do estado de Alagoas com as coordenadas geográficas (latitude e longitude em graus), altitude (m) e os percentuais de falhas (%), respectivamente.	34
<b>Tabela 2</b>	- Classificação da erosividade das chuvas pelo fator R.	37
<b>Tabela 3</b>	- Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e a sua respectiva classificação.	44
<b>Tabela 4</b>	- Índice $c$ proposto por Camargo e Sentelhas (1997).	45
<b>Tabela 5</b>	- Análise estatística dos métodos de interpolação espacial.	50
<b>Tabela 6</b>	- Índice de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) mensal e anual das 54 estações pluviométricas do estado de Alagoas.	57
<b>Tabela 7</b>	- Resultados das Tendências via teste de MK aplicados à série temporal de chuva em Alagoas.	69
<b>Tabela 8</b>	- Resultados das Tendências via teste de MK aplicada à série temporal de erosividade das chuvas em Alagoas.	73

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1 -</b>	Acionar a biblioteca.	36
<b>Equação 2 -</b>	Interação de dados.	36
<b>Equação 3 -</b>	Extração de dados de imputação.	36
<b>Equação 4 -</b>	Imputação.	36
<b>Equação 5 -</b>	Tabela de dados imputados.	36
<b>Equação 6 -</b>	Saída dos dados imputados.	36
<b>Equação 7 -</b>	Coefficiente de chuva $R_c$ .	36
<b>Equação 8 -</b>	Índice de erosividade mensal $EI_{30}$ .	37
<b>Equação 9 -</b>	Índice de erosividade anual (fator R).	37
<b>Equação 10-</b>	Distância Euclidiana entre dois elementos.	38
<b>Equação 11-</b>	Coefficiente de Correlação Cofenética (CCC).	38
<b>Equação 12-</b>	Média da matriz Cofenética.	38
<b>Equação 13-</b>	Média da matriz Fenética.	38
<b>Equação 14-</b>	Função de ligação, à distância $D(g_1, g_2)$ entre os grupos $g_1$ e $g_2$ .	39
<b>Equação 15-</b>	Interpolação do valor de um ponto via o método do IDW.	40
<b>Equação 16-</b>	Determinação do peso $\omega_i$ do valor de $x_i$ .	40
<b>Equação 17-</b>	Estimativas através da função Spline regularizada com tensão e suavização.	40
<b>Equação 18-</b>	Função de base radial.	41
<b>Equação 19-</b>	Base radial.	41
<b>Equação 20-</b>	Constante da função de base radial.	41
<b>Equação 21-</b>	Coefficiente da função de base radial.	41
<b>Equação 22-</b>	Valor estimado para local $x_0$ não amostrado (KO).	42
<b>Equação 23-</b>	Valor estimado para local $x_0$ não amostrado (KS).	42
<b>Equação 24-</b>	Valor estimado para uma dada posição (KU).	43
<b>Equação 25-</b>	Coefficiente de determinação ( $R^2$ ).	43
<b>Equação 26-</b>	Coefficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ).	43
<b>Equação 27-</b>	Índice de concordância de Willmott ( $d$ ).	44

<b>Equação 28-</b>	Índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) de Camargo e Sentelhas (1997).	44
<b>Equação 29-</b>	Erro Padrão da Estimativa (EPE, MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ).	45
<b>Equação 30-</b>	Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ).	45

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Taxa anual de perdas de solo
AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional das Águas
AA	Análise de Agrupamento
ARS	<i>Agricultural Research Service</i>
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
C	Cobertura e manejo do solo
CA	<i>Cluster Analysis</i>
CCC	Coefficiente de Correlação Cofenética
CGA	Circulação Geral da Atmosfera
CHELSA	<i>Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas</i>
CHIRPS	<i>Climate Hazards center InfraRed Precipitation with Station</i>
CLA	Camada Limite Atmosférica
CMORPH	<i>National Oceanic and Atmospheric and Atmospheric Administration's Climate Precipitation Center Morphing Technique</i>
DP	Desvio Padrão
$EI_t$	Índice de erosividade em $t$ (tempo em minutos)
EPE	Erro Padrão da Estimativa
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ES	Erosão do Solo
EUPS	Equação Universal de Perda do Solo

GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPCC	<i>Global Precipitation Climate Centre</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
K	Erodibilidade do solo
KO	Krigagem Ordinária
KS	Krigagem Simples
KU	Krigagem Universal
LS	Comprimento e grau do declive
MDE	Modelo Digital de Elevação
MK	Meann-Kendall
N	Norte
NE	Nordeste
NEB	Nordeste do Brasil
NW	Noroeste
P	Práticas conservacionistas adotadas
PTS	Partículas Totais em Suspensão
$Q_g$	Radiação Solar Global
R	Erosividade da chuva
$R_c$	Coefficiente de chuva
RMM	Região Metropolitana de Maceió
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio

S	Sul
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SF	Sistemas Frontais
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
VCAN	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
WEPP	<i>Water Erosion Prediction Project</i>

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	20
1.1. <b>OBJETIVOS</b> .....	23
Gerais.....	23
Específicos.....	23
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	24
2.1. Erosão.....	24
2.2. Erosividade da chuva (fator - R).....	26
2.3. Índice de erosividade ( $EI_{30}$ ).....	27
2.4. Determinação do índice de erosividade $EI_{30}$ a partir dos dados pluviométricos.....	28
2.5. Mapas de isoerosividade.....	29
2.6. Mapas de isoerosividade via produtos de precipitação.....	30
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	31
3.1. Caracterização da área de estudo.....	31
3.2. Série temporal pluviométrica (1960 - 2016).....	33
3.3. Controle de qualidade, preenchimento das falhas e uso da imputação de dados.....	35
3.4. Estimativa da erosividade.....	36
3.5. Análise de agrupamento.....	37
3.6. Métodos de interpolação espacial.....	39
3.7. Avaliação de desempenho da imputação da chuva e dos modelos de interpolação.....	43
3.8. Utilização de produtos CHIRPS e CHELSA.....	45
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1. Controle de qualidade, preenchimento das falhas e uso da imputação de dados.....	47
4.2. Validação dos métodos de interpolação.....	49
4.3. Análise de agrupamento aplicada à erosividade.....	53
4.4. Estatística descritiva e exploratória da erosividade.....	56
4.5. Mapas de isoerosividade de Alagoas.....	61
4.6. Validação dos produtos CHIRPS e CHELSA.....	66
4.7. Mapas de isoerosividade anual de Alagoas (CHIRPS e CHELSA).....	67
4.8. Análise espacial da tendência da chuva e erosividade anual.....	69
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	76

<b>6.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>79</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>90</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A ação da chuva causa Erosão do Solo (ES). A erosão 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 um dado importante para o planejamento ambiental e adoção de práticas conservacionistas que favoreçam o uso adequado do solo e da água (PANAGOS et al, 2015), seguido do manejo de plantas espontâneas (MELO et al., 2019), proteção da superfície com resíduos vegetais (BERTOLLO; LEVIEN, 2019), que por sua vez são métodos de conservação que se mostram eficazes na contenção de processos provocados pela ação da erosão hídrica e, associados com outras práticas têm efeitos benéficos na conservação do solo e da água (SILVA, et al., 2019).

Determinar a quantidade das perdas de solo por erosão em nível de campo necessita de medidas históricas para obtenção de valores consistentes, sendo, portanto trabalhosa e onerosa (PANAGOS et al., 2015; BARBOSA et al., 2017). Segundo, Silva et al. (2003) afirmam que as limitações econômicas, juntamente com o tempo necessário para as pesquisas são as maiores dificuldades para a determinação de perdas de solo.

Segundo Oliveira et al. (2015), a erosão hídrica (ação da chuva) 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, transporte fluvial e mercado da pesca. Ela também interfere na captação de águas de açudes devido ao assoreamento, como também perda de nutrientes e matéria orgânica, lixiviação do solo, diminuição da fertilidade do solo e poluição dos corpos hídricos e, assim afeta o meio ambiente principalmente as águas de rios e mananciais (BRADY; WEIL, 2013; MELO et al., 2019).

A ES é um problema ambiental grave que afeta o meio ambiente e o desenvolvimento humano em todo o mundo. Ele pode tornar grandes áreas férteis em improdutivas, e porque não dizer em 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).

A ES também tem influência nas atividades ecossistêmicas, tanto qualitativamente como quantitativamente, principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos, biodiversidade, produtividade agrícola e atividades recreativas (DOMINATI et al., 2010). Vale destacar que a ES é um instrumento fundamental para a tomada de decisão de práticas conservacionistas do solo e da água (LEE; HEO, 2011). Como a ES é difícil de mensurar em grande escala, se usam modelos de estimativa da ES em nível regional (PANAGOS et al., 2015). Por exemplo, em estudos realizados por Vijith et al. (2018) em região florestal Sarawak na Malásia, para a determinação da erosão do solo e identificação de zonas de riscos, seguido de Djoukbal et al. (2018) que estimaram a erosão em regiões semiáridas da Argélia, com o intuito de identificar 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, por diversas vezes possuem falhas e lacunas nas suas séries históricas (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012), como também não há uma padronização dos dados pluviométricos (LYRA et al., 2014), portanto, pode interferir no cálculo do índice de erosividade (OLIVEIRA et al., 2013). Devido a essa carência originou-se o desenvolvimento da Equação Universal de Perda de Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*, no inglês). Esta equação possibilita realizar a previsão de perdas e o reconhecimento dos agentes mais relevantes causadores da erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A USLE é uma boa ferramenta para prever perdas de solo com certa precisão, e não há uma exigência de dados para sua execução, isso quando comparada com outros modelos utilizados na literatura (AMORIM et al. 2009), como o Projeto de Predição da Erosão Hídrica (WEPP – Water Erosion Prediction Project) que é baseado em processos hidrológicos, proposto por Elliot et al. (1989). Outro ponto importante é que esta equação é bem difundida no Brasil (SILVA; DIAS, 2003; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; MELLO et al., 2012; MACHADO et al, 2014; JARDIM et al., 2017; BACK; POLETO, 2018). Para a aplicação desta ferramenta é necessário o levantamento de vários fatores que a compõem, dentre estes, o fator – R, esse que

remete a força erosiva da chuva, ou seja, a erosividade das chuvas (SILVA; WIECHETECK; ZUERCHER, 2011).

Para a obtenção deste fator faz-se necessária à coleta de dados de pluviógrafos, o que no Brasil são escassos. Sendo assim, diante da carência de pluviógrafos e com uma maior disponibilidade de dados de pluviômetros, torna-se fundamental a utilização de uma metodologia que permita estimar com relativa precisão a erosividade das chuvas a partir de dados obtidos de pluviômetros (OLIVEIRA et al., 2011).

O estado de Alagoas assim como os demais estados da Federação, é carente quando se trata de disponibilidade de informações de pluviógrafos (PEDROSA; NEVES; REIS, 1997). A quantificação da erosividade das chuvas e, conseqüentemente 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 maiores vetores econômicos é a Agricultura, em especial a cana-de-açúcar, sendo o Estado o maior produtor do Nordeste (IBGE, 2017). Vale destacar que a erosividade é importante em relação às encostas passíveis de deslizamentos, 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, o estado de Alagoas é escasso os estudos relativos à erosividade das chuvas com dados observados e com uso de produtos de precipitação, por exemplo, CHELSA (*Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas*) e CHIRPS (*Climate Hazards center InfraRed Precipitation with Station*). Assim, tal informação é fundamental para Agricultura e para Defesa Civil, visto que ao mapear e identificar as zonas isoerosivas pode-se adotar práticas conservacionistas no que se diz respeito ao uso do solo e dos recursos hídricos, e auxiliar nas tomadas de decisão em planejamentos gerenciais relacionados às catástrofes envolvendo deslizamentos de barreiras nas encostas do Estado.

## 1.1. OBJETIVOS

### Gerais

- **DEFINIR** uma equação para estimar a erosividade das chuvas no estado de Alagoas;
- **CARACTERIZAR** a erosividade no estado de Alagoas baseado em dados pluviométricos históricos.

### Específicos

- **ENCONTRAR** um método que permita realizar a estimativa da erosividade da chuva a partir de dados pluviométricos;
- **IDENTIFICAR** os grupos homogêneos de erosividade da chuva no estado de Alagoas;
- **TESTAR** os principais métodos matemáticos de interpolação espacial da erosividade da chuva no estado de Alagoas;
- **GERAR** mapas de isoerosividade (mensal e anual) para o estado de Alagoas;
- **USAR** produtos de precipitação (CHELSA e CHIRPS) na estimativa da erosividade da chuva para o estado de Alagoas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Erosão

O solo é um dos recursos naturais mais significativos para a humanidade. Porém, o uso inadequado e, conseqüentemente a sua degradação, causada em séculos de exploração sem a utilização de técnicas de conservação e manejo adequadas, tem levado muitas regiões a terem perdas de solo anuais em se regenerar (COGO et al, 2003).

A erosão é originada pela ação de fenômenos naturais que agem na mudança espontânea do solo, onde a chuva é uma das principais causas (PANAGOS et al., 2017). Porém, a interferência humana interrompe esse ciclo, dando origem ao desequilíbrio e ao processo de erosão acelerada (WISCHMEIER; SMITH, 1965). Mesmo em regiões onde as taxas de perdas de solo são menores que a taxa de recuperação, é fundamental a utilização de práticas conservacionistas e técnicas de manejo adequadas, pois geralmente o solo que foi desprendido se deposita nos leitos dos rios e, assim causam assoreamentos e contaminam os corpos d'água com a alta concentração de nutrientes oriundos dos processos de fertilização (PARRON et al., 2015).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a erosão hídrica tem como seu principal agente a energia cinética da chuva, sendo dividida em três etapas: **i)** desagregação, **ii)** transporte e **iii)** deposição. O processo de desagregação acontece quando a chuva atinge o solo e faz com que os agregados sejam umedecidos, que por sua vez implica na redução de forças coesivas, e aumenta sua desintegração com a continuidade da chuva.

O aumento da quantidade de agregados desintegrados ocorre com aumento da energia cinética da chuva. Ela é função da velocidade, da intensidade e do tamanho das gotículas de chuva. O transporte inicia-se no momento em que a intensidade da precipitação ultrapassa a taxa de infiltração do solo, ou seja, onde há a saturação do solo. Desta forma a água escoar pela superfície do solo, onde a capacidade de retenção da água pode ser diminuída pela obstrução dos vazios do solo ocasionada pelas partículas desagregadas, bem como pela compactação natural do solo e pelo impacto das gotículas de chuva que impede a infiltração da água na superfície (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Devido a alguns fatores como: rugosidade da superfície do solo, resíduos de culturas, vegetação, diminuição da declividade da encosta e à minimização da intensidade do impacto das gotas da chuva, os sedimentos carregados pelo escoamento os quais estão em suspensão, podem sofrer deposição na superfície do solo. Isso acontece quando a velocidade do escoamento superficial diminui (SANTOS et al., 2000). Este fenômeno de deposição é altamente seletivo, sendo influenciado pela profundidade do escoamento superficial e a turbulência da vazão originada pelo impacto das gotas da chuva ao tocar o solo (AGASSI, 1996; MELO et al., 2019). A velocidade de sedimentação de um agregado ou partícula primária dá-se em função do seu tamanho, forma e densidade. Segundo Hairsine e Rose (1991), para uma dada granulometria do sedimento, a taxa de deposição varia inversamente à velocidade do escoamento, e diretamente à concentração de sedimentos no escoamento superficial e sua densidade.

A estimativa da erosão é um parâmetro fundamental para a escolha de um adequado programa de manejo e conservação do solo, pois através dela, pode-se agir de forma preventiva aos impactos, antecedendo a implantação de uma determinada cultura ou prática agrícola. E, assim de forma preventiva minimiza os impactos da erosão no que se refere à tomada de decisão correta, uma vez que existem muitas alternativas de manejo do solo, como resíduos de culturas (BERTOLLO; LEVIEN, 2019; TIECHER, 2016), cobertura vegetal (MELO et al., 2019) terraços em nível e ninhos d'água (SILVA, et al., 2019) e que muitas vezes são de alto custo (CHAVES; DINIZ, 1981; FILHO; SOUZA, 2006). Embora as medidas efetivas de controle da erosão possam limitar os impactos da perda de solo (MUNRO et al., 2008), em muitos casos essa intensificação não é acompanhada por medidas adequadas de conservação do solo e d'água.

Por meio do uso da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) é possível determinar a estimativa da taxa de perda de solo. Esta metodologia segundo Albuquerque et al. (2005) é a mais usada, e também conhecida no mundo como (USLE). A USLE se destaca por sua aplicabilidade em qualquer região tanto em escala local como global, por exemplo, Figueiredo et al. (2018) utilizaram a equação USLE no Nordeste (NE) de Portugal para simular cenários de sua aplicação em controles de erosão. Nunes et al. (2017) aplicaram a equação USLE para determinar perdas de solo na região sul do Amazonas. Enquanto, Phan et al. (2019) estimaram as perdas do solo no norte do Vietnã.

Zhang et al. (2019) aplicaram a equação USLE para a agricultura na China. Já Souza e Gasparetto (2012) aplicaram a equação USLE para determinar perdas de solo no Noroeste (NW)

do Paraná, enquanto que Jardim et al. (2017) determinaram as perdas de solo por erosividade das chuvas em Serra Talhada – PE e, por fim Xavier et al. (2019) estimaram a erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto no semiárido pernambucano.

Wischmeier e Smith (1978) propuseram a EUPS, para servir como instrumento na tomada de decisão sobre o uso e manejo do solo mais adequado e, conseqüentemente, para relacionar as práticas de conservação mais eficazes, seu objetivo é prever a erosão, em  $t.ha.ano^{-1}$ , que poderá ocorrer em determinada área de cultivo.

Segundo Pinto e Garcia (2005) o modelo USLE foi desenvolvido e aplicado originalmente no âmbito do Soil Conservation Service (SCS) e do Agricultural Research Service (ARS) nos Estados Unidos, em parceria com algumas universidades norte americanas, desde a década de 1980. Ainda segundo os autores este modelo foi utilizado para a análise conjunta dos fatores condicionantes da erosão na estimativa de perda de solo, dada pelo escoamento das águas pluviais na superfície, com ênfase nos processos de erosão laminar.

Mello et al. (2006) diz que a USLE correlaciona seis fatores que influenciam de forma direta e proporcional a erosão hídrica acelerada do solo, são eles: **i)** erosividade da chuva (R), **ii)** erodibilidade do solo (K), **iii)** comprimento e grau do declive (LS), **iv)** cobertura e manejo do solo (C) e **v)** práticas conservacionistas adotadas (P), a equação é dada por:  $A = R.K.L.S.C.P$  (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A equação engloba um conjunto de fatores naturais e antrópicos. Onde os fatores naturais são descritos pelas componentes (R), (K), (L) e (S). Os fatores que têm a influência do homem são descritos pelo uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P), sendo (A) a variável dependente que representa a taxa anual de perdas de solo.

## **2.2. Erosividade da chuva (fator – R)**

A erosividade da chuva é uma medida da força erosiva das chuvas. A energia cinética da chuva determina a erosividade e, por sua vez, depende diretamente da sua intensidade (VRIELING; STERK; JONG, 2010). A caracterização do fator R requer cálculos de índices relacionados com a energia cinética das chuvas, a intensidade, e o total precipitado. Wischmeier e Smith (1978) propôs uma metodologia na qual se necessitava realizar a soma da intensidade de cada aclave da curva do pluviograma que representa a chuva. Esta metodologia era morosa,

devido aos cálculos. Em período recente, vários estudos foram desenvolvidos nas diversas regiões do Brasil, para a estimativa do fator R da USLE (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; SILVA et al., 1997; MELLO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; AQUINO et al., 2012; MACHADO et al., 2014; VIOLA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2016). Segundo Mello et al. (2012), a maior parte desses trabalhos foi realizada a partir do coeficiente de chuva ( $R_c$ ), que utiliza dados pluviométricos ao invés de pluviográficos, devido à escassez destes no Brasil.

Com a intenção de melhorar a execução dos cálculos, pesquisas foram realizadas e correlacionaram intensidades máximas em determinados intervalos de tempo com a erosividade total da chuva (WILLIAMS; BERNDT (1977) apud CHUQUIPIONDO, 2007). Os números subscritos representam estes intervalos de tempo em minutos. Onde o termo  $EI_t$  indica que a erosividade foi estimada considerando o intervalo de tempo subscrito, ou seja, no intervalo em que a chuva foi mais intensa. No Brasil, através de pesquisas foram comparados os índices de erosividade  $EI_5$ ,  $EI_{10}$ ,  $EI_{15}$ ,  $EI_{20}$ ,  $EI_{25}$ ,  $EI_{30}$ ,  $EI_{35}$ , KE>10 e KE>25 (Lombardi Neto; Modenhauer, 1992; Cantalice; Margolis, 1993; Albuquerque et al., 1994; Silva et al., 2009), em sua pesquisa Andrade et al. (2020), aplicou os índices  $EI_{30}$  KE>25 para a determinação de erosividades em Aragarças – GO, assim como Machado et al. (2017) utilizou os índices KE>10, KE>25 e  $EI_{30}$  para análise de erosividade, obtendo uma alta relação entre os padrões de precipitação com os índices de erosividades para o Rio de Janeiro.

Os termos KE>10 e KE>25 indicam que a erosividade foi estimada considerando apenas as chuvas com precipitação superior a 10 e 25 mm, respectivamente. Embora exista alta correlação dos índices KE>25 e  $EI_{30}$  com a erosividade das chuvas, este último tem sido mais utilizado para estimar o fator R da USLE (HUDSON, 1971; WALTRIK, 2010).

### **2.3. O índice de erosividade ( $EI_{30}$ )**

Os primeiros dados coletados e analisados em relação à erosividade, ocorreram na década de 1940 no estado de Ohio nos Estados Unidos, onde a monocultura de milho era uma das principais atividades agrícolas (FRANCISCO, 2020). Wischmeier e Smith (1958), em pesquisa

realizada nos Estados Unidos com intuito de estabelecer um índice de erosividade que melhor estimasse a capacidade da chuva em provocar erosão, verificaram que a perda de solo ocasionada pela ação das chuvas em áreas cultivadas apresentou uma correlação elevada com o produto entre duas características das chuvas: intensidade máxima da chuva em 30 minutos e energia cinética total. A esse produto foi dado o nome de índice de erosividade  $EI_{30}$ , que representa os efeitos do impacto e turbulência das gotas combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial.

Estimar o  $EI_{30}$  exige dados pluviográficos, que nem sempre apresentam séries históricas longas para as diferentes localidades que se pretende estimar. Lombardi Neto (1977) conseguiu estimar o índice de erosividade médio mensal, através do coeficiente de chuva chamado por ele de  $R_c$ , utilizando, exclusivamente, registros pluviométricos. Silva e Dias (2003), diz que em diversas regiões do Brasil, essa correlação tem se mostrado altamente significativa. Portanto, nas localidades que não possuem longas séries históricas de dados pluviográficos pode-se estimar o índice  $EI_{30}$  por meio de dados pluviométricos (RUFINO et al., 1993; MORETI et al., 2003; CARVALHO et al., 2005; GONÇALVES et al., 2006). Para tanto, faz-se necessária a determinação do  $R_c$ , que é obtido a partir de dados de precipitação média mensal e precipitação média anual.

#### **2.4. Determinação do índice de erosividade $EI_{30}$ a partir dos dados pluviométricos**

A determinação do fator R demanda tempo, mesmo com o auxílio da informática, a prévia leitura dos registros dos pluviógrafos, a classificação e a catalogação manual das chuvas individuais, de suas lâminas e durações, são dados cruciais para o cálculo do índice  $EI_{30}$  para uma longa série de dados de chuva. Outro ponto que se deve levar em consideração é com relação à ausência de pluviógrafos na maior parte dos municípios brasileiros e a relativa abundância de dados pluviométricos. Desta forma, muitos pesquisadores têm focado obter uma relação entre os dados dos pluviógrafos e dos pluviômetros para se chegar a um denominador comum, ou seja, uma metodologia que consiga estimar a erosividade da chuva em locais que os únicos dados são de pluviômetros, sendo relativamente mais simples de serem obtidos. Um modo de se utilizar os dados pluviométricos é fazendo a correlação das precipitações médias mensais

com os índices de erosividade médios mensais. A outra é através do coeficiente de chuva ( $R_c$ ), que pode ser determinado de acordo com a proposição de Fournier (1956), posteriormente modificada por Lombardi Neto (1977), a qual relaciona o índice  $EI_{30}$  obtido por meio de pluviogramas, com o coeficiente da chuva, esse obtido de dados de pluviômetros.

Ao estudar a relação entre o índice  $EI_{30}$  obtido por meio de pluviogramas e o coeficiente da chuva ( $R_c$ ), Lombardi Neto (1977) propôs uma metodologia que possibilita a estimativa da erosividade da chuva através de dados de pluviômetros, a qual consistiu em estimar a média mensal do índice de erosividade, em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ , obtendo boa precisão, ao alcançar alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,991$ ).

Em estudos posteriores, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), propôs outra equação Eq.(8) que estima com relativa precisão os valores do fator - R para longos períodos. Essa se baseia em técnica de regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva, tendo boa aceitação em estudos no Brasil, com aplicações na região NEB como nas pesquisas de Santos e Aquino (2015) nas cidades de Castelo e Juazeiro em Piauí (PI), Aquino et al. (2017) em Gilbués – PI, Xavier et al. (2018) no semiárido pernambucano e Matos et al. (2017) no município de Barbalha – CE, todos estimaram a erosividade das chuvas com sucesso.

A soma dos  $EI_{30}$  das chuvas ao longo do mês estima o  $EI_{30}$  mensal, e a soma destes possibilitam estimar o  $EI_{30}$  anual Eq. (9). A média dos  $EI_{30}$  anuais ao longo de pelo menos 22 anos, representa o fator R da USLE (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

## 2.5. Mapas de isoerosividade

Através das equações obtidas, é possível estimar o fator R da USLE para um local onde haja boa correlação da distribuição pluviométrica, a partir de dados pluviométricos para assim produzir mapas de isoerosividade, que são linhas de mesmo valor de índice de erosividade (WISCHMEIER; SMITH, 1965). A espacialização da erosividade através do mapeamento é uma forma de representar graficamente a partir da interpolação dos dados de erosividade (BACK; POLETO, 2018).

Com o mapa, é possível obter os valores dos índices de erosividade de qualquer localidade. A obtenção dos mapas de isoerosividade é uma solução para mitigar a falta de dados

que possibilite a determinação dos índices de erosividade em regiões que estas informações sejam escassas, por esse motivo estão sendo traçados mapas de linhas isoerosivas para várias regiões do Brasil (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Alguns estudos realizados no Brasil apresentam mapas de isoerosividade para determinados estados ou regiões do país. Onde vale destacar alguns destes, como o de Lombardi Neto et al. (1981) para o estado de São Paulo, Waltrick et al. (2015) para o estado do Paraná, Amaral et al. (2014) para o estado da Paraíba, Martins et al. (2020) para o estado do Maranhão e Pará.

O conhecimento espacial do valor da erosividade associado a informações fisiográficas permite identificar as regiões com propensão a riscos de erosão, deslizamentos ou escorregamentos, subsidiando o planejamento de práticas conservacionistas do solo, ações da defesa civil e assertividade no critério segurança em obras de engenharia (BACK; POLETO, 2018).

## **2.6. Mapas de isoerosividade via produtos de precipitação**

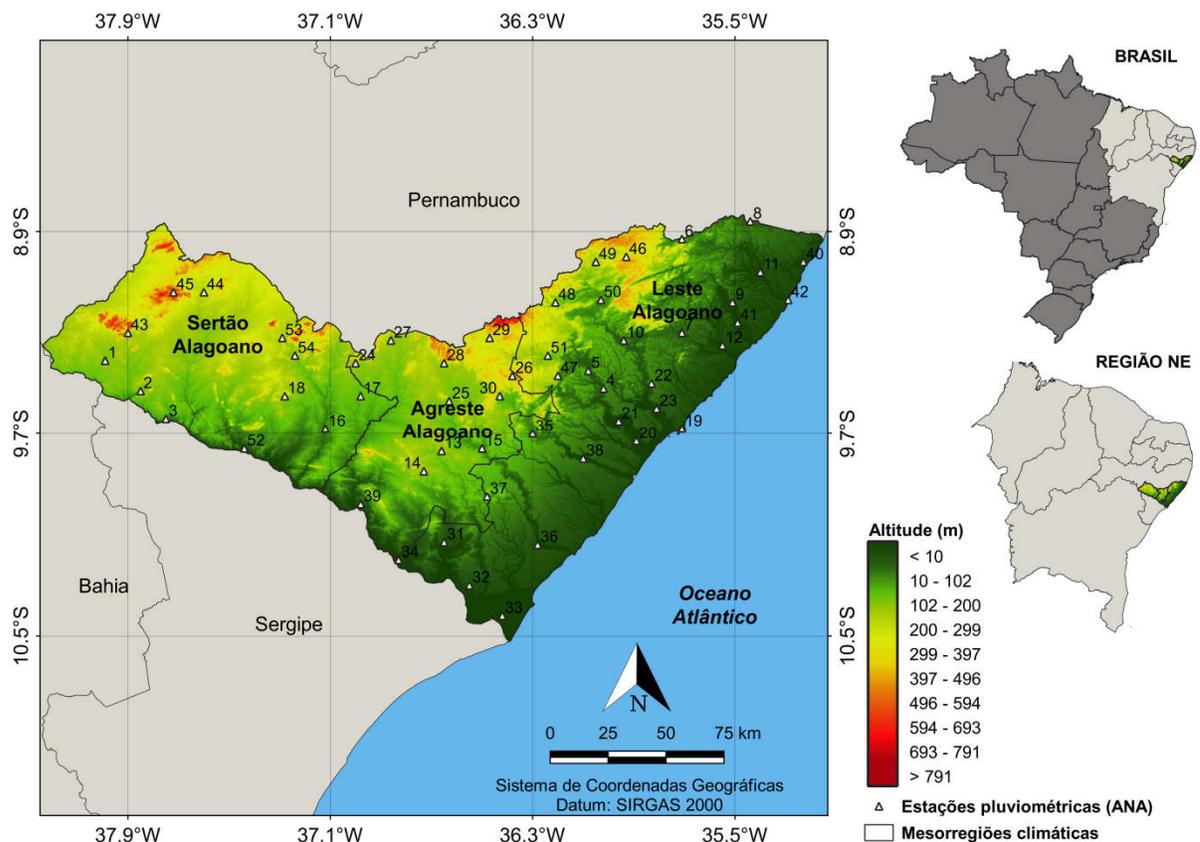
A obtenção direta de valores da erosividade da chuva é onerosa, pois demanda de elevados recursos capital e humano, e para o cálculo da estimativa da erosividade são necessárias longas séries históricas de precipitação, o que é uma grande barreira para países em que a rede pluviométrica existente em sua grande maioria é insuficiente e deficitária (CAMPOS, 2017). Para a obtenção dos dados de chuvas e, posterior cálculo de estimativa de erosividade, os produtos de precipitação derivados de satélites são uma alternativa. Estes produtos estão disponíveis para quase todo globo terrestre com diferentes resoluções temporais (VRIELING; STERK; DE JONG, 2010). Alguns trabalhos recentes utilizaram-se de dados de satélite para obtenção da erosividade, por exemplo, Kim et al. (2020) estudaram a aplicação de produtos de precipitação CMORPH (*National Oceanic and Atmospheric and Atmospheric Administration's Climate Precipitation Center Morphing Technique*) para a estimar a erosividade das chuvas em escala continental nos Estados Unidos, seguido de Chen et al. (2021) que utilizaram produtos do IMERG-F e TMPA 3B42-V7 para estimar a erosividade das chuvas em várias regiões da China, onde os autores obtiveram ótima correlação entre os valores oriundos dos satélites e os dados obtidos em *in situ*.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

O estado de Alagoas está situado na região Nordeste do Brasil, com uma área aproximada de 27.843 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019), 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 S com os estados de Sergipe e Bahia e a leste (E) com o oceano Atlântico (Figura 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).

**Figura 1.** Localização das 54 estações pluviométricas no estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil juntamente com sua altitude (m) via modelo digital de elevação (MDE – SRTM 30 m).



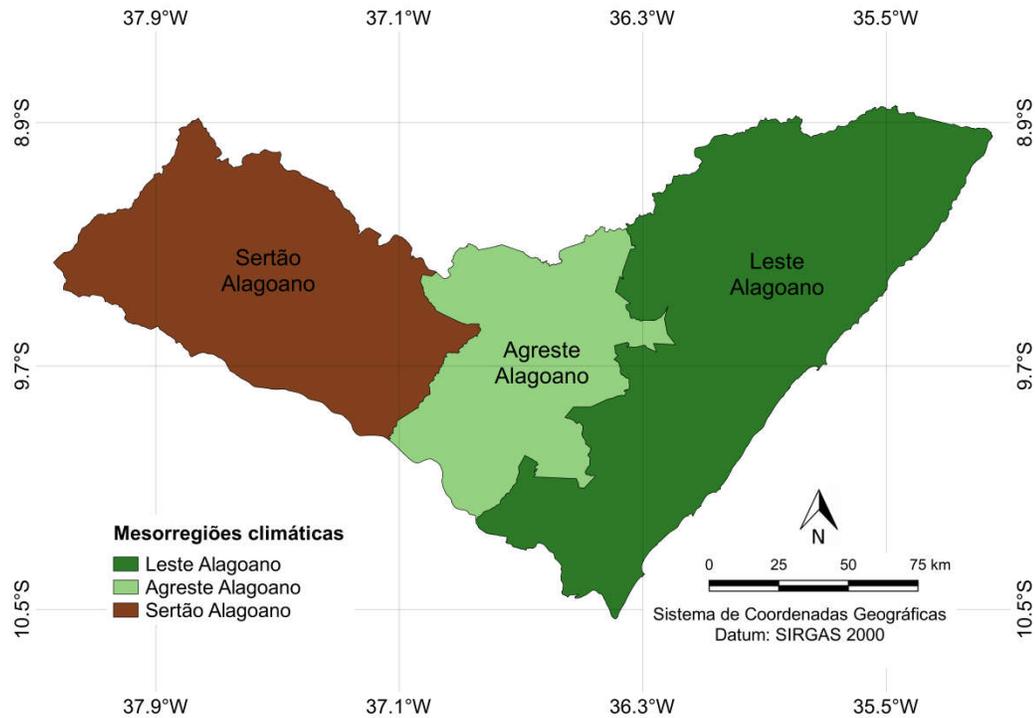
Fonte: Autoria Própria (2021)

Alagoas possui apenas 1% de seu território localizado em áreas superiores a 600 m de altitude (Figura 1), assim como quase toda a região Nordeste. Em aspectos morfológicos apresenta cinco unidades: i) a baixada litorânea, com as praias e restingas, dominadas por tabuleiros areníticos; ii) uma faixa de colinas e morros argilosos, imediatamente a oeste, com solos espessos e relativamente ricos; iii) o pediplano, que ocupa todo o interior, com solos ricos, porém rasos, e de topografia levemente acidentadas, da qual se podem destacar as serras dos municípios de Mata Grande e Água Branca, no extremo oeste do estado; iv) a encosta meridional do planalto da Borborema (chapada Pernambucana), no centro-oeste, ponto de maior altitude de Alagoas, e v) as planícies aluviais, ao longo dos rios, que incluem o delta e a várzea do baixo São Francisco, com solos anualmente renovados por cheias periódicas (INCRA, 2018).

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido agregado a uma vegetação xerófito em cerca de 50% do seu território. Esse clima caracteriza-se pelo regime de chuvas irregular espacialmente e temporalmente, destaque para as mesorregiões do Agreste e do Sertão. Estudos climatológicos realizados anteriormente mostram que o modo de variabilidade climática, El Niño - Oscilação Sul (ENOS) juntamente com a circulação geral da atmosfera (CGA) seriam os principais responsáveis pela ocorrência de baixos registros pluviométricos (NOBRE; MOLION, 1986; MOLION; BERNARDO, 2002; MOURA et al., 2020).

Atualmente, o estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões: o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano (Figura 2). 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, inicia-se ao Norte do município de Quebrangulo, indo até ao Sul do município de São Brás, na porção mais úmida, e se estendendo até o limite dos municípios de Cacimbinhas e Traipu, na porção mais seca. O Sertão Alagoano corresponde às localidades com características climáticas áridas e semiáridas (IBGE, 2019).

**Figura 2.** Mesorregiões climáticas do estado de Alagoas - o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano.



Fonte: Autoria Própria (2021).

### 3.2. - Série temporal pluviométrica (1960-2016)

Nesse estudo foram utilizados dados pluviométricos referentes a 54 estações localizadas no estado de Alagoas (Tabela 1) conforme distribuição espacial da Figura 1, pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA – Agência Nacional das Águas (ANA, 2020), obtidos via portal eletrônico denominado *HidroWeb* no seguinte endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>. O período de estudo corresponde de 1960 a 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 superiores há 20 anos.

**Tabela 1.** 54 Estações pluviométricas do estado de Alagoas com as coordenadas geográficas (latitude e longitude em graus), altitude (m) e os percentuais de falhas (%), respectivamente.

<b>ID</b>	<b>Municípios</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Falhas (%)</b>
43	Água Branca	-9,28	-37,90	510	56,14
35	Anadia	-9,68	-36,30	140	50,88
13	Arapiraca	-9,75	-36,66	247	48,68
4	Atalaia	-9,50	-36,02	54	0,73
16	Batalha	-9,66	-37,12	120	63,60
24	Cacimbinhas	-9,40	-37,00	300	40,35
44	Canapi	-9,12	-37,60	280	43,86
5	Capela	-9,43	-36,08	34	49,42
6	Colônia Leopoldina	-8,91	-35,71	166	65,35
36	Coruripe	-10,12	-36,28	10	54,39
1	Delmiro Gouveia	-9,39	-37,99	256	0,00
7	Flexeiras	-9,28	-35,71	70	49,12
46	Ibateguara	-8,98	-35,93	505	63,01
25	Igaci	-9,55	-36,63	240	67,54
31	Igreja Nova	-10,11	-36,65	17	39,62
8	Jacuípe	-8,84	-35,44	0	50,88
37	Junqueiro	-9,93	-36,48	120	50,88
14	Lagoa da Canoa	-9,83	-36,73	235	34,06
15	Limoeiro de Anadia	-9,73	-36,50	150	33,77
19	Maceió	-9,66	-35,71	43	4,82
17	Major Isidoro	-9,53	-36,98	217	45,61
26	Mar Vermelho	-9,45	-36,38	620	40,79
40	Maragogi	-9,00	-35,23	5	44,74
20	Marechal Deodoro	-9,71	-35,89	0	53,95
45	Mata Grande	-9,12	-37,72	633	35,09
9	Matriz de Camaragibe	-9,16	-35,51	16	49,12
27	Minador do Negrão	-9,31	-36,86	395	52,92
10	Murici	-9,31	-35,94	82	5,26
18	Olho D'água das Flores	-9,53	-37,28	289	52,78
2	Olho D'água do Casado	-9,51	-37,85	209	49,92
28	Palmeira dos Índios	-9,40	-36,65	320	3,65
52	Pão de Açúcar	-9,74	-37,44	45	4,09
41	Passo de Camaragibe	-9,24	-35,49	90	34,36
32	Penedo	-10,28	-36,55	28	0,44
33	Piaçabuçu	-10,40	-36,42	10	45,61
21	Pilar	-9,63	-35,96	131	66,67
47	Pindoba	-9,45	-36,20	190	76,32

3	Piranhas	-9,62	-37,75	110	0,00
53	Poço das Trincheiras	-9,30	-37,29	255	47,37
11	Porto Calvo	-9,04	-35,40	54	35,82
42	Porto de Pedras	-9,15	-35,29	14	14,33
34	Porto Real do Colégio	-10,18	-36,83	30	39,18
29	Quebrangulo	-9,30	-36,47	411	14,91
22	Rio Largo	-9,48	-35,83	62	44,74
54	Santana do Ipanema	-9,37	-37,24	250	0,29
48	Santana do Mundaú	-9,16	-36,21	221	5,41
49	São José da Laje	-9,00	-36,05	250	12,87
12	São Luiz do Quitunde	-9,33	-35,55	4	52,19
38	São Miguel dos Campos	-9,78	-36,10	12	54,39
23	Satuba	-9,58	-35,81	20	41,67
30	Tanque D'Arca	-9,53	-36,43	280	49,12
39	Traipu	-9,96	-36,98	40	31,58
50	União dos Palmares	-9,15	-36,03	155	0,29
51	Viçosa	-9,37	-36,24	300	47,37

Fonte: Adaptado de ANA (2020)

### 3.3. – Controle de qualidade, preenchimento das falhas e uso da imputação de dados

A série temporal pluviométrica possuía diversas falhas e, portanto, foi utilizada a técnica de imputação.

A imputação de dados adotada no estudo baseou-se na técnica sugerida por Harrel (2001), em que os percentuais (%) de dados ausentes 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;
- iii) Percentual  $\geq 0,15$ : A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Após a contabilização das falhas, aplicou-se a imputação dos dados de chuva via pacote “mtsdi”, a partir do critério ii. O método de imputação de dados consiste em uma função genérica, onde o conjunto de dados é transformado por meio da função spline, que suaviza a série temporal. Tais procedimentos foram realizados nas seguintes etapas: acionar a biblioteca (1), interação de dados (2), extração de dados de imputação (3) imputação (4), tabela de dados imputados (5) e saída dos dados imputados (6), conforme descrito a seguir:

```
library(mtsdi) (1)
```

```
A=a; B=a; C=a; D=n = 1 ..., n (2)
```

```
(f<- ~CHUVA_1+CHUVA_2+CHUVA_3) (3)
```

```
D=mnimput(f,dados4,eps=1e-3,ts=TRUE, method="spline",sp.control=list(df=c(A,B,C)))
```

```
predict(D) (4)
```

```
P4=data.frame(predict(D)) (5)
```

```
write.xlsx(P4,"DADOS-1960-2016.xlsx",col.names=TRUE) (6)
```

Em que, library = pacote usado; a = número de interações para a chuva mensal (mm); f = função empírica da variável chuva mensal (mm); method = método de imputação usando a spline.

### 3.4. – Estimativa da erosividade

Uma vez determinada à equação a ser utilizada para a estimativa do índice de erosividade  $EI_{30}$  Eq. (8), foram calculadas as erosividades mensais e anuais a partir dos dados pluviométricos obtidos da série temporal (item 3.2). A estimativa do índice de erosividade se dá por meio da correlação entre o índice de erosividade e o coeficiente de chuva  $R_c$  obtidos a partir dos dados dos pluviômetros. Para tanto o  $R_c$  foi obtido a partir da Eq. (7) proposta por Lombardi Neto (1977).

$$R_c = \frac{P_m^2}{P_a} \quad (7)$$

Em que:  $R_c$  é o coeficiente de chuva (mm);  $p_m$  é a precipitação média mensal (mm) e  $P_a$  é a precipitação média anual (mm).

Calculado o  $R_c$ , foi possível encontrar as erosividades mensais a partir da Eq. (8) e determinar o índice de erosividade anual (fator R), que é definido pela soma dos valores de  $EI_{30}$  mensais, conforme Eq. (9).

$$EI_{30} = 67,355R_c^{0,850} \quad (8)$$

$$R = \sum_{i=1}^n EI_m \quad (9)$$

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.

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

Erosividade (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classificação da erosividade
R ≤ 2452	Erosividade fraca
2452 < R ≤ 4905	Erosividade moderada
4905 < R ≤ 7397	Erosividade moderada a forte
7397 < R ≤ 9810	Erosividade forte
R > 9810	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

### 3.5. - Análise de agrupamento

A análise de agrupamento (AA, no inglês Cluster Analysis - CA) é uma técnica exploratória de análise multivariada de dados que permite classificar um conjunto de dados em grupos homogêneos, com base apenas nas similaridades ou dissimilaridades entre elas (WILKS, 2011). No estudo a medida de similaridade usada foi à distância Euclidiana. Ela foi escolhida por ser a mais utilizada na literatura (COSTA et al. 2015; OLIVEIRA JÚNIOR et al. 2017; BRITO et al. 2018; TERASSI et al. 2018) e, anteriormente aplicada para o estado de Alagoas (SOUZA et al. 1992; LYRA et al. 2014; COSTA et al. 2020) em dados de precipitação pluviométricos. Nesta etapa da análise foram testados vários métodos de agrupamento. Entre eles o Complete, Ward, Median, McQuitty, Average, Centroid e Single, os quais estão dispostos no **Apêndice**.

A distância Euclidiana entre dois elementos  $X_{ki} \neq j$  é definida por Eq. (10):

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_{k=1}^k (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (10)$$

Em que, os dois elementos amostrais são comparados em cada variável pertencente ao vetor de observações.  $X_{ik}$  e  $X_{jk}$  são os elementos a serem comparados; índice  $k$  representa a quantidade de grupos e os índices  $i$  e  $j$  representam os elementos do grupo.

A fim de identificar qual método hierárquico aglomerativo seria mais adequado para esse estudo, utilizou-se do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) que tem por finalidade medir o grau de preservação das distâncias emparelhadas pelo dendrograma resultante do agrupamento em relação às distâncias originais (BARROSO; ARTES, 2003; CRUZ; CARNEIRO, 2003). Na prática, os dendrogramas com  $CCC < 0.7$  indicam a inadequação do método de agrupamento (ROHLF, 1970). O CCC é definido pela Eq. 11:

$$CCC = r_{cof} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (c_{jj'} - \bar{c})(f_{jj'} - \bar{f})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (c_{jj'} - \bar{c})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j'=j+1}^n (f_{jj'} - \bar{f})^2}} \quad (11)$$

Em que,  $\bar{c}$  e  $\bar{f}$  são as médias aritméticas, definidas pelas Eqs. 12 e 13:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (12)$$

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (13)$$

Em que, CCC é o coeficiente de correlação Cofenética,  $C$  é a matriz Cofenética e  $\bar{C}$  é a média da matriz Cofenética,  $f$  é a matriz fenética e  $\bar{f}$  é a média da matriz fenética,  $n$  é o número de elementos. Todos os cálculos usados no estudo foram realizados no software ambiente R versão 3.6.3 (R Development Core Team 2020).

Segundo Castro e Ferrari (2016) o método Complete opera de maneira similar ao Single, entretanto, a distância do novo grupo aos demais, é calculada como a distância máxima entre os

elementos do novo grupo aos grupos restantes. Matematicamente, a função de ligação, à distância  $D(g_1, g_2)$  entre os grupos  $g_1$  e  $g_2$ , é descrita pela Eq. (14):

$$D(g_1, g_2) = \max(d(x, y)) \quad (14)$$

Em que:  $d(x, y)$  é a distância entre os elementos  $x$  e  $y$ , e  $g_1$  e  $g_2$  são dois grupos.

A vantagem desse tipo de método é que ele cria um dendrograma que mostra a estrutura do agrupamento, permitindo a análise exploratória dos resultados intermediários, determinando assim o número de grupos desejados.

### 3.6. – Métodos de interpolação espacial

Os procedimentos de interpolações, bem como o geoprocessamento dos dados, foram realizados no software *Quantum GIS* (QGIS) versão 3.4.6 (Madeira). Especificamente no processo de interpolação foi utilizado o *software SAGA GIS*, que nesta versão do *QGIS* já o traz como *plugin*, uma vez que o *QGIS* só dispõe de dois interpoladores (IDW e TIN - *Triangular Irregular Network*), enquanto o *software SAGA GIS* traz consigo uma série de outros interpoladores matemáticos espaciais.

No estudo foram testados alguns métodos de interpolação matemática para identificar qual(is) os melhor(es) para interpolação da erosividade no estado de Alagoas? Os métodos seguem listados a seguir:

- **IDW - Inverse Distance Weighted**

Segundo Marcuzzo (2011), a interpolação baseada no IDW estima os valores dos pontos com base em uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância. Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto via o método do IDW, utiliza-se a Eq. (15):

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (15)$$

Em que:

$Z(x)$  é o valor do ponto que se deseja interpolar;

$n$  é o número de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto  $x$  ;

$Z(x_i)$  é o valor do ponto  $x_i$  ;

e  $\omega_i$  é o peso do valor de  $x_i$  sobre o ponto  $x$  .

Para a determinação de  $\omega_i$  utiliza-se a Eq. (16):

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (16)$$

Em que:

$h(x, x_i)^p$  é a distância entre o ponto  $x$  e o ponto  $x_i$  ;

e  $p$  é o parâmetro de potência.

Parâmetros de potência maiores evidenciam pontos mais próximos, o que torna o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores evidenciam pontos mais afastados, o que torna o resultado mais suavizado, porém menos preciso (EL-SHEIMY et al., 2005).

- **Spline**

O método Spline, também conhecido na literatura como Mínima Curvatura, é um tipo de polinômio por partes uma interpolação polinomial simples. Os parâmetros podem ser definidos, principalmente a quantidade de suavização. Uma das funções mais utilizadas é a Spline regularizada com tensão e suavização (MITASOVA; MITAS, 1993). Suas estimativas são obtidas a partir da Eq. (17) (MITASOVA et al., 2005):

$$\mathbb{S}(S_o) = a_1 + \sum_{i=1}^n w_i \cdot R(v_i) \quad (17)$$

Em que  $a_l$  é uma constante e  $R(v_i)$  é a função de base radial descrita conforme Eq. (18) e Eq. (19) (MITASOVA; MITAS, 1993):

$$R(v_i) = -[E_1(v_i) + \ln(v_i) + C_E] \quad (18)$$

$$v_i = \left[ \varphi \cdot \frac{h_o}{2} \right] \quad (19)$$

Em que:

$E_1(v_i)$  é a função integral exponencial;

$C_E = 0,577215$  é a constante de Euler;

$\varphi$  é o parâmetro generalizado de tensão;

e  $h_o$  é a distância entre o novo ponto e o ponto de interpolado.

Os coeficientes  $a_l$  e  $w_i$  são obtidos resolvendo o sistema formado pela Eq. (20) e Eq. (21):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 0 \quad (20)$$

$$a_l + \sum_{i=1}^n w_i \cdot \left[ R(v_i) + \delta_{ij} \cdot \frac{\varpi_o}{\varpi_i} \right] = z(S_j); j = 1, \dots, n \quad (21)$$

Em que:  $\varpi_o = \varpi_i$  são fatores de ponderação positivos que representam um parâmetro de suavização em cada ponto dado  $S_j$ . O parâmetro de tensão limita a distância sobre a qual os pontos dados devem influenciar à superfície resultante, enquanto o parâmetro de suavização limita o desvio vertical da superfície dos pontos (MITASOVA et al., 2005).

- **KO - Krigagem Ordinária**

O estimador KO é baseado em um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas espacialmente, e/ou temporalmente, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma a partir da Eq. (22) (LANDIM, 2003).

$$\hat{Z}(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (22)$$

Em que:

$\hat{Z}(x_o)$  é o valor estimado para local  $x_o$  não amostrado;

$Z(x_i)$  o valor amostrado,  $n$  igual ao número de amostras vizinhas utilizadas nas estimativas e o valor dos pesos aplicados em cada  $Z(x_i)$ ;

$\lambda_i$  são os pesos atribuídos a cada valor conhecido.

- **KS - Krigagem Simples**

Usa-se o método KS quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área em estudo e de valor similar à média do espaço amostral que é conhecida, conforme Eq. (23) (LANDIM, 2002).

$$Z_{KS}^*(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_o) Z(x_i) + [1 - \lambda_i(x_o)] m \quad (23)$$

Em que:

$Z_{KS}^*(x_o)$  é o valor estimado para local  $x_o$  não amostrado;

$Z(x_i)$  é o valor amostrado;

$n$  é igual ao número de amostras vizinhas utilizadas nas estimativas;

$i$  é o valor dos pesos aplicados em cada  $Z(x_i)$ ;

$\lambda_i$  são os pesos atribuídos a cada valor conhecido;

$m$  é a média local.

- **KU - Krigagem Universal**

Na krigagem universal, a remoção de tendência é realizada através de um ajuste de polinômios de baixo grau (SANTOS, 2010), sendo utilizada nos casos em que o processo estocástico não é estacionário, apresentando assim, um processo com tendência (LANDIM, 2003), em que o modelo é descrito de acordo com a Eq. (24) (DRUCK et al., 2004):

$$\hat{Z}(x) = t(x) + \lambda_i Z(x_i) \quad (24)$$

Em que:

$\hat{Z}(x)$  é o valor estimado para uma dada posição;

$\lambda_i Z(x_i)$  são ponderações que estabelecem a contribuição com que cada observação de  $Z$  contribui para a estimativa de  $\hat{Z}(x)$ ;

$t(x)$  é uma componente de tendência.

### 3.7. - 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<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_o)^2}{\sum_{i=1}^n (X_o - \bar{X}_o)^2} \quad (25)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_o - \bar{X}_o)(X_i - \bar{X}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_o - \bar{X}_o)^2 - \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2}} \quad (26)$$

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

**Tabela 3.** Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e a sua respectiva classificação

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

Fonte: Hopkins (2009)

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_o)^2}{\sum_{i=1}^n (|X_i - X_o| + |X_o - \bar{X}_o|)^2} \right] \quad (27)$$

Da mesma forma, foi empregado o índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) de Camargo e Sentelhas (1997), obtido 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. (28) e classificado segundo a Tabela 4:

$$c = r \times d \quad (28)$$

**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

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)^2}{n-2}} \quad (29)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_i)}{n}} \quad (30)$$

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  $\overline{X_i}$  = chuva média imputada ou erosividade média imputada.

Todos os procedimentos estatísticos foram efetuados no software R versão 3.6.1 (*R Core Team*, 2020).

### 3.8. Utilização de produtos CHIRPS e CHLSA

Na avaliação do desempenho dos produtos CHIRPS e CHLSA foram usados os seguintes parâmetros estatísticos: os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e correlação linear de Pearson ( $r$ ) e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). A escolha do produto CHIRPS se deve em virtude de sua resolução espacial, que permite extrair o valor mensal referente a cada um dos 54 municípios que possuem estação pluviométrica no estado de

Alagoas com dados de 1981 até os dias atuais e é disponibilizado em conjuntos de dados diários, em pântadas e dados mensais (COSTA et al., 2019). Além disso, o processo inerente a acurácia deste dado, comprovado em diversos estudos ao qual pode ser uma ótima alternativa em regiões com carência de estações pluviométricas como o Nordeste Brasileiro, constatado por Paredes-Trejo et al. (2017). Além deste trabalho citado, outros trabalhos também abordam e apontam a eficácia do CHIRPS em regiões com alta densidade de estações, como verificado por Funk et al. (2015b) e Katsanos et al. (2016). Prakash (2019) avaliou a performance do CHIRPS em relações a outros três produtos na Índia e detectou que o CHIRPS apresenta um alto grau de confiança, e pode ser utilizado como referência para dados de períodos longos, neste caso, nos últimos 37 anos (1981-2018).

O produto *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA) - (KARGER et al., 2017; SANTOS, 2020) possui uma resolução espacial de 1 km x 1 km, em escala temporal mensal, tem sido recentemente aplicado para os biomas do NEB, no estudo realizado por CORREIA FILHO et al. (2019a). O período de estudo foi de 1979 a 2013 (34 anos). O produto CHELSA consiste em dados de estações meteorológicas provenientes do Global Precipitation Climate Centre (GPCC), com uma resolução temporal de 50 km x 50 km. Este conjunto de dados está sujeito à técnica estatística de redução de 50 km para 25 km, utilizando o método de interpolação B-Spline com a ajuda de dados de precipitação Era-Interim. No caso de precipitação, avaliamos os efeitos da topografia, padrão de vento e altura da camada limite atmosférica (CLA), que são refinados de 25 km para 1 km (KARGER et al., 2017). Além disso, este procedimento inclui o efeito do vento e a altura CLA para um ajuste da grelha de 25 km a 1 km, cujos dados estão disponíveis em: <<http://chelsa-climate.org/timeseries>. Estes são armazenados em ficheiros de extensão Geotiff.

A avaliação do desempenho dos produtos CHIRPS e CHELSA, se deu através da comparação com os dados de erosividade obtidos por pluviômetros (Figura 13). Para a espacialização e obtenção dos valores estimados de erosividade por meio dos produtos CHIRPS e CHELSA, foi utilizado o método de interpolação Krigagem Ordinária (KO). A análise do desempenho dos valores de erosividade das chuvas no estado de Alagoas foi baseada nos seguintes indicadores estatísticos: RMSE e os coeficientes  $R^2$  e  $r$ , com intuito de verificar se os produtos CHIRPS e CHELSA podem ser uma alternativa de base de dados, na ausência de dados pluviográficos e de pluviômetros para determinar a estimativa da erosividade das chuvas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. - Controle de qualidade, preenchimento das falhas e uso da imputação de dados

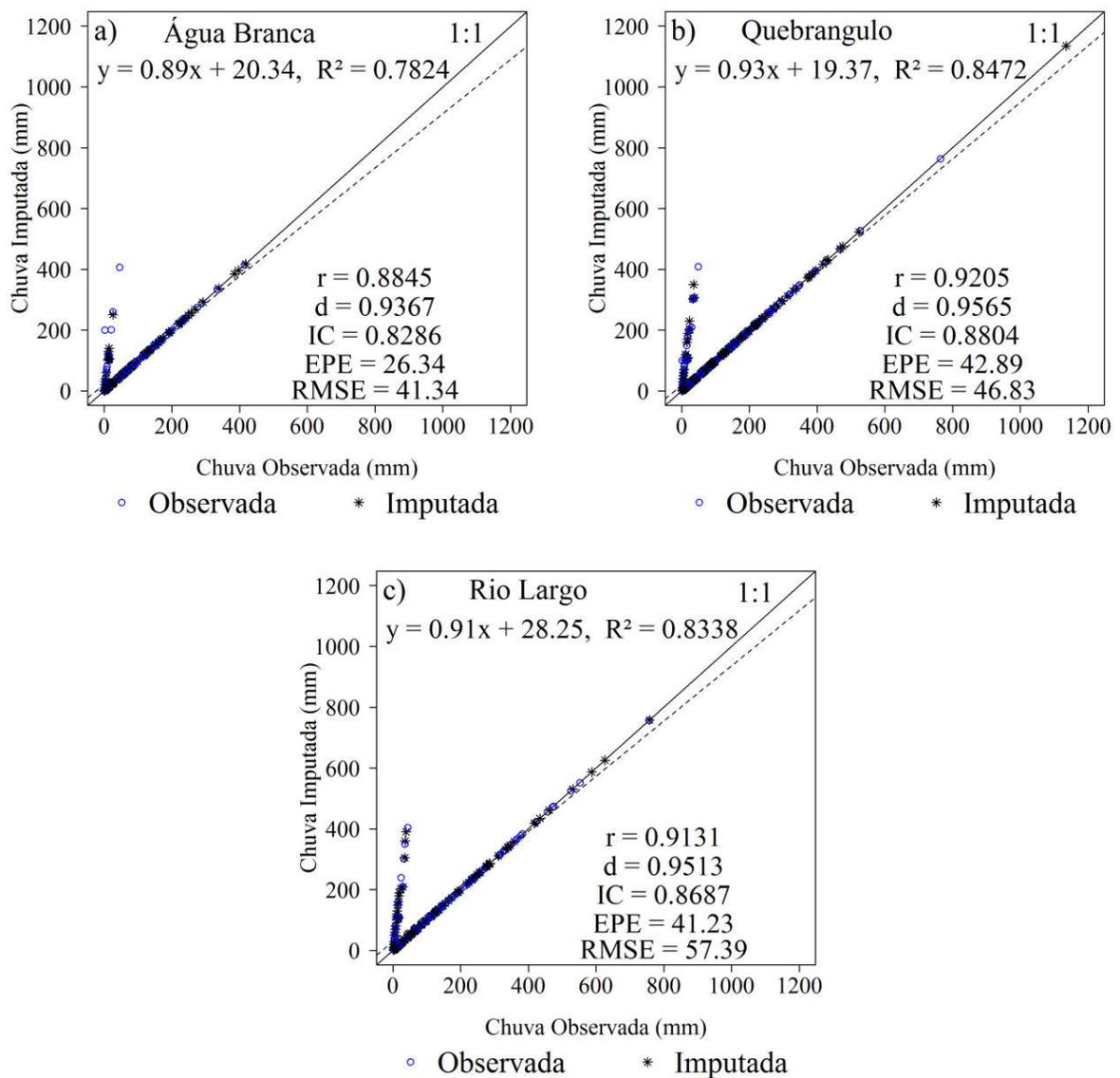
A contabilização das falhas das estações pluviométricas (Tabela 1) nas mesorregiões climáticas do estado de Alagoas mostrou a soma total de 57,41% de falhas na série temporal de 56 anos. Em relação as mesorregiões, no Leste Alagoano foram computadas 31 estações com percentual de falhas entre 0,29 e 76,32 %, seguido do Sertão com 12 estações e um percentual de falhas entre 0 e 63,60 % e o 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 3.3).

O desempenho do método de imputação foi avaliado segundo os indicadores estatísticos (item 3.7). 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. 3), 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 a 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 município de Resende, região do Médio Paraíba – Rio de Janeiro, com resultados satisfatórios. Santos Silva et al. (2019) utilizaram 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  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), das partículas totais em suspensão (PTS) e do Ozônio ( $\text{O}_3$ ) em Volta Redonda- Rio de Janeiro, no período de 2013 a 2015, sendo  $R^2 = 85\%$  e  $r > 0,9$ .

**Figura 3.** 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).



Fonte: Autoria própria (2021)

#### 4.2. - Validação dos métodos de interpolação

A análise do desempenho dos métodos de interpolação via Krigagem (Krigagem Ordinária (KO), Krigagem Simples (KS) e Krigagem Universal (KU)) entre os observados e imputados é exibida na Fig. 4. A avaliação do desempenho dos modelos de interpolação espacial da erosividade das chuvas no estado de Alagoas foi baseada nos seguintes indicadores estatísticos: a RMSE (*Root Mean Square Error* - Raiz do Erro Quadrático Médio) e os coeficientes de concordância ( $R^2$ ), e de correlação de Pearson ( $r$ ), com intuito de definir qual(is) os melhores métodos a se utilizar para determinar a estimativa da erosividade das chuvas. Além disso, foi aplicada a estatística descritiva baseado nos seguintes parâmetros (mínimo, máximo, média, desvio padrão - DP, variância e coeficiente de variação - CV%).

Na Tabela 5 observam-se os resultados da análise estatística dos métodos de interpolação (KO, KS e KU). Os métodos Spline e IDW (item 3.6) foram excluídos das análises, em virtude dos coeficientes  $R^2$  e  $r$  que obtiveram valores igual a 1 no diagrama de espalhamento.

Com base nos indicadores estatísticos aplicados aos três métodos de interpolação mostraram baixa dispersão no diagrama 1:1, confirmado pelo coeficiente  $R^2$ , com variações entre 0,8505 e 0,8707 para os métodos KS e KO, respectivamente. Vale ressaltar que os valores obtidos neste estudo foram superiores aos obtidos por Trindade et al. (2016), com  $R^2$  igual a 0,83 no mapeamento da erosividade das chuvas para todo o Brasil. Portanto, neste estudo a condição análoga entre os métodos KU e KO que apresentaram  $R^2 = 0,8707$ . De modo geral, houve menor dispersão dos dados, pois observa-se o não paralelismo na reta de regressão (1:1) entre os observados e imputados em todos os três métodos de interpolação de erosividade. Vale ressaltar quanto menor o desvio da reta 1:1, maior a concordância entre os dados observados e os estimados (MARCUIZZO et al., 2011; COSTA et al., 2019). O desempenho dos métodos de Krigagem, Fig. 4(a), 4(b) e 4(c), mostraram 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.

Os coeficientes  $r$  obtidos mostraram alta correlação entre observado e estimado em todos os métodos avaliados, com  $r \geq 0,9$ , principalmente o método KO. A RMSE apresentou similaridade entre os métodos KO e KU em relação ao erro obtido, e exceção foi o KS (810,46 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) - (Tabela 5). O menor RMSE identificado no estudo foi o método KO (775,224

MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>), juntamente com os coeficientes R<sup>2</sup> e r corroboram na definição de KO como o método de interpolação a ser utilizado na espacialização da erosividade das chuvas no estado de Alagoas. O método KO apresentou resultados similares entre a média, a variância e o desvio padrão. E, por fim o CV% apresentou variação média, conforme classificação de Warrick e Nielsen (1980), que classificam a série temporal da seguinte forma: variabilidade baixa (CV < 12%); média (12% < CV < 60%) e alta (CV > 60%).

**Tabela 5.** Análise estatística dos métodos de interpolação espacial.

Parâmetros Estatísticos	Métodos de interpolação		
	KO	KS	KU
Mínimo	3824,79	3934,37	3824,15
Mediano	6325,78	6445,55	6325,77
Máximo	9949,58	9994,16	9949,45
Média	6354,43	6487,39	6354,65
Variância	2830780	2831909	2831909
DP	1682,49	1698,58	1682,83
CV%	26,4774	26,1828	26,4818
RMSE	775,224	810,46	775,23
R <sup>2</sup>	0,8707	0,8505	0,8707
r	0,9331	0,9222	0,9331

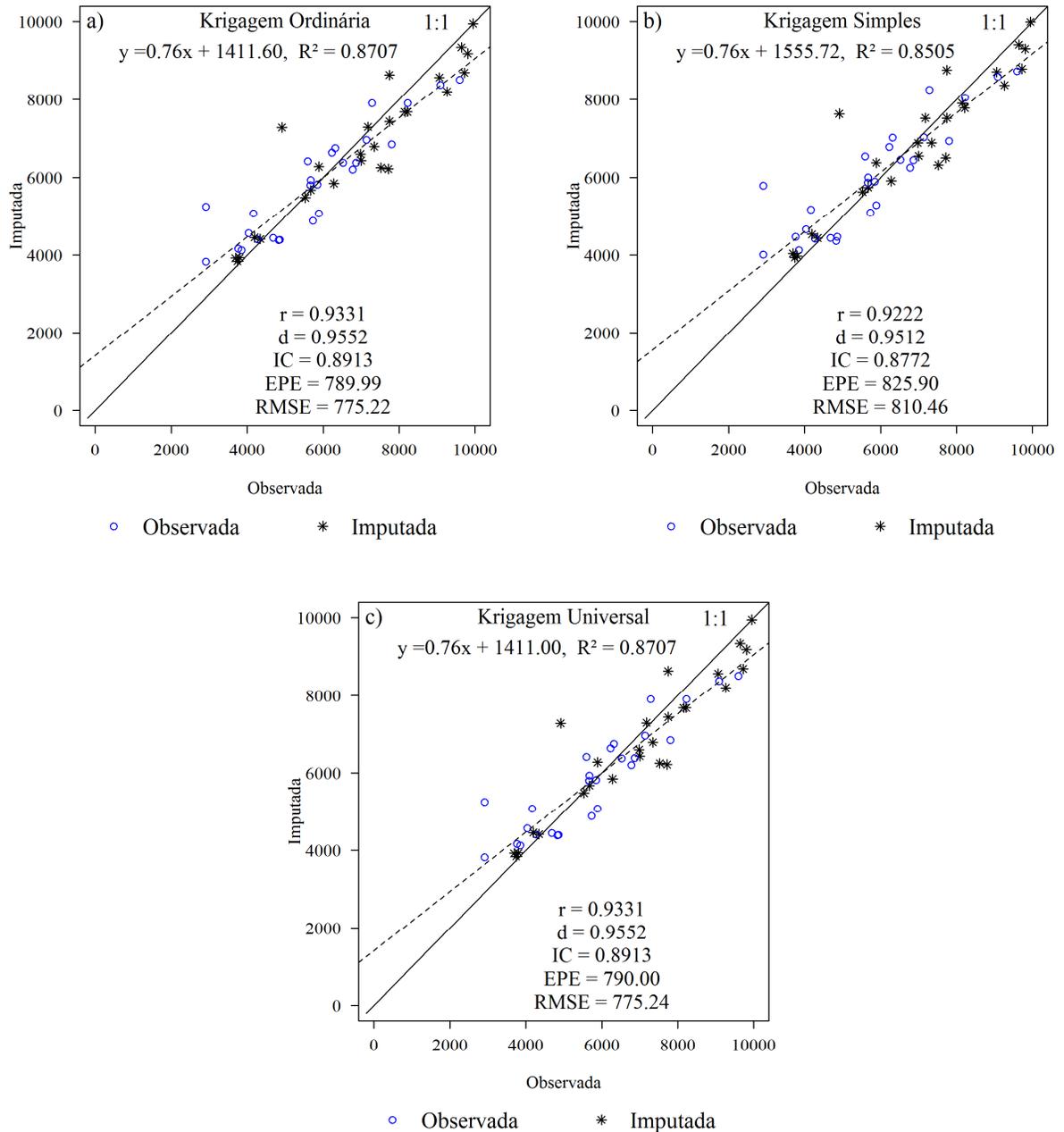
Fonte: Autoria Própria (2021)

Salienta-se que o método de Krigagem tem sido recentemente usado no mapeamento da erosividade no Brasil e no Mundo, com resultados satisfatórios (PANAGOS et al., 2015; TERASSI et al., 2019; TERASSI et al., 2020).

Destaque para os coeficientes de R<sup>2</sup> = (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 5) 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

MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e RMSE = 810,46 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e KU (EPE = e 790,00 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e RMSE = 775,24 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), a exceção foi a KO menores valores dos EPE = (789,99 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e RMSE = (775,22 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), 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<sup>2</sup> = 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.

**Figura 4.** 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  $RMSE$  ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

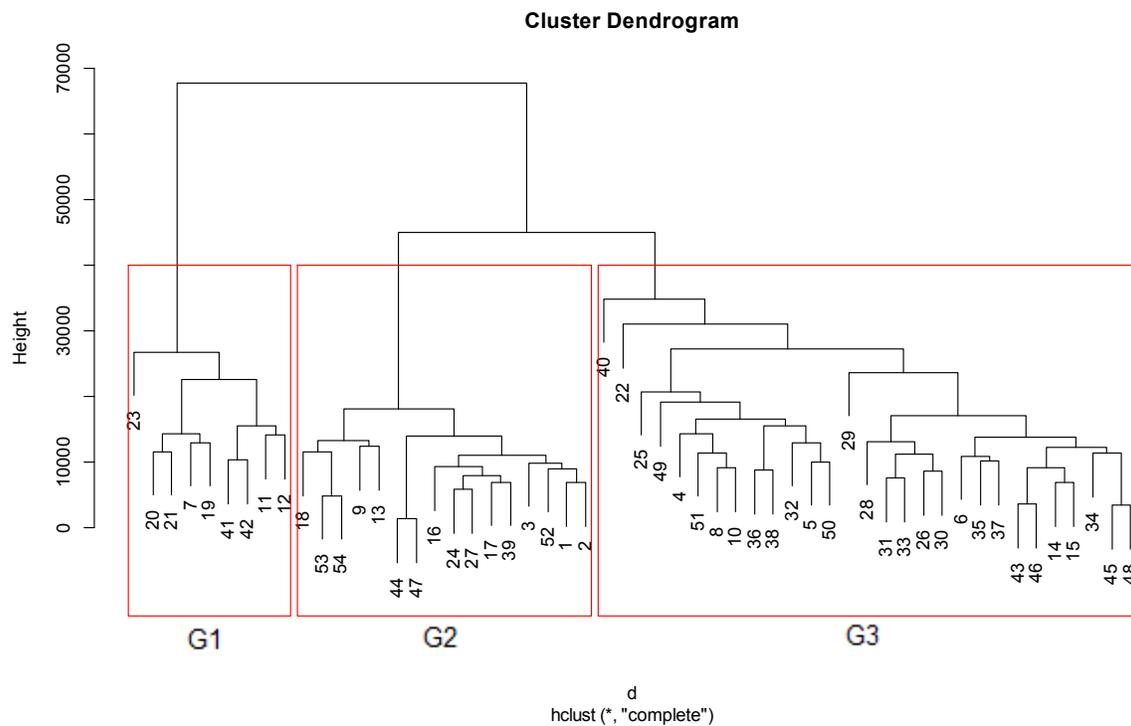


Fonte: Autoria Própria (2021)

### 4.3. – Análise de agrupamento aplicada à erosividade

A análise de *clusters* (AA) via dendrograma identificou três grupos homogêneos de erosividade das chuvas ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) em Alagoas (Figura 5).

**Figura 5.** Dendrograma dos três grupos homogêneos ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) da erosividade das chuvas do estado de Alagoas.

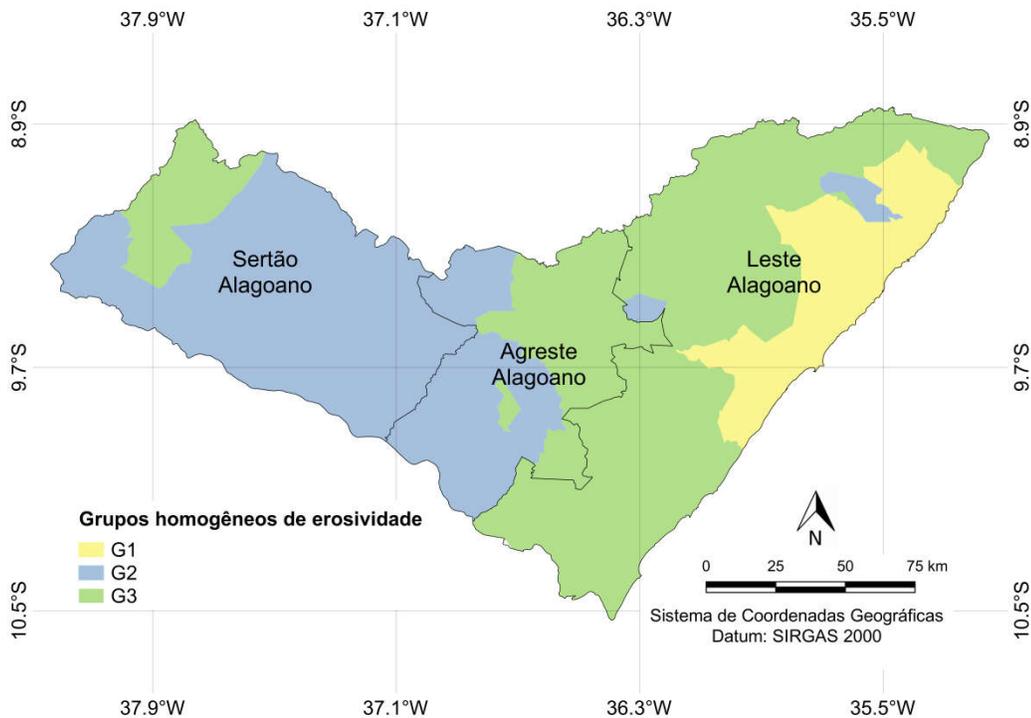


Fonte: Autoria Própria (2021)

O *CCC* foi aplicado nos setes métodos de ligação (**Apêndice**), sendo identificados os mais adequados no estudo, o Average (0,739) e Complete (0,718), com *CCC* > 0,7. Os demais métodos foram descartados, devido *CCC* < 0,7 e, assim inadequados (ROHLF, 1970; BARROSO e ARTES, 2003; CRUZ e CARNEIRO, 2003). Diante disso, optou-se por utilizar o método de ligação Complete por representar a distribuição espacial da erosividade de forma mais homogênea (Figura 6).

Os resultados obtidos na literatura para o estado de Alagoas apontam diferenças significativas entre o número ideal de grupos homogêneos. Por exemplo, Souza et al. (1992) utilizaram uma série de dados pluviométricos superior a 30 anos, e identificaram quatro grupos homogêneos, ao contrário de Lyra et al. (2014), com séries temporais pluviométricas entre 20-30 anos (1961-1990) detectaram que o número ideal seria cinco grupos homogêneos. No entanto, ambos os estudos não validaram a técnica AA a partir de CCC e, ainda usaram número de estações e séries temporais inferiores a este estudo, assim como o preenchimento de falhas (regressão linear) foi diferente em relação ao do estudo (imputação de dados). Porém, vale destacar que Costa et al. (2020) validaram a técnica AA com o uso de CCC nos dados de precipitação do estado de Alagoas, no mesmo período desse estudo, identificando dois grupos homogêneos de precipitação, fato este, que incentivou o estudo da erosividade nessa pesquisa.

**Figura 6.** Distribuição espacial dos grupos homogêneos ( $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$ ) quanto à erosividade nas mesorregiões climáticas do estado de Alagoas.

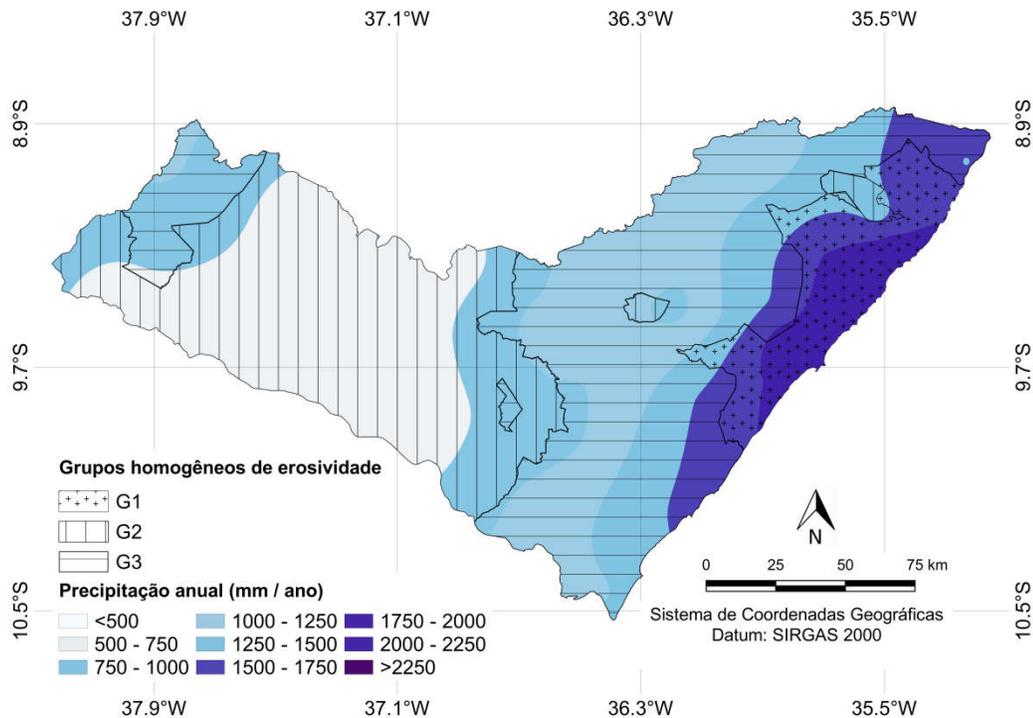


Fonte: Autoria Própria (2021)

Espacialmente, os grupos formados seguiram características específicas quanto às mesorregiões climáticas (Figura 6) e o regime de chuva no Estado (Figura 7). O grupo  $G_1$  ( $9.732,4 \pm 2.286,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) é menor grupo formado com 9 estações (Figura 8), estando inserido totalmente na mesorregião climática do Leste Alagoano (Figura 6), com média anual das chuvas entre 1000 e 2500 mm (Figura 7) (BARROS et al., 2012). A erosividade média anual e o desvio padrão no grupo  $G_1$  foram maiores em relação aos demais grupos, isso se deve aos maiores registros de chuva no Estado em virtude da proximidade da costa e da interação da chuva com topografia costeira (Figura 1) - (LYRA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2018; COSTA et al. 2020).

O grupo  $G_2$  é o segundo maior grupo com 16 estações ( $3.805,13 \pm 1.539,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) está inserido nas mesorregiões do Agreste e Sertão Alagoano, sua maior parte, encontra-se inserida nas regiões de condições semiáridas com clima seco e quente, além de possuir duas estações que são pertencentes ao Leste Alagoano (Figura 6) (Pindoba – ID47 e Matriz do Camaragibe – ID9), e chuva média anual entre 500 e 1000 mm (Figura 7) (BARROS et al., 2012). O grupo  $G_3$  é o maior grupo formado por 29 estações e com maior abrangência no Estado ( $6.777,7 \pm 2.052,9 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), e estão inseridas em sua maior parte na mesorregião climática do Leste Alagoano (Figura 6), similar o grupo  $G_1$ , e outra parte inserida na mesorregião climática do Agreste Alagoano, apresentando uma pluviosidade média anual entre 750 e 1.750 mm (Figura 7) (BARROS et al., 2012) e com duas estações no Sertão Alagoano (Água Branca – ID43 e Mata Grande – ID45).

**Figura 7.** Distribuição pluviométrica anual (mm) do estado de Alagoas.



Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 4.4. – Estatística descritiva e exploratória da erosividade

Na Tabela 6 encontram-se os índices de erosividade das chuvas no estado de Alagoas. A erosividade média mensal das chuvas variou entre 87,05 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> (novembro) a 1.233,54 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> (junho) - (Tabela 6). O mês com menor erosividade foi outubro (34,26 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) na estação de Batalha, enquanto que o maior valor de erosividade mensal foi 2.215,92 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> na estação de Satuba (junho). A erosividade média anual das chuvas (Fator R) no período estudado foi de 6.354,43 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo classificada como uma erosividade de intensidade moderada a forte segundo CARVALHO (2008). As erosividades médias anuais variaram entre 2.910,22 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 11.469,80 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> classificadas como moderada e muito forte, respectivamente.

**Tabela 6.** Índice de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) mensal e anual das 54 estações pluviométricas do estado de Alagoas.

Estação	Índice de erosividade da chuva												Anual
	Mensal												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
	MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>											MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	
Água Branca	213,8	287,5	632,1	748,4	1059,1	962,9	1000,8	279,7	126,5	85,4	82,1	252,5	5730,9
Anadia	85,1	328,7	565,2	994,3	1349,4	1251,5	810,1	373,3	263,5	94,1	71,3	95,9	6282,3
Arapiraca	91,2	130,9	370,4	535,1	950,5	898,1	635,4	203,9	156,3	59,2	38,5	93,1	4162,4
Atalaia	131,6	228,3	490,8	817,7	1245,3	1595,7	1410,5	597,5	326,9	183,5	63,2	87,3	7178,2
Batalha	110,3	242,7	595,5	561,9	746,5	651,7	504,5	96,7	76,4	34,3	82,3	145,5	3848,2
Cacimbinhas	194,8	241,1	397,0	525,2	820,0	772,4	646,9	199,1	126,8	173,4	62,8	184,4	4343,8
Canapi	258,6	214,9	271,2	498,7	541,3	384,2	325,4	103,6	41,7	47,9	111,9	115,0	2914,6
Capela	189,3	270,5	478,1	664,1	1170,8	1608,6	1329,4	542,2	240,4	195,9	109,1	185,7	6984,0
Colônia Leopoldina	187,5	304,4	635,1	754,2	766,6	1095,0	1127,5	578,6	337,3	152,7	80,3	210,1	6229,3
Coruripe	115,3	406,7	877,9	1565,6	1583,8	1348,3	913,0	364,9	282,4	119,7	77,1	93,1	7747,9
Delmiro Gouveia	392,5	470,0	703,0	428,1	414,6	406,0	353,1	85,8	61,8	39,8	117,2	293,9	3765,7
Flexeiras	196,0	273,6	591,5	1205,2	1701,3	2014,6	2073,6	807,7	394,4	226,7	68,0	171,1	9723,6
Ibateguara	252,2	297,2	572,0	679,4	953,8	954,4	976,2	293,9	135,9	109,4	116,2	257,3	5598,0
Igaci	200,0	221,8	357,6	1061,5	2071,3	1479,4	1019,4	490,3	221,2	237,4	48,8	115,8	7524,6
Igreja Nova	122,4	245,5	508,4	918,6	1548,1	1294,7	1029,2	479,7	216,0	206,9	77,9	133,8	6781,4
Jacuípe	337,2	316,1	610,8	856,7	1409,5	1668,0	1606,6	696,0	301,5	132,0	93,6	125,1	8153,1
Junqueiro	62,9	186,9	411,6	913,3	1226,2	1135,4	854,9	381,3	202,5	85,8	109,2	98,5	5668,6
Lagoa da Canoa	84,3	180,4	565,8	756,9	1214,7	1108,7	883,9	335,7	212,2	86,0	86,9	158,5	5674,0
Limoeiro de Anadia	70,4	162,1	480,5	722,8	1182,0	1263,4	937,8	394,9	233,6	92,1	53,9	70,5	5664,2
Maceió	241,2	288,2	680,3	1439,7	2023,2	1911,2	1683,9	735,4	473,0	243,1	117,4	108,8	9945,4
Major Isidoro	130,7	352,8	573,2	677,8	783,6	659,9	530,5	148,3	92,0	60,9	52,7	215,4	4277,8
Mar Vermelho	174,7	167,0	435,4	743,9	1261,9	1483,0	1494,4	632,2	294,4	180,9	45,6	91,0	7004,6
Maragogi	287,1	343,2	666,5	1068,4	1269,9	1206,5	1402,1	535,7	190,4	115,4	91,7	113,5	7290,6
Marechal Deodoro	179,6	252,7	661,7	1372,9	1994,9	2178,9	1718,7	584,0	311,0	183,4	69,5	131,7	9639,1
Mata Grande	230,7	368,8	684,4	630,5	996,1	1005,3	1144,3	350,3	146,2	79,7	66,1	185,8	5888,3

Matriz do Camaragibe	302,2	283,4	374,5	411,2	587,4	790,8	687,1	398,3	350,3	244,0	227,9	257,7	4914,9
Minador do Negrão	130,8	223,2	379,5	546,6	821,8	715,3	662,7	218,2	80,5	94,4	37,5	130,9	4041,4
Murici	168,2	242,6	556,9	939,6	1514,9	1677,1	1682,0	761,2	311,5	159,9	89,3	115,2	8218,5
Olho D'água das Flores	176,1	305,4	457,6	639,5	1031,8	926,9	749,5	217,8	104,8	78,5	68,7	70,4	4826,9
Olho D'água do Casado	278,8	313,7	526,9	387,7	554,2	548,2	587,8	106,1	71,4	40,2	78,3	200,4	3693,5
Palmeira dos Índios	179,5	234,5	386,1	669,7	1144,3	1194,7	1123,4	423,3	170,4	135,2	48,2	140,9	5850,2
Pão de Açúcar	287,8	276,6	413,2	430,4	630,7	591,4	535,3	201,3	122,0	75,2	74,9	165,2	3804,0
Passo de Camaragibe	286,8	302,8	909,0	1505,0	1626,7	1854,4	1518,2	832,5	347,9	172,6	117,1	123,5	9596,6
Penedo	159,3	204,8	455,0	1154,9	1637,6	1427,0	1105,1	510,4	258,2	266,7	85,4	82,2	7346,7
Piaçabuçu	138,2	197,0	514,1	1085,1	1379,8	1080,9	827,0	416,6	226,1	211,5	94,6	144,9	6315,7
Pilar	441,2	183,9	492,1	1182,6	1804,2	1870,8	1538,9	683,7	410,8	200,9	96,0	155,5	9060,4
Pindoba	273,7	218,3	245,2	463,8	523,0	388,7	326,0	117,1	46,6	58,7	126,2	122,9	2910,2
Piranhas	383,2	267,1	604,3	397,3	527,0	462,5	416,9	144,0	62,3	57,4	64,9	356,5	3743,5
Poço das Trincheiras	307,4	387,6	525,3	544,5	703,4	850,9	785,3	284,1	111,9	74,6	83,8	200,4	4859,1
Porto Calvo	311,0	366,5	828,1	1175,3	1563,1	1968,4	1409,8	770,1	315,2	179,6	120,5	255,1	9262,6
Porto de Pedras	256,4	372,6	1117,8	1403,4	1469,4	1729,3	1539,5	616,1	253,9	133,3	88,3	108,0	9088,0
Porto Real do Colégio	125,1	115,1	374,6	695,9	1109,7	1047,4	1036,4	429,4	209,4	188,7	71,9	126,0	5529,7
Quebrangulo	181,6	237,1	444,3	856,6	1094,9	1335,8	1363,0	654,2	266,5	182,9	62,5	181,3	6860,7
Rio Largo	128,0	180,2	450,6	1016,1	1573,7	1690,6	1276,5	741,7	402,8	146,4	73,3	62,5	7742,3
Santana do Ipanema	222,3	252,5	518,4	536,9	762,7	874,3	784,2	325,3	111,3	74,7	102,4	116,9	4681,9
Santana do Mundaú	268,6	376,5	634,0	572,7	939,7	1009,9	1135,4	386,9	160,9	110,8	101,5	191,0	5887,9
São José da Laje	201,4	204,7	484,4	754,4	1020,6	1724,7	1669,8	1003,8	364,2	156,6	86,4	135,2	7806,2
São Luiz do Quitunde	311,5	399,3	745,9	1223,9	1499,9	1793,8	1665,8	862,4	570,5	329,4	148,3	255,2	9806,2
São Miguel dos Campos	114,1	326,3	708,5	1463,2	1709,4	1637,2	1071,3	503,4	364,2	134,3	66,9	122,7	8221,4
Satuba	275,1	238,0	690,4	1564,0	2180,2	2215,9	2144,6	923,7	549,5	320,4	116,3	251,7	11469,8
Tanque D'Arca	134,4	211,6	380,5	899,2	1308,5	1323,1	1189,2	482,5	291,1	131,8	65,7	103,1	6520,7
Traipu	137,0	149,8	407,7	736,3	792,1	744,1	515,5	219,0	162,6	111,2	83,6	134,8	4193,6
União dos Palmares	150,9	182,1	459,9	762,2	1337,2	1378,5	1530,9	697,3	248,9	182,6	117,6	90,6	7138,7
Viçosa	199,7	310,5	669,4	821,8	1366,1	1420,5	1380,0	709,4	360,8	177,8	109,5	189,3	7714,9

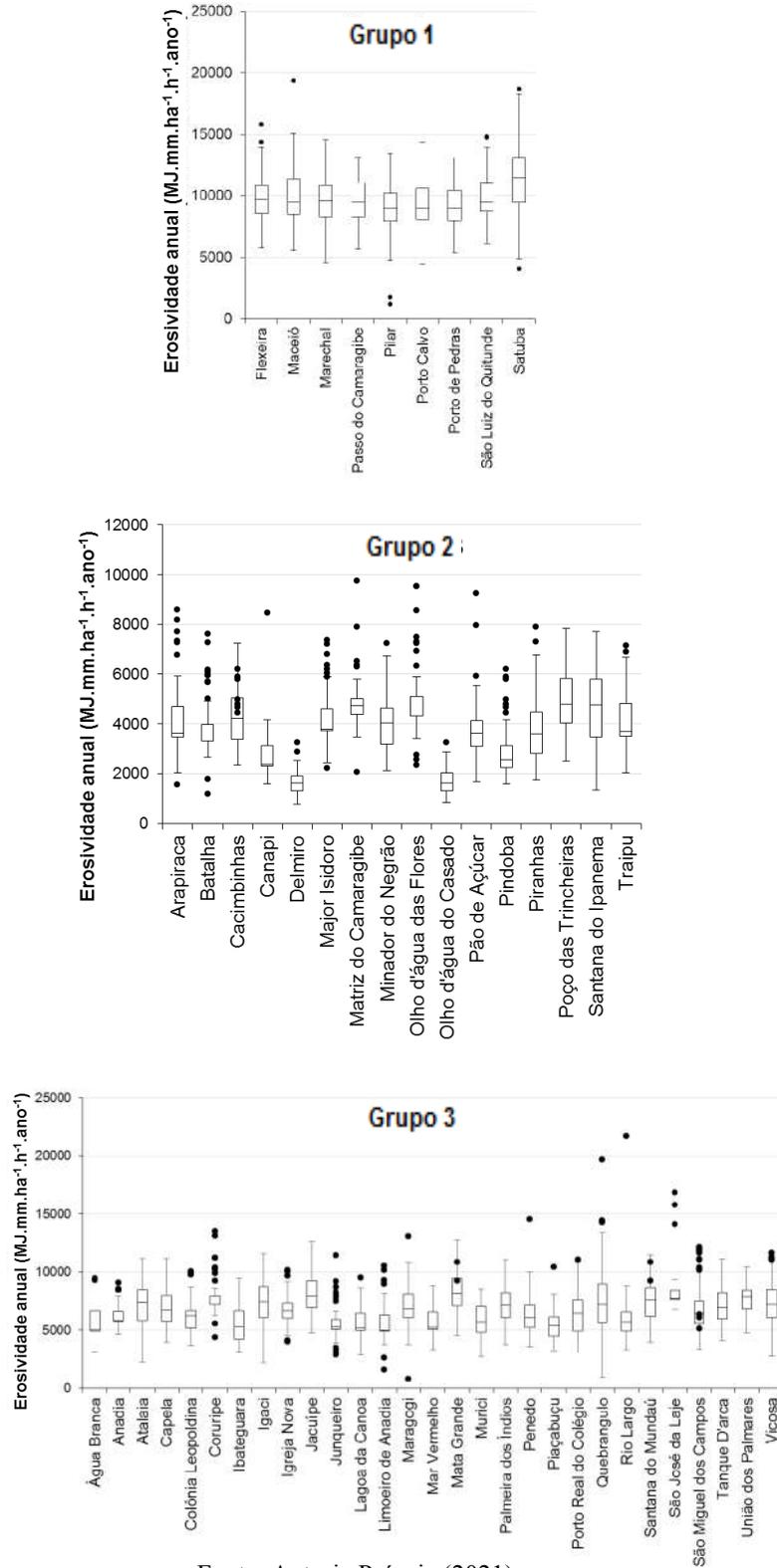
Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Figura 8 estão representados os boxplots por grupos homogêneos de erosividade. No grupo  $G_1$  o conjunto de dados apresentou simetria satisfatória, representada pela linha mediana, isto se deve à distribuição de chuvas anual e ao maior registro de chuva no Leste Alagoano e sua proximidade do ambiente costeiro (BARROS et al., 2012; LYRA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2018; COSTA et al., 2020). Os valores de erosividade média anual correspondem a 10.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com valores próximos a 15.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (máximo) e 5.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (mínimo), seguido de valores extremos (*outliers*) principalmente nas estações de Maceió (ID19) e Satuba (ID23) – (Tabela 1). Vale ressaltar que estas estações estão próximas da Lagoa Mundaú e do ambiente costeiro e, portanto, há uma conjugação das circulações da brisa marítima/terrestre e da lagoa (LYRA et al., 2014) e, ainda pela variabilidade interanual e decenal da chuva identificada anteriormente na literatura (DA SILVA et al., 2010; LYRA et al., 2017).

O grupo  $G_2$ , ao contrário do grupo  $G_1$ , não apresentou simetria satisfatória em relação ao conjunto de dados, isso se deve à distribuição de chuvas irregular durante o ano (Figura 5), principalmente na mesorregião do Sertão Alagoano (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2014). Os valores de erosividade média anual foram baixos em comparação aos grupos  $G_1$  e  $G_3$ , se concentraram na faixa próxima a 4.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com valores próximos a 7.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (máximo) e mínimo abaixo de 1.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Novamente ocorreu *outliers*, destaque para as estações de Matriz do Camaragibe, Olho D'água das Flores (ID18) e Pão de Açúcar (ID52), com extremos próximos de 10.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Tais extremos identificados se devem a interação dos fatores fisiográficos, por exemplo, a proximidade do Rio São Francisco e com a topografia contribuem para ocorrência de chuvas orográficas e convecção local (MOLION; BERNARDO, 2002; LYRA et al., 2014).

O grupo  $G_3$  similar ao grupo  $G_2$ , não apresentou simetria satisfatória em relação ao conjunto de dados, os valores de erosividade média anual se concentravam na faixa próxima a 7.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com valores próximos a 10.000  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (máximo) e 2.500  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (mínimo). Novamente, ocorreram diversos *outliers*, principalmente nas estações de Rio Largo (ID22), Quebrangulo (ID29) e Maragogi (ID40) – (Tabela 1), com valores próximos de zero. As estações citadas sofrem com períodos de estiagem prolongada e até mesmo com secas frequentes (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; CARVALHO et al., 2013; COSTA et al., 2020).

**Figura 8.** Boxplot das erosividades médias anuais ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) dos grupos  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  no Estado de Alagoas no período de 1960 – 2016.



Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 4.5. – Mapas de isoerosividade de Alagoas

A partir da definição do método do KO foram confeccionados mapas mensais e anuais da erosividade da chuva no estado de Alagoas. Nas Figuras 9, 10 e 11 estão representados os valores de erosividade mensal. Os mapas mensais foram separados quanto à distribuição de chuva no Estado, em período seco (Figura 9) (outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro), chuvoso (Figura 10) (abril, maio, junho e julho) e transição (Figura 11) (março, agosto e setembro), com base no estudo realizado anteriormente por Lyra et al. (2014).

Nos meses correspondentes ao período seco (Figura 9), os maiores valores de erosividade ocorrem de forma distribuída entre os meses de janeiro e fevereiro nas mesorregiões climáticas Leste Alagoano e Sertão Alagoano, deve-se destacar também os meses de outubro e novembro, que apresentaram os menores valores de erosividade para o período, principalmente no Sertão Alagoano inferior a  $34 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Já nos meses de transição (Figura 11) os maiores valores da erosividade se concentraram no Leste Alagoano e tiveram variação entre 400 e 900  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Exceções foram apresentadas no Sertão Alagoano onde a erosividade mensal variou entre 70 e 95  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$  no mês de setembro. Vale salientar que o período de transição possui erosividades mensais com valores maiores em relação ao período seco. Alguns sistemas meteorológicos que influenciam para a variabilidade da chuva e, conseqüentemente da erosividade nos períodos seco e de transição no estado de Alagoas, são aos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), sem região preferencial ocorrendo no período de dezembro a março (PONTES DA SILVA et al., 2011; LYRA et al., 2014); VCAN concomitantemente com a penetração de Sistemas Frontais (SF), presentes na costa Leste e Interior do Estado (MOSCATI E GAN, 2007; LYRA et al., 2014; MOURA et al., 2020); e Alta da Bolívia (AB) juntamente com posição migratória da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), no período de outubro a janeiro (KOUSKY E GAN, 1981; RAO et al., 1997; LYRA et al., 2014). Nos meses do período chuvoso (Figura 10), os maiores valores de erosividade estão concentrados na mesorregião Leste Alagoano, onde se concentram os maiores registros de chuva e a proximidade com o ambiente costeiro (BARROS et al., 2012; LYRA et al., 2014; COSTA et al., 2020), fato que justifica esses resultados. Os valores de erosividade para o período variou entre 1425 e 2200  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ .

Dentro do estudo, pode-se destacar algumas estações por apresentarem alta variabilidade da erosividade mensal no período em questão. No período seco (Figura 9), as estações

pluviométricas de Batalha (ID16), com valor de erosividade de  $34,3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$  menor registro do mês de outubro e Delmiro Gouveia (ID1) com  $470,0 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$  maior valor e erosividade para o mês de fevereiro, destacam-se das demais, e ambas inseridas na mesorregião Sertão Alagoano.

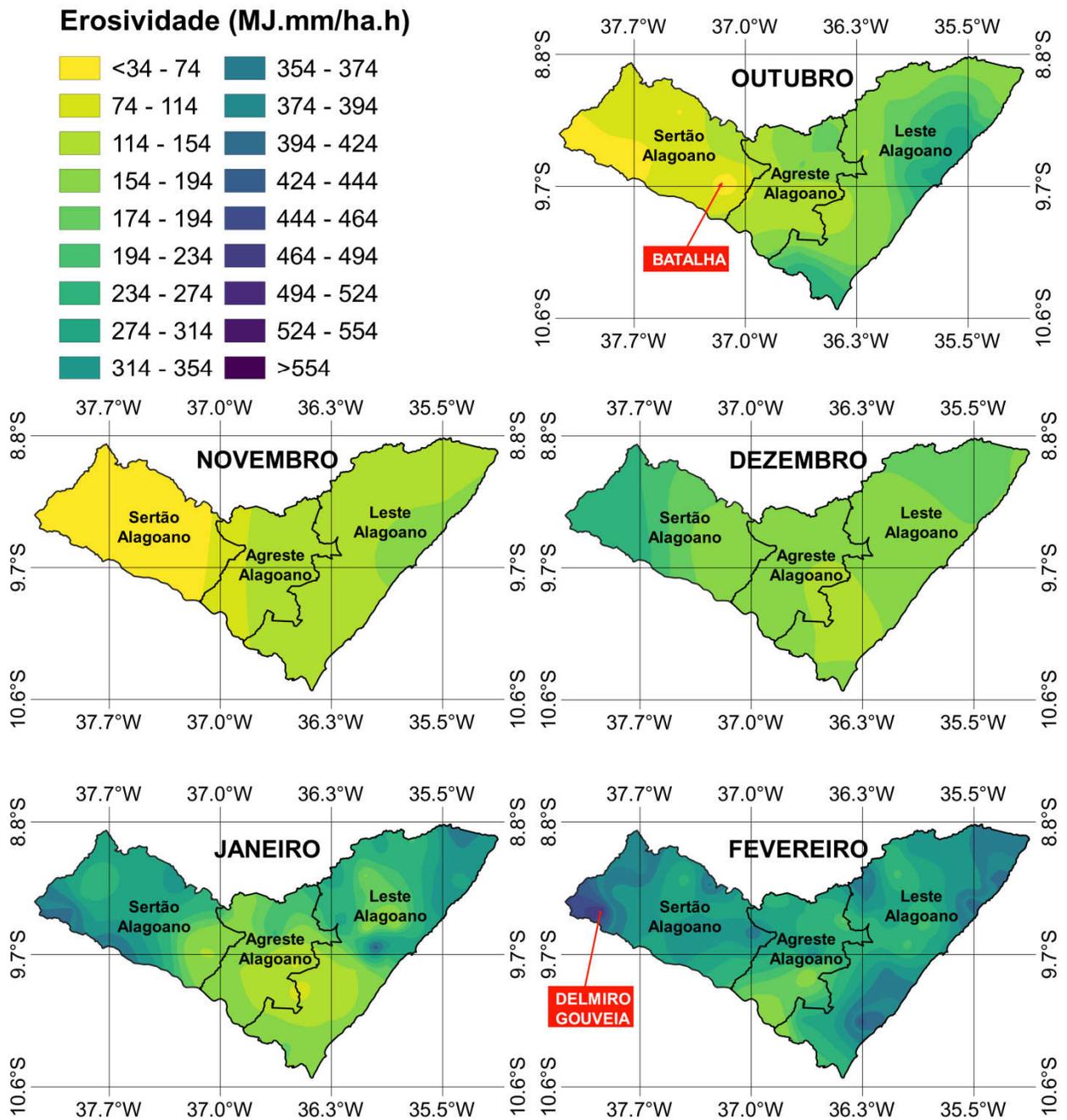
No período mais chuvoso (Figura 10), se destacaram as estações de Canapi (ID44) com  $325,4 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , menor valor para o período, esta pertencente à mesorregião Sertão Alagoano e Satuba (ID23)  $2.215 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , sendo o maior valor de erosividade mensal, estação do Leste Alagoano.

Novamente, a estação de Canapi aparece com o menor valor de erosividade, agora dentro do período de transição (Figura 11)  $41,7 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , seguida da estação de Porto de Pedras (ID42) que está localizada no Leste Alagoano e apresentou o maior valor  $1.117,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Em todas as estações citadas houve alta variabilidade da erosividade mensal devido a fatores fisográficos (relevo, continentalidade e maritimidade) e também função da atuação dos sistemas meteorológicos em multiescala que interferem na dinâmica do regime de chuvas do estado de Alagoas (MOLION E BERNARDO, 2002; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2014)

- Mensal

Período seco

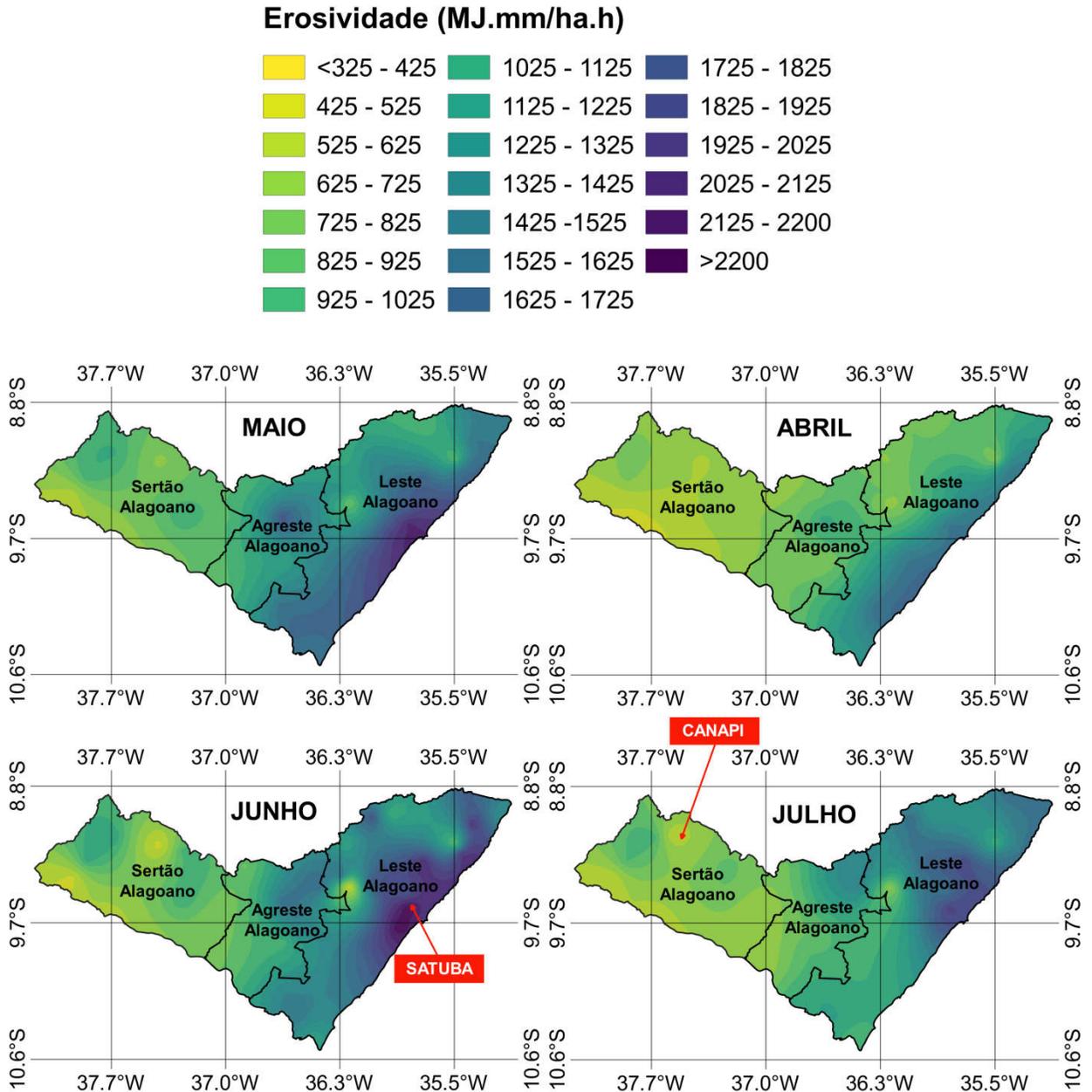
**Figura 9.** Erosividade média mensal ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) no período seco, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016.



Fonte: Autoria Própria (2021)

## Período chuvoso

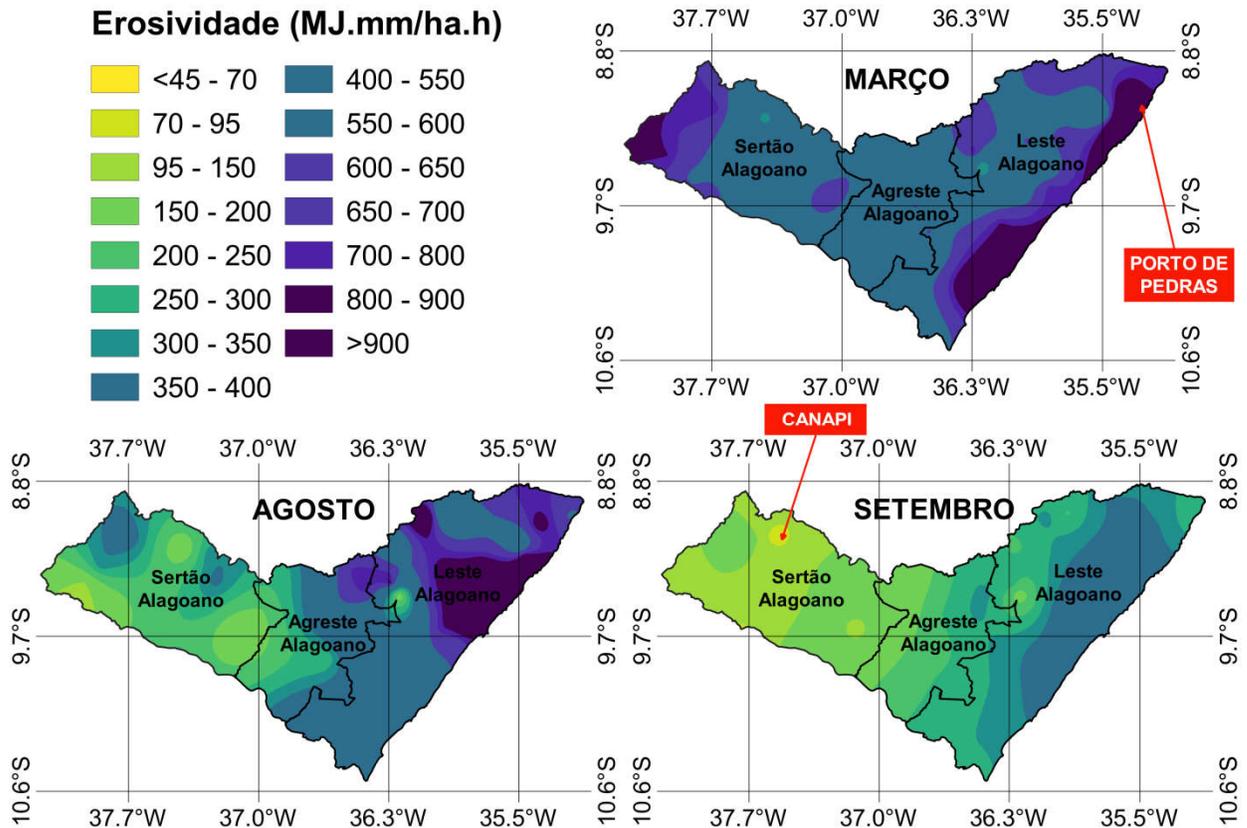
**Figura 10.** Erosividade média mensal ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) no período chuvoso, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016.



Fonte: Autoria Própria (2021)

### Período transição

**Figura 11.** Erosividade média mensal ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) no período de transição, no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016.



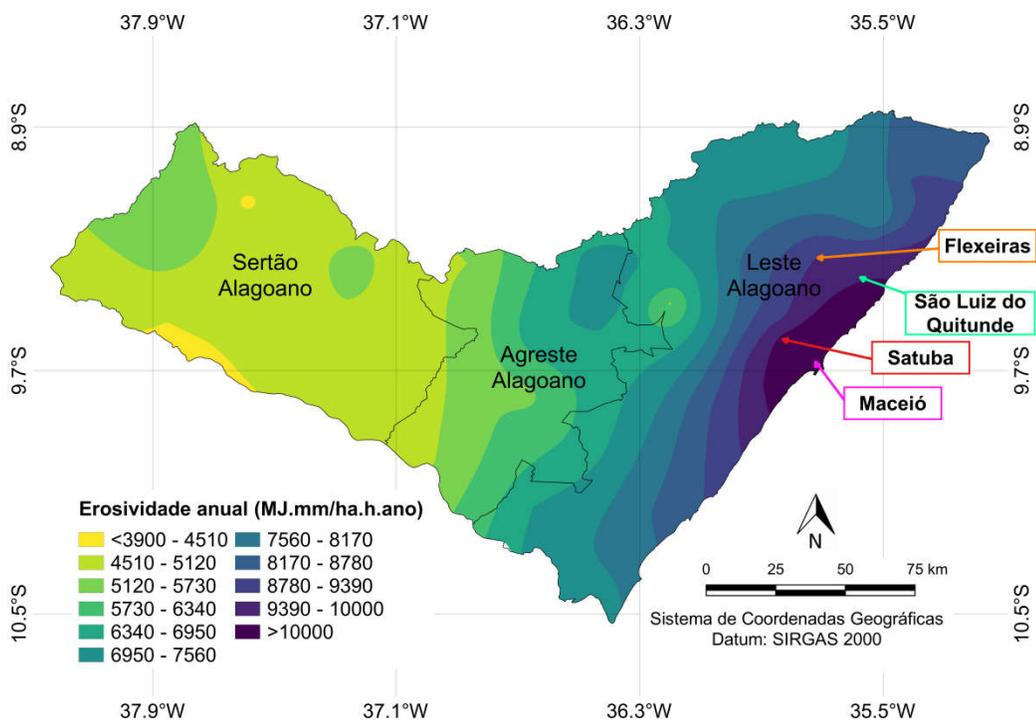
Fonte: Autoria Própria (2021)

- **Anual**

A série histórica (1960-2016) da erosividade média anual no estado de Alagoas (Figura 12) variou entre  $2.910,2 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Moderada) a  $11.469,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Muito Forte), conforme a Tabela 2. Os maiores valores encontrados para o período de 56 anos foram  $11.469,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Satuba ID23),  $9.945,4 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Maceió ID19),  $9.806,2 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (São Luiz do Quitunde ID12) e  $9.723,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Flexeiras ID7), 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 Manguaba) que contribuem para os maiores registros 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 (DA SILVA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2018).

**Figura 12.** Erosividade média anual ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) no estado de Alagoas no período de 1960 – 2016.

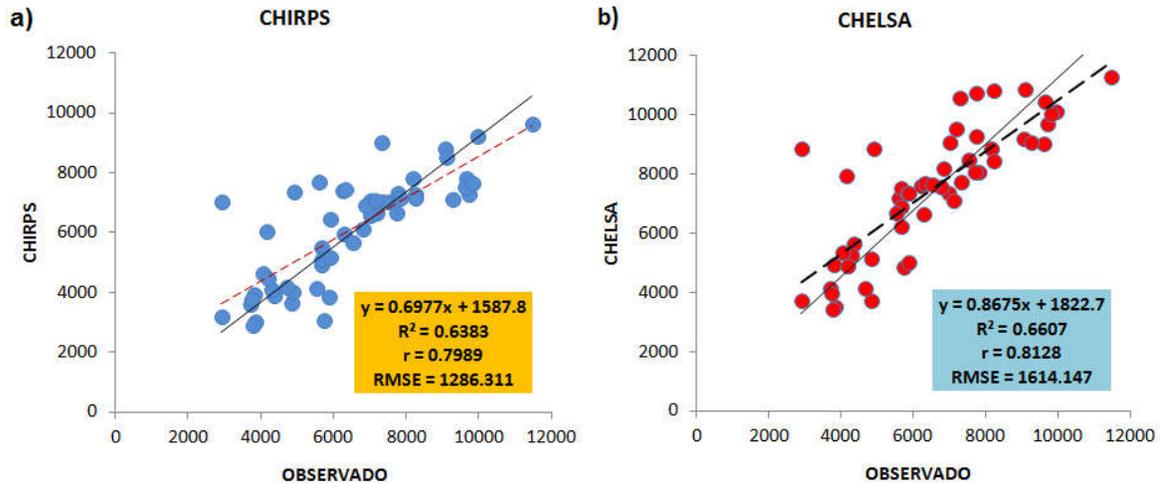


Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 4.6. Validação dos produtos CHIRPS e CHELSA

Analogamente aos dados, houve menor dispersão dos dados, pois se observa o não paralelismo na reta de regressão (1:1) entre os observados (pluviômetros) e os resultados dos dois produtos (CHIRPS e CHELSA). Vale ressaltar mais uma vez que quanto menor o desvio da reta 1:1, maior a concordância entre os dados observados e os estimados (MARCUIZZO et al., 2011; COSTA et al., 2019). O desempenho dos produtos CHIRPS e CHELSA, Fig. 13 (a) e (b), mostraram similaridade aceitável entre os produtos utilizados e o método adotado no estudo.

**Figura 13.** Diagrama de dispersão (1:1) do desempenho dos produtos CHIRPS e CHELSA, entre Observado e Imputado, seguidos dos parâmetros estatísticos: coeficientes  $R^2$  e  $r$ , dos valores de  $RMSE$  ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ).



Fonte: Autoria Própria (2021)

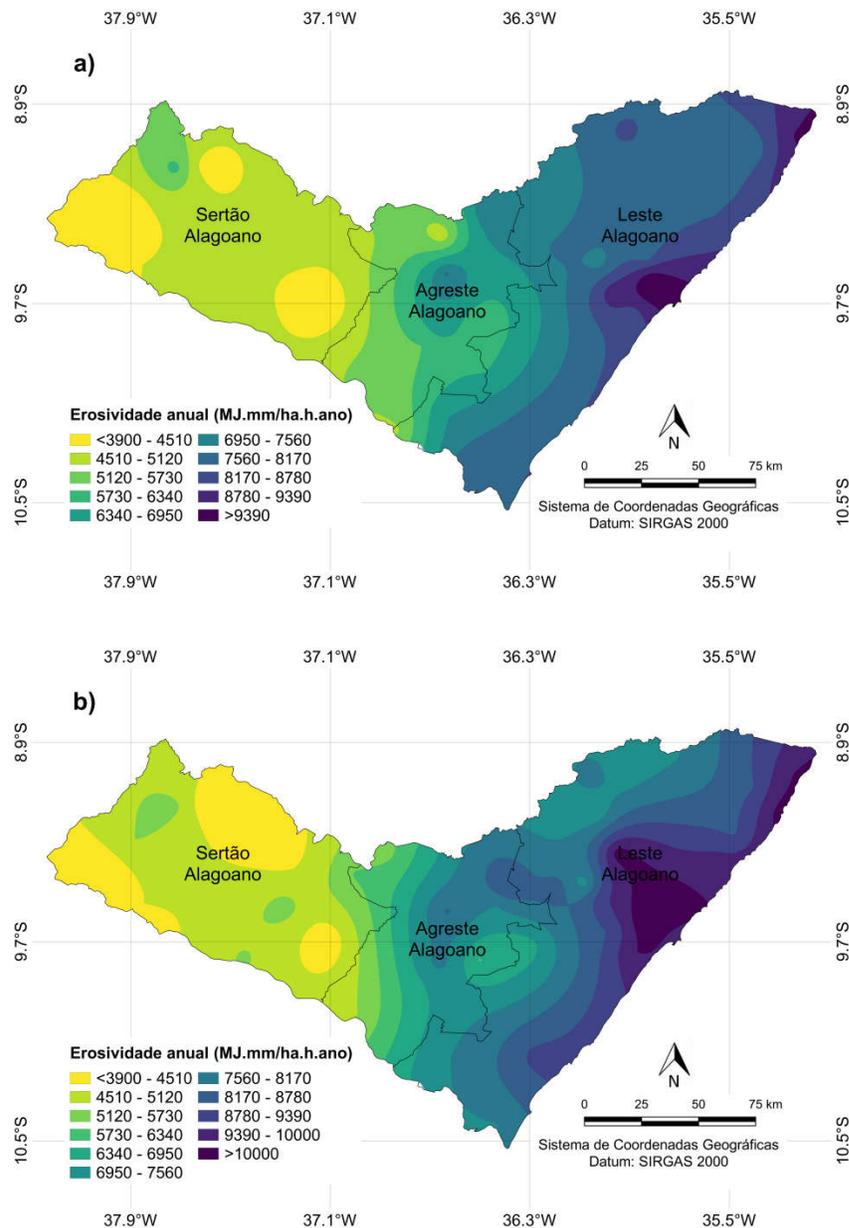
Os coeficientes de  $R^2$  = (CHIRPS = 0,6383 e CHELSA = 0,6607) e  $r$  = (CHIRPS = 0,7989 e CHELSA = 0,8128) mostram uma correlação muito alta (Tabela 3). O maior valor de  $RMSE$  ocorreu nos produtos CHELSA ( $RMSE = 1614,147 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ), assim também como o maior valor do coeficiente de correlação  $r$  (0,8128) sobressaindo-se em relação ao CHIRPS.

#### 4.7. Mapas de isoerosividade anual de Alagoas (CHIRPS e CHELSA)

Com base no método de KO foram confeccionados mapas de isoerosividade via produtos de precipitação CHIRPS e CHELSA, os mapas anuais da erosividade da chuva no estado de Alagoas, encontra-se na Figura 14a e 14b. A erosividade média anual obtida através dos produtos CHIRPS variou entre  $2.901,88 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Moderada) a  $9.628,78 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Forte), conforme Tabela 2. Os maiores valores encontrados para o período de 38 anos foram  $9.628,7 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Satuba ID23),  $9.195,4 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Maceió ID19),  $8.805 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Pilar ID21) e  $8.529 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Porto de Pedras ID42). A erosividade média anual obtida através dos produtos CHELSA variou entre  $3.433,18 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Moderada) a  $11.274,04 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$  (Muito Forte), conforme Tabela 2. Os

maiores valores encontrados para o período de 34 anos foram 11.274,04 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Satuba ID23), 10.856,86 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Porto de Pedras ID42), 10.814,96 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Murici ID10) e 10.734,95 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Rio Largo ID22), sendo todas as estações pertencentes à mesorregião Leste Alagoano e categorizadas como Muito Forte (Carvalho, 2008).

**Figura 14** - Erosividade anual (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) no estado de Alagoas (CHIRPS (a) e CHELSA (b), respectivamente).



Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 4.8. Análise espacial da tendência da chuva e erosividade anual

- **Chuva**

Com relação à análise espacial da tendência de chuva, apenas 16 municípios entre os 54 que possuem estação pluviométrica apresentaram tendência de aumento da chuva na série temporal de 56 anos, são eles: Água Branca (ID43), Arapiraca, Batalha (ID13), Capela (ID5), Igreja Nova (ID31), Junqueiro (ID37), Lagoa da Canoa (ID14), Limoeiro de Anadia (ID35), Major Isidoro (ID17), Maragogi (ID40), Pão de Açúcar (ID52), Piaçabuçu (ID33), Poço das Trincheiras (ID53), Porto Calvo (ID11), São Luiz do Quitunde (ID12) e São Miguel dos Campos (ID38). Os outros 38 municípios apresentaram tendência de diminuição de chuva, conforme Tabela 7.

As maiores tendências de diminuição da chuva no Estado ocorreram em São José da Laje (-3,47 mm/ano, ID49) e Atalaia (-2,27 mm/ano, ID4) - Leste Alagoano, Olho D'água das Flores (-2,38 mm/ano, ID18) - Sertão Alagoano e Quebrangulo (-2,37 mm/ano, ID29) - Agreste Alagoano. Destaque para os municípios com aumento na tendência de chuva, por exemplo, Batalha (2,61 mm/ano, ID16), Major Isidoro (2,55 mm/ano, ID17) ambas as estações estão localizadas no Sertão Alagoano, seguido de São Miguel dos Campos (2,52 mm/ano, ID38) e Satuba (1,51 mm/ano, ID23) estas pertencentes à mesorregião do Leste Alagoano.

**Tabela 7.** Resultados das Tendências via teste de MK aplicada à série temporal de chuva em Alagoas.

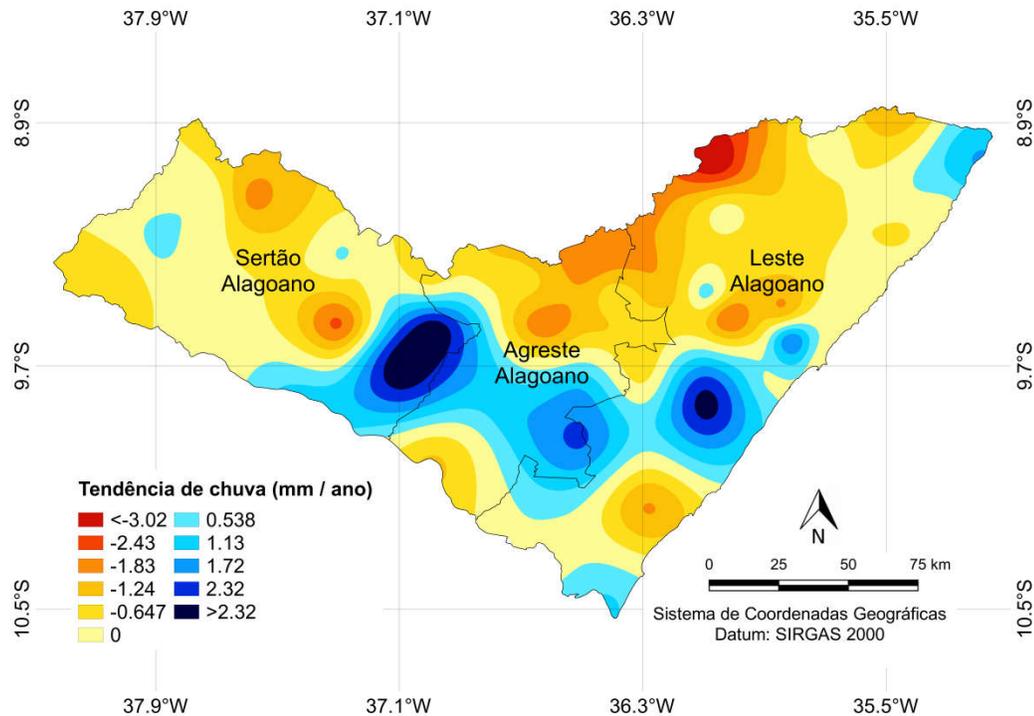
ID	Municípios	Tendência Anual (mm/ano)	Categorização
43	Água Branca	+0,11	TENDÊNCIA DE AUMENTO
35	Anadia	-0,90	TENDÊNCIA DE QUEDA
13	Arapiraca	+0,73	TENDÊNCIA DE AUMENTO
4	Atalaia	-2,27	TENDÊNCIA DE QUEDA
16	Batalha	+2,61	TENDÊNCIA DE AUMENTO
24	Cacimbinhas	-0,70	TENDÊNCIA DE QUEDA
44	Canapi	-1,85	TENDÊNCIA DE QUEDA
5	Capela	+0,13	TENDÊNCIA DE AUMENTO
6	Colônia Leopoldina	-0,43	TENDÊNCIA DE QUEDA
36	Coruripe	-1,85	TENDÊNCIA DE QUEDA
1	Delmiro Gouveia	-1,05	TENDÊNCIA DE QUEDA
7	Flexeiras	-0,80	TENDÊNCIA DE QUEDA
46	Ibateguara	-2,06	TENDÊNCIA DE QUEDA

25	Igaci	-2,12	TENDÊNCIA DE QUEDA
31	Igreja Nova	+0,25	TENDÊNCIA DE AUMENTO
8	Jacuípe	-1,68	TENDÊNCIA DE QUEDA
37	Junqueiro	+1,69	TENDÊNCIA DE AUMENTO
14	Lagoa da Canoa	+0,87	TENDÊNCIA DE AUMENTO
15	Limoeiro de Anadia	+1,10	TENDÊNCIA DE AUMENTO
19	Maceió	-0,56	TENDÊNCIA DE QUEDA
17	Major Isidoro	+2,55	TENDÊNCIA DE AUMENTO
26	Mar Vermelho	-0,76	TENDÊNCIA DE QUEDA
40	Maragogi	+1,07	TENDÊNCIA DE AUMENTO
20	Marechal Deodoro	-0,05	TENDÊNCIA DE QUEDA
45	Mata Grande	-0,15	TENDÊNCIA DE QUEDA
9	Matriz de Camaragibe	-0,25	TENDÊNCIA DE QUEDA
27	Minador do Negrão	-1,01	TENDÊNCIA DE QUEDA
10	Murici	-0,94	TENDÊNCIA DE QUEDA
18	Olho D'água das Flores	-2,38	TENDÊNCIA DE QUEDA
2	Olho D'água do Casado	-0,56	TENDÊNCIA DE QUEDA
28	Palmeira dos Índios	-1,18	TENDÊNCIA DE QUEDA
52	Pão de Açúcar	+0,62	TENDÊNCIA DE AUMENTO
41	Passo de Camaragibe	-0,94	TENDÊNCIA DE QUEDA
32	Penedo	-0,28	TENDÊNCIA DE QUEDA
33	Piaçabuçu	+0,49	TENDÊNCIA DE AUMENTO
21	Pilar	-0,13	TENDÊNCIA DE QUEDA
47	Pindoba	-1,27	TENDÊNCIA DE QUEDA
3	Piranhas	-0,62	TENDÊNCIA DE QUEDA
53	Poço das Trincheiras	+0,03	TENDÊNCIA DE AUMENTO
11	Porto Calvo	+0,02	TENDÊNCIA DE AUMENTO
42	Porto de Pedras	-0,22	TENDÊNCIA DE QUEDA
34	Porto Real do Colégio	-0,57	TENDÊNCIA DE QUEDA
29	Quebrangulo	-2,37	TENDÊNCIA DE QUEDA
22	Rio Largo	-1,72	TENDÊNCIA DE QUEDA
54	Santana do Ipanema	-0,55	TENDÊNCIA DE QUEDA
48	Santana do Mundaú	-1,79	TENDÊNCIA DE QUEDA
49	São José da Laje	-3,47	TENDÊNCIA DE QUEDA
12	São Luiz do Quitunde	-0,09	TENDÊNCIA DE QUEDA
38	São Miguel dos Campos	+2,52	TENDÊNCIA DE AUMENTO
23	Satuba	+1,51	TENDÊNCIA DE AUMENTO
30	Tanque D'Arca	-1,34	TENDÊNCIA DE QUEDA
39	Traipu	-1,25	TENDÊNCIA DE QUEDA
50	União dos Palmares	-0,50	TENDÊNCIA DE QUEDA
51	Viçosa	-1,75	TENDÊNCIA DE QUEDA

As tendências de aumento de chuva (Figura 15) se encontram preferencialmente na mesorregião do Sertão Alagoano, deve-se considerar o quantitativo de estações pluviométricas instaladas na mesorregião, um total de 12 (doze), onde em 5 (cinco) foi constatada a tendência de aumento de chuva. Não se descarta também a influência do preenchimento de falhas, visto que as estações pluviométricas da região apresentaram maiores registros de falhas e lacunas (Tabela 1). Além disso, o período usado no estudo alternou fases positivas e negativas da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) – (SALINGER et al., 2001), que por sua vez influencia a intensidade e a frequência das fases do ENOS (El Niño e La Niña) – (MOLION E BERNARDO, 2002), principalmente no estado de Alagoas, sendo identificado anteriormente (DA SILVA et al., 2010; LYRA et al., 2017) e recentemente (DA SILVA et al., 2020; COSTA et al., 2020).

Outro ponto que deve ser destacado, é em relação ao quantitativo de estações da mesorregião do Leste Alagoano que apresentaram aumento na tendência de chuva, 8 (oito) em um total de 31 (trinta e um) estações, pois a região é a que apresenta maior registro de chuvas anuais conforme a Figura (7), o que não é traduzido em tendência de aumento da chuva, segundo a Figura (15). A mesorregião Leste Alagoano registrou tendência de diminuição de chuva juntamente com mesorregião do Agreste Alagoano. Vale ressaltar que as mesorregiões climáticas citadas anteriormente passaram por diversas mudanças profundas no uso e ocupação da terra em décadas e, portanto resultou em mudanças significativas na dinâmica da chuva, sendo confirmado em um estudo recente realizado por Santos et al. (2021) via Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) aplicada ao Estado de Alagoas. No NEB, outros estudos apontam para tendências de diminuição de chuva, por exemplo, Da Silva e Silva (2011) no Cariri Cearense e na Região Metropolitana de Fortaleza – CE e Andrade e Ribeiro (2018) que encontraram tendência de diminuição da chuva na bacia do rio Paraíba do Sul. Anteriormente, Santos e Brito (2007) encontraram tendências de aumento da chuva nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, NEB.

**Figura 15 – Tendência de chuva**



Fonte: Autoria Própria (2021)

- **Erosividade anual**

A erosividade anual apresentou tendências diferentes da chuva anual para o mesmo período avaliado (1960-2016), seis municípios apresentaram tendência de aumento para a erosividade (Tabela 8), sendo que todos os municípios pertencentes à mesorregião do Leste Alagoano, Anadia (ID43), Maragogi (ID40), Marechal Deodoro (ID20), Porto de Pedras (ID42), São Miguel dos Campos (ID38) e Satuba (ID23). Destaque para Satuba que apresentou com a maior tendência de erosividade ( $+0,87 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), seguida de Maragogi ( $+0,81 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e São Miguel dos Campos ( $+0,73 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), conforme a Figura (16). Vale destacar que ambos os municípios citados encontram-se próximo a costa do Estado, região com maiores totais pluviométricos (BARROS et al., 2012; LYRA et al., 2014; COSTA et al., 2020) e, no caso de Satuba é próxima ao Complexo Lagunar Mundaú e encontra-

se inserida em um vale e, portanto, tais características influenciam a dinâmica da chuva local (DA SILVA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2018; SANTOS et al., 2021).

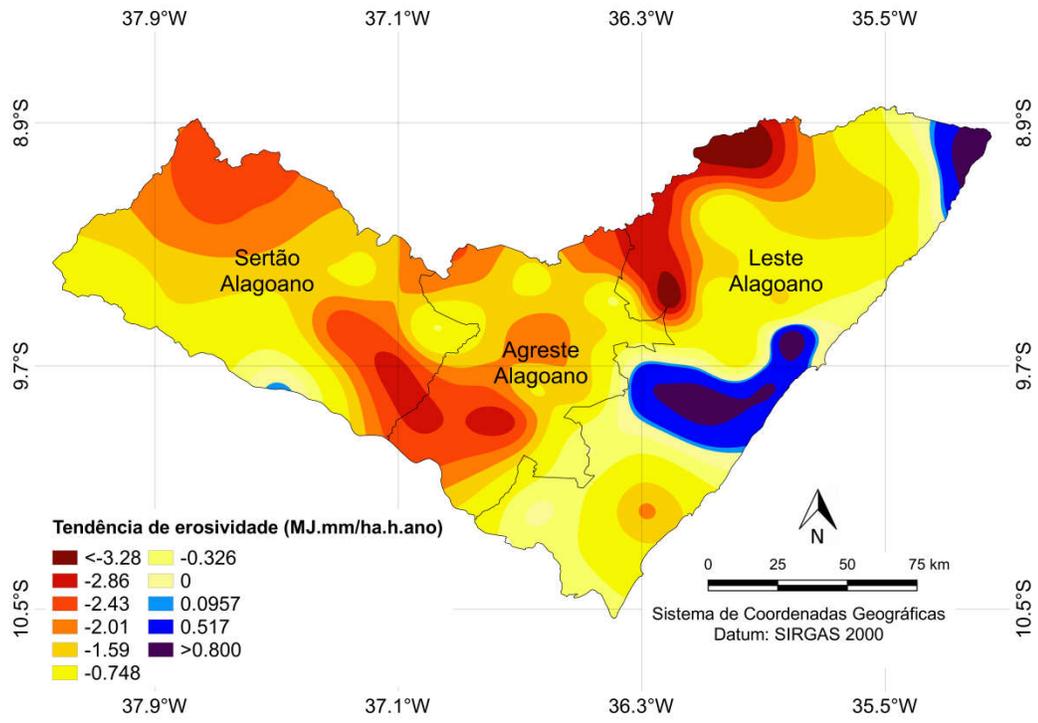
**Tabela 8.** Resultados das Tendências via teste de MK aplicada a série temporal de erosividade das chuvas em Alagoas

ID	Municípios	Tendência Anual (MJ.mm/ha.h.ano)	Categorização
43	Água Branca	-1,92	TENDÊNCIA DE QUEDA
35	Anadia	+0,21	TENDÊNCIA DE AUMENTO
13	Arapiraca	-1,58	TENDÊNCIA DE QUEDA
4	Atalaia	-1,45	TENDÊNCIA DE QUEDA
16	Batalha	-3,02	TENDÊNCIA DE QUEDA
24	Cacimbinhas	-2,26	TENDÊNCIA DE QUEDA
44	Canapi	-2,51	TENDÊNCIA DE QUEDA
5	Capela	-1,41	TENDÊNCIA DE QUEDA
6	Colônia Leopoldina	-1,85	TENDÊNCIA DE QUEDA
36	Coruripe	-2,03	TENDÊNCIA DE QUEDA
1	Delmiro Gouveia	-1,30	TENDÊNCIA DE QUEDA
7	Flexeiras	-1,49	TENDÊNCIA DE QUEDA
46	Ibateguara	-3,57	TENDÊNCIA DE QUEDA
25	Igaci	-2,36	TENDÊNCIA DE QUEDA
31	Igreja Nova	-0,35	TENDÊNCIA DE QUEDA
8	Jacuípe	-0,45	TENDÊNCIA DE QUEDA
37	Junqueiro	-0,35	TENDÊNCIA DE QUEDA
14	Lagoa da Canoa	-2,99	TENDÊNCIA DE QUEDA
15	Limoeiro de Anadia	-1,93	TENDÊNCIA DE QUEDA
19	Maceió	-0,21	TENDÊNCIA DE QUEDA
17	Major Isidoro	-0,77	TENDÊNCIA DE QUEDA
26	Mar Vermelho	-0,73	TENDÊNCIA DE QUEDA
40	Maragogi	+0,81	TENDÊNCIA DE AUMENTO
20	Marechal Deodoro	+0,45	TENDÊNCIA DE AUMENTO
45	Mata Grande	-2,63	TENDÊNCIA DE QUEDA
9	Matriz de Camaragibe	-1,89	TENDÊNCIA DE QUEDA
27	Minador do Negrão	-2,39	TENDÊNCIA DE QUEDA
10	Murici	-1,52	TENDÊNCIA DE QUEDA
18	Olho D'água das Flores	-2,72	TENDÊNCIA DE QUEDA
2	Olho D'água do Casado	-1,52	TENDÊNCIA DE QUEDA
28	Palmeira dos Índios	-1,47	TENDÊNCIA DE QUEDA
52	Pão de Açúcar	-0,01	TENDÊNCIA DE QUEDA
41	Passo de Camaragibe	-1,37	TENDÊNCIA DE QUEDA
32	Penedo	-0,60	TENDÊNCIA DE QUEDA

33	Piaçabuçu	-0,70	TENDÊNCIA DE QUEDA
21	Pilar	-1,24	TENDÊNCIA DE QUEDA
47	Pindoba	-3,66	TENDÊNCIA DE QUEDA
3	Piranhas	-1,28	TENDÊNCIA DE QUEDA
53	Poço das Trincheiras	-1,64	TENDÊNCIA DE QUEDA
11	Porto Calvo	-0,91	TENDÊNCIA DE QUEDA
42	Porto de Pedras	+0,13	TENDÊNCIA DE AUMENTO
34	Porto Real do Colégio	-1,14	TENDÊNCIA DE QUEDA
29	Quebrangulo	-2,40	TENDÊNCIA DE QUEDA
22	Rio Largo	-1,39	TENDÊNCIA DE QUEDA
54	Santana do Ipanema	-1,34	TENDÊNCIA DE QUEDA
48	Santana do Mundaú	-2,99	TENDÊNCIA DE QUEDA
49	São José da Laje	-3,32	TENDÊNCIA DE QUEDA
12	São Luiz do Quitunde	-0,96	TENDÊNCIA DE QUEDA
38	São Miguel dos Campos	+0,73	TENDÊNCIA DE AUMENTO
23	Satuba	+0,87	TENDÊNCIA DE AUMENTO
30	Tanque D'Arca	-1,68	TENDÊNCIA DE QUEDA
39	Traipu	-2,61	TENDÊNCIA DE QUEDA
50	União dos Palmares	-0,86	TENDÊNCIA DE QUEDA
51	Viçosa	-3,23	TENDÊNCIA DE QUEDA

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na mesorregião do Leste Alagoano foram identificados os municípios com maiores tendências de queda da erosividade anual. Estas tendências foram registradas nos municípios de Pindoba (-3,66 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), Iateguara (-3,57 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), São José da Laje (-3,32 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e Viçosa (-3,23 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

**Figura 16 – Tendência de erosividade**

Fonte: Autoria Própria (2021)

## 5. CONCLUSÕES

Baseado nos dados históricos de chuva é possível caracterizar o potencial erosivo das chuvas no estado de Alagoas, sendo classificado entre moderado e forte. A metodologia proposta consegue caracterizar a erosividade da chuva anual (R) no Estado. Em relação ao potencial erosivo, o período de abril a julho é o mais crítico, fato este, justificado pela maior ocorrência da chuva, principalmente na mesorregião do Leste Alagoano, com maior adensamento populacional.

A análise multivariada (*cluster analysis*) aplicada no estudo consegue identificar três grupos homogêneos de erosividade da chuva em Alagoas, sendo o método de ligação Complete adequado ao Estado. Os grupos identificados são coerentes com estudos anteriores na literatura, em relação à definição do gradiente pluviométrico existente no Estado, uma vez que, neste estudo também foi identificado a formação de um gradiente de erosividade. Os grupos homogêneos de erosividade de chuva no estado de Alagoas estão distribuídos nas mesorregiões climáticas, com exceções algumas estações devido aos fatores fisiográficos e características de microclimas locais que interferem na dinâmica da chuva.

Com base nos indicadores estatísticos adotados no estudo, os métodos de interpolação avaliados são satisfatórios na adoção da interpolação espacial das isoerosividades, porém o método Krigagem Ordinária se sobressai em relação aos demais ( $r \geq 0.9$  e menor RMSE). E, portanto a Krigagem Ordinária é o método de interpolação utilizado na espacialização da erosividade das chuvas no estado de Alagoas.

Com base nos mapas de isoerosividade mensal e anual é possível identificar o potencial erosivo em algumas faixas de erosividade, principalmente próximas ao litoral na mesorregião Leste Alagoano, perdendo forças rumo ao interior do Estado nas mesorregiões Agreste Alagoano e Sertão Alagoano, respectivamente. A equação de erosividade proposta pode ser utilizada para estimativa do fator R da USLE para o Estado, a partir dos dados de chuva devidamente preenchidos e homogeneizados. Os produtos de precipitação CHELSA e CHIRPS são recomendados como alternativa na avaliação da erosividade da chuva com base nos indicadores estatísticos.

Com relação à tendência de chuva no Estado, cerca de 30% das estações apresentam tendência de aumento de chuva, enquanto 70% das estações com tendência de diminuição de chuva. Vale destacar que maiores tendências de diminuição encontram-se no Leste e Agreste

Alagoano, que não se descarta a influência de mudanças decadais de uso e ocupação do solo. Ao contrário da chuva, a erosividade tem tendências de aumento em apenas 6 municípios do Estado.

Claramente, as isoerosividades são determinadas pela dinâmica da chuva e pelos fatores fisiográficos existentes no Estado e, assim os resultados no estudo dão suporte para um planejamento de práticas conservacionistas, principalmente em áreas de vulnerabilidade em Alagoas. O pioneirismo obtido no estudo abre precedente para diversos estudos, como Análise de Sinais de Dados (Data Signal Analysis), Degradação Ambiental e Práticas de Conservação Ambiental.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e conclusões do estudo, recomenda-se:

- Aprofundar a discussão sobre métodos de preenchimento de falhas e homogeneidade de dados via uso de bibliotecas e pacotes existentes no ambiente-R para o estado de Alagoas;
- Utilizar outras equações de estimativa da erosividade, além da clássica usada neste estudo a título de intercomparação;
- Aplicar o teste de Mann-Kendall modificado no sentido de aprofundamento das discussões sobre tendência da chuva e erosividade no Estado;
- Avaliar a erosividade com as fases do ENOS e os ciclos de ODP via Análise Harmônica Espectral (AHE) ou Técnica de Wavelet (TW);
- Avaliar a relação uso e ocupação do solo e a dinâmica da chuva no Estado com produtos de Sensoriamento Remoto, a fim de remarcar que tais mudanças tem influência no regime de chuva, principalmente nas mesorregiões do Agreste e Leste Alagoano.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M. **Soil erosion, conservation and rehabilitation**. New York: Marcel Dekker, 1996.
- ALBUQUERQUE, A.W.; CHAVES, I.B.; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.18, n. 2, p. 279-283, 1994.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS J. R.; COSTA J. P. V.; SOUZA FILHO J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p.53-169, 2005.
- 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**, n. 17, p. 26-43, 2016.
- ANDRADE, A. F. et al. Erosividade e padrões de precipitação pluvial para Aragarças – GO. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 21931-21950, 2020.
- ANDRADE, M. P.; MELO RIBEIRO, C. B. Análise de tendências no comportamento da chuva na bacia do rio Paraíba do Sul. In: **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**, Juiz de Fora – MG, 2018.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; AQUINO, R. P. Erosividade das chuvas do município de Gilbués, Piauí, Brasil. In: **XVII Congresso Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Campinas – SP, 2017.
- 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. 38-403, 2018.
- BARROS, A. H. C. et al. **Climatologia do Estado de Alagoas - Dados eletrônicos**. Recife: Embrapa Solos, 32 p., 2012.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo. Ícone, 2012.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMPOS, R. F. Comparação entre dados de precipitação interpolados e do TRMM (3B43V7). **Dissertação** (Pós-graduação em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.
- CANTALICE, J.R.B.; MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.275-281, 1993.

CARVALHO, A. C. B. et al. Modelos para estimar perdas de solo. In: **Tópicos em Sustentabilidade & Conservação**. Juiz de Fora, MG: Edição dos autores, 2017.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n. 1, p.7-14, 2005.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, A.L.;SOUZA, J.L.;LYRA, G. B.;PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 173-180, 2013.

CHAVES, I. B.; DINIZ, E. J. Erosividade das chuvas no Estado da Paraíba. In: **Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação do Solo**, 3., 1981,Recife. Resumos...Recife: SBCS, 1981. p.136-47.

CHEN, Y.; XU, M.; WANG, Z.; GAO, P.; LAI, C. Applicability of two satellite-based precipitation products for assessing rainfall erosivity in China. **Science of The Total Environment**, v. 757, 2021.

CHUQUIPIONDO, I. G. V. Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais. 2007. 216p. **Dissertação** (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas 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.

CORREIA FILHO, W.L.F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; SAN-TIAGO, D.B.; TERASSI, P.M. B.; TEODORO, P.E.;GOIS, G.; BLANCO, C.J.C.; SOUZA, P.H.A.; COSTA,M.S.; GOMES, B. H.; SANTOS, P.J. Rainfall variability inthe Brazilian northeast biomes and their interactions withmeteorological systems and ENSO via CHELSA product, **Big Earth Data**, v. 3, n. 4, p. 315-337, 2019a.

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.

COSTA, M.S.; LIMA, K.C.; ANDRADE, M.M.; GONÇALVES,W.A. A. Tendências observadas em extremos de pre-cipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 5, p. 1321-1334, 2015.

COSTA, M. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTOS, P. J.; CORREIA FILHO, W. L. F.; GOIS, G.; BLANCO, C. J. C.; TEODORO, P. E.; SILVA JÚNIOR, C. A.; SANTIAGO, D. B.; SOUZA, E. O.; & JARDIM, A. M. R. F. Rainfall extremes and drought in Northeast-Brazil and its

relationship with El Niño-Southern Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E2111-E2135, 2020.

DA SILVA, D. F. Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE). Campina Grande, 209f, 2009. (**Tese de Doutorado**).

DA SILVA, D.F.; LIMA, M.J.S; SOUZA NETO, P.F; GOMES, H.B; SILVA, F.D.S; ALMEIDA, H.R.R.C; PEREIRA, M.P.S; COSTA, R.L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

DA SILVA, D. F.; SILVA, R. A. Uso do teste de Mann-Kendall para detecção de tendências climáticas comparativas entre regiões Cearenses. In: **IV SIC**, 2011, João Pessoa – PB. Anais do IV SIC, 2011.

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.

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecol. Econ.** v. 69, n.9, p. 1858–1868, 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, 345 p., 2018.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLÉN, J.M.; KOHL, K.D. **A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments: 1987 and 1988**. W. Lafayette, USDA-ARS, p.422-450, 1989.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications**. Boston/ EUA. Artech House, 270 p., 2005.

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.

FIGUEIREDO, T.; FONSECA, F.; LIMA, E.; FLEISCHFRESSER, L.; HERNÁNDEZ, Z. Comparação da eficácia de medidas de controlo da erosão pós-fogo: simulações com a USLE para cenários de aplicação no NE de Portugal. In: **VIII Congresso Ibérico de las Ciencias del Suelo e VIII Congresso Ibérico de Ciências do Solo**. p. 275-278, 2018.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, 2009.

FILHO, J. F. M.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, 2006.

FOURNIER, F. The effect of climatic factor on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. [S.I.]: Association Hydrologic Int. Public, 1956. v. 38. 6 p.

FRANCISCO, A. B. Mapeamento de erosividades da chuva na bacia do rio Capivara – SP. **Revista Tocantinense de Geografia**. v. 9, n. 18, 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.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n. 2, p.269 -276, 2006.

HAIRSINE, P. B.; ROSE, C. W. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. **Soil Science Society of America Journal**, n. 55, v. 2, p. 320–324, 1991.

HIDROWEB: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>

HOPKINS, W. G. A new view of statistics: Correlation coefficient. 2009. <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acessado em 18 de janeiro de 2021.

HUDSON, N. H. Soil conservation. Cornell University, Ithaca, New York, 320 p. , 1971.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2017. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html> .Acessado em 28/02/2021.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Relatório de Análises de Mercados de Terras do Estado de Alagoas, 2018.

JAIN, A.K.; MURTY, M.N.; FLYNN, P.J. Data clustering: a review. **ACM Computing Surveys**, v.31, n.3, p.264-322, 1999.

JARDIM, A. M. R. F. et al. 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.

JEON, Y.; YOO, J.; LEE, J.; YOON, S. NC-Link: A New Linkage Method for Efficient Hierarchical Clustering of Large-Scale Data. **IEEE**, v. 5, n. 1, p. 5594-5608, 2017.

KIM, J.; HAN, H.; KIM, B.; CHEN, H.; LEE, J. Use of a high-resolution-satellite-based precipitation product in mapping continental-scale rainfall erosivity: A case study of the United States. **Catena**, v. 193, 2020.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

KUMAR, V. Optimal contour mapping of groundwater levels using universal kriging – a case study. **Hydrological Sciences Journal**, v.52, n5, p. 1038-1050, 2007.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev e ampl. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Geomatemática, Texto Didático 6, DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, 2002.

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. 227-237, 1992.

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

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

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 (Print)**, v. 129, n. 1, p. 157-171, 2017.

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.

MACHADO, D. O. et al. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 19, n.2, p. 195-202, 2014.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Multivariate analysis of erosivity indices and rainfall physical characteristics associated

with rainfall patterns in Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 41, n. 1, 2017.

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 penedões-anoia vineyard region (NE Spain) in the 2000s. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 2, p. 160–170, 2016.

MARTINS, W. L. D., BLANCO, C. J. C., MELO, A. M. Q. Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade. **Geoambiente On-line**, n. 36, Jataí – GO, 2020.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T. G. Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 641-649, 2017.

MELO, R. F. et al. **Uso e manejo do solo**. In: Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Embrapa, Brasília – DF, 2019.

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.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p.315 - 322, 2006.

MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized spline with tension, I Theory and implementation. **Mathematical Geology**, v. 25, n. 6, p. 641–655, 1993.

MITASOVA, H.; MITAS, L.; HARMON, R. Simultaneous Spline Approximation and Topographic Analysis for Lidar Elevation Data in Open-Source GIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.2, n. 4, p. 375–379, 2005.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, v.17, n. 1, p.1-10, 2002.

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 de Ciências do Solo**, v. 27, n. 4, p. 713-725, 2003.

MOSCATI, M. C. D. L.; GAN, N. 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.; 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.

MUNRO, R. N., DECKERS, J., HAILE, M., GROVE, A. T., POESEN, J., NYSSSEN, J. Soil landscapes, land cover change and erosion features of the Central Plateau region of Tigray, Ethiopia: photo-monitoring with an interval of 30 years. **Catena**, v. 75, n. 1, p. 55-64, 2008.

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 (UFU. Online)**, v. 19, n. 67, p. 268-288, 2018.

NEARING, M.A. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n. 3, p. 917-919, 1997.

NOBRE, C. A.; MOLION, L.C.B. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise – Número Especial, Edição Comemorativa de 10 anos**, INPE. São José dos Campos, SP, 1986. 125 p.

NUNES, J. G., CAMPOS, M. C. C., NUNES, J. C., MANTOVANELLI, B. C., CUNHA, J. M., SOARES, M. D. R. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo na região sul do Amazonas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 2, p. 549-557, 2017.

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, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T. RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resources Management**, v. 25, n. 1, p. 1021-36, 2011.

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.; BEGUERÍA, S.; ALEWELL, C.. Rainfall Erosivity in Europe. **Science of The Total Environment**, v.511, n. 1, p. 801-814, 2015.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-12, 2017.

PAREDES TREJO, F.; BRITO-CASTILLO, L.; BARBOSA ALVES, H.; GUEVARA, E. Main features of large-scale oceanic-atmospheric circulation relates to strongest droughts during rainy season in Brazilian São Francisco River Basin. **International Journal of Climatology**. v. 36, n. 12, p. 4102-4117, 2016.

PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Embrapa, Brasília, DF, 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.

PEDROSA, V. A.; NEVES, M. G. F. P.; REIS, L. G. M. Regionalização de chuvas intensas em Alagoas. In: **XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Anais...Vitória – ES, 1997.

PHAM, H. A. et al. Integrated Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing for Soil Erosion Assessment by Using Universal Soil Loss Equation (USLE): Case Study in Son La Province. **VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences**, [S.l.], v. 35, n. 1, mar. 2019.

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.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G.J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 17, n. 1, p. 30-37, 2005.

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.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. McCOOL, D.K. **Predicting soil erosion by water – A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington, USDA-ARS, 1991.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1 , p.439 - 444, 1993.

SALINGER, M.; RENWICK, J. and MULLAN, A. Interdecadal Pacific Oscillation and South Pacific climate. **International Journal of Climatology**, v. 21, n. 14, p. 1705-1721, 2001.

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, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n.1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Erosividade das chuvas (R) nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no estado do Piauí (Brasil). **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/ REJ**, n. 25, v. 1, 2015.

SANTOS, G. R. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos**. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010. 200p.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos Índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, F.S.; GOMES, H.B.; BARROS, G.V.P.; ALVES, L.E.R.; SILVA, D.F.; COSTA, R.L.; SANTOS SILVA, F.D.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F. Análise Sazonal dos Parâmetros Biofísicos Utilizando o Sensor MODIS para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n.1, p. 1-14, 2021.

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, A.M.; Schulz, H.E.; Camargo, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003.

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.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na Bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo, Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p. 267-278, 2012.

SOUZA, J.L.; AMORIN, R.F.C.; CARVALHO, S.M.R.; PEREIRA, J.O. ; CURI, P.R. Agrupamento de Estações Pluviométricas do Estado de Alagoas, Utilizando-se Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n.2, p. 603-612, 1992.

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.

TERASSI, P. M. B. ; BIFFI, V. H. R. ; GALVANI, E. ; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de . Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu - Paraná. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, p. 143-168, 2019.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; GOIS, G. ; GALVANI, E. Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

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, p. 100637, 2020.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. UFRGS, Porto Alegre, 2016.

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.

VANTAS, K.; SIDIROPOULOS, E.; LOUKAS, A. Estimating Current and Future Rainfall Erosivity in Greece Using Regional Climate Models and Spatial Quantile Regression Forests. **Water**, v. 12, 678p, 2020.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; 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.

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, p.1365–1384, 2018.

VRIELING, A.; STERK, G.; de JONG, S. M. Satellite-based estimation of rainfall erosivity for Africa. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3-4, p. 235–241, 2010.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press. 385p,1980.

WALTRICK, P. C. Erosividade de chuva no Paraná: atualização, influência do “el niño” e “la nina” e estimativa para cenários climáticos futuros. 2010. 107f. Dissertação (**Mestrado em Pedologia**) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A.D. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.256-267, 2015.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p.184-194, 1981.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, v.39, p.285-91, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation**. Washington, DC: USDA, 1965.

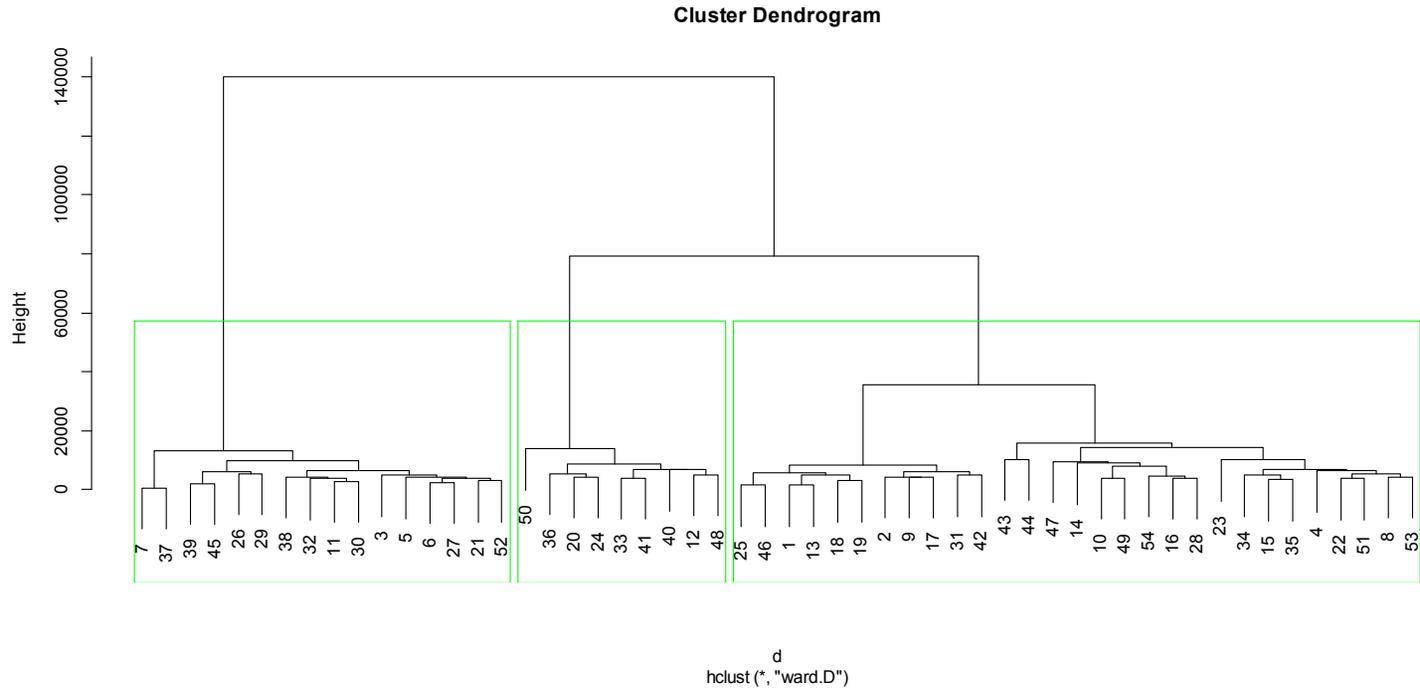
WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture HandBook, 537).

XAVIER, J. P. S.; BARROS, A. H. C.; WEBBER, D. C.; ACCIOLY, L. J.; MARQUES, F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A.B. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.3, p. 859-875, 2019.

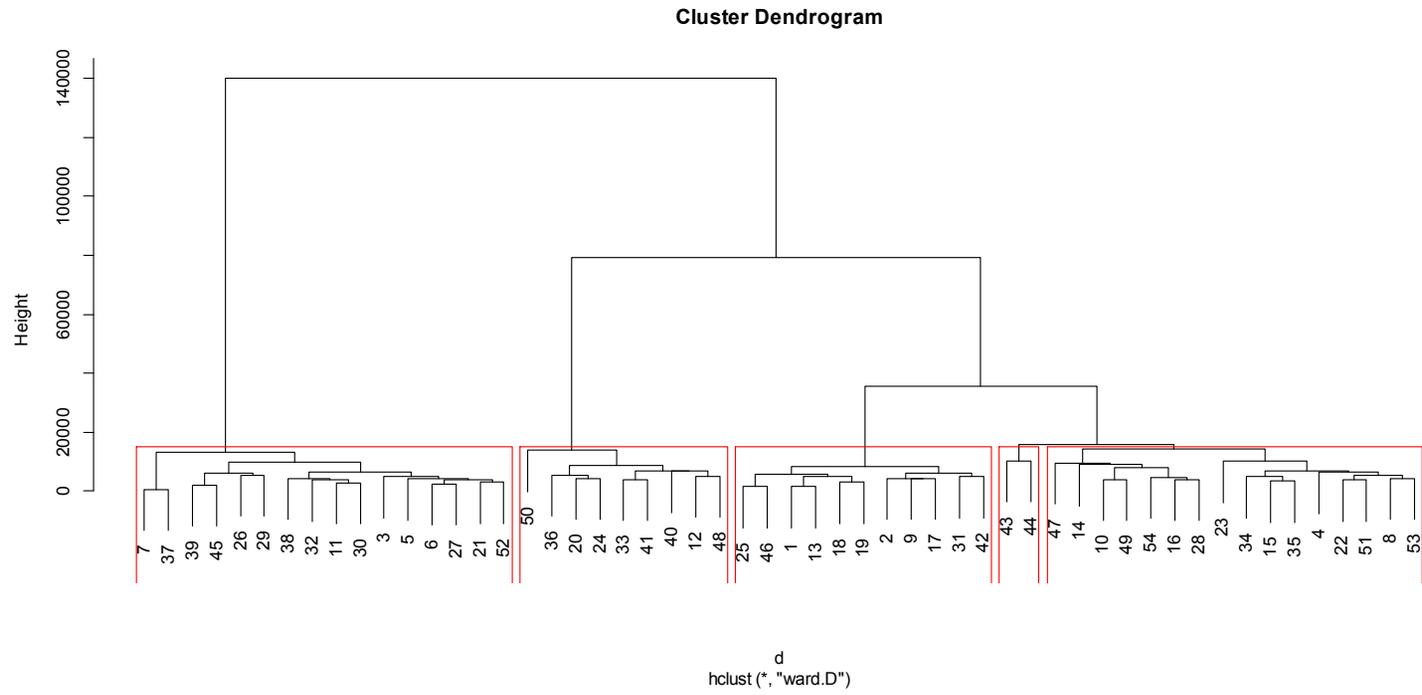
ZHANG, K.; YU, Y.; DONG, J.; YANG, Q; XU, X. Adapting & testing use of USLE K factor for agricultural soils in China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 269, n 1, p. 148-155, 2019.

# 8. APÊNDICE

## A1 - WARD

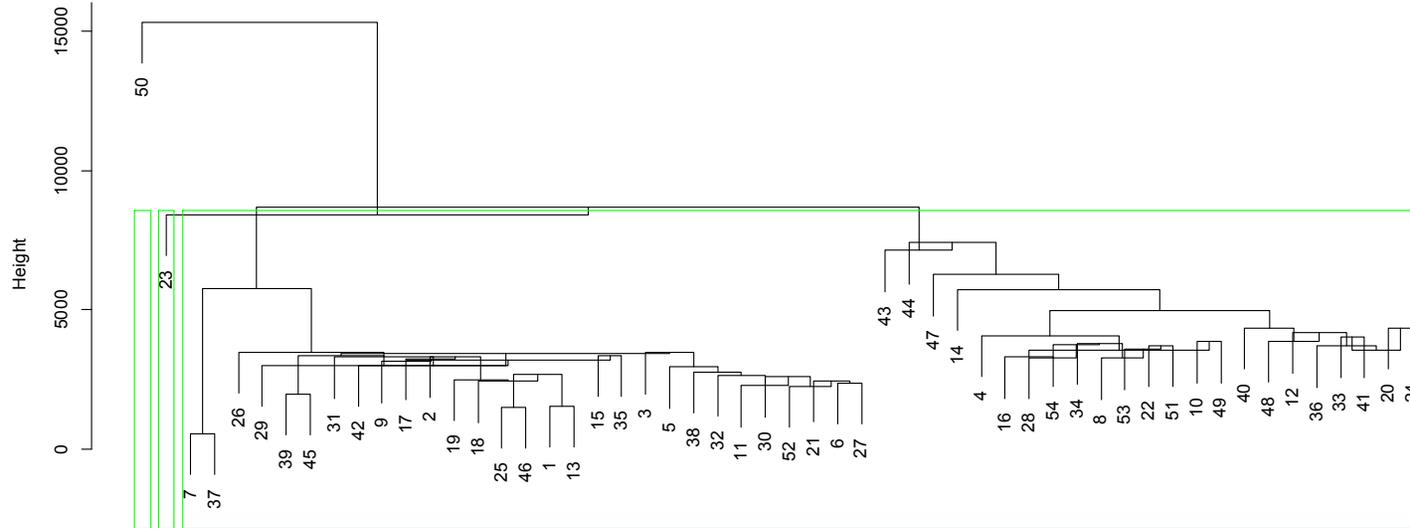






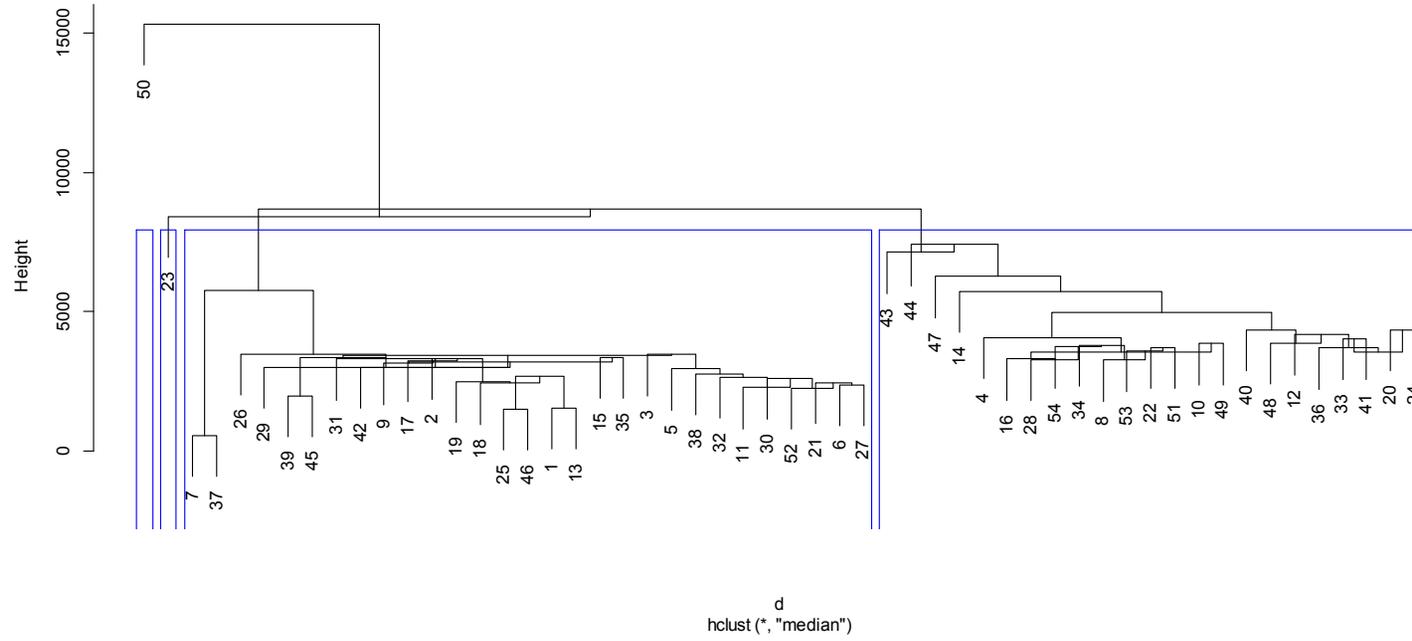
# A2 - MEDIAN

Cluster Dendrogram

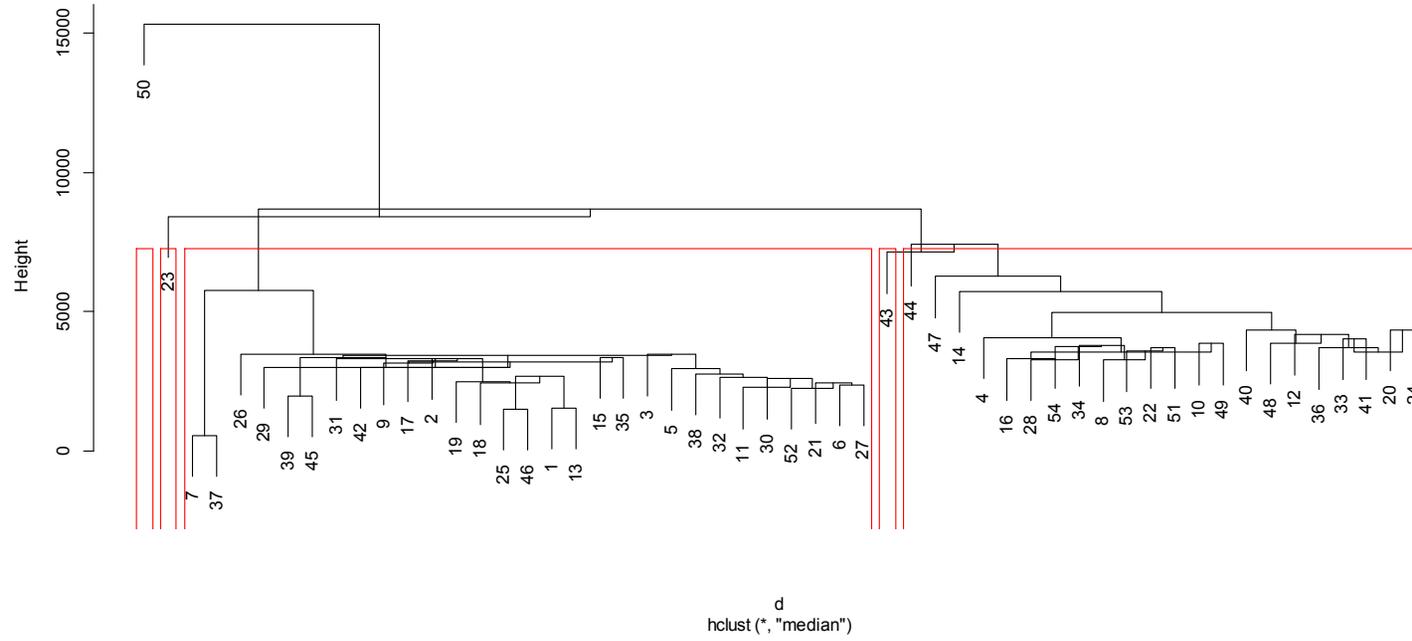


d  
hclust(\*, "median")

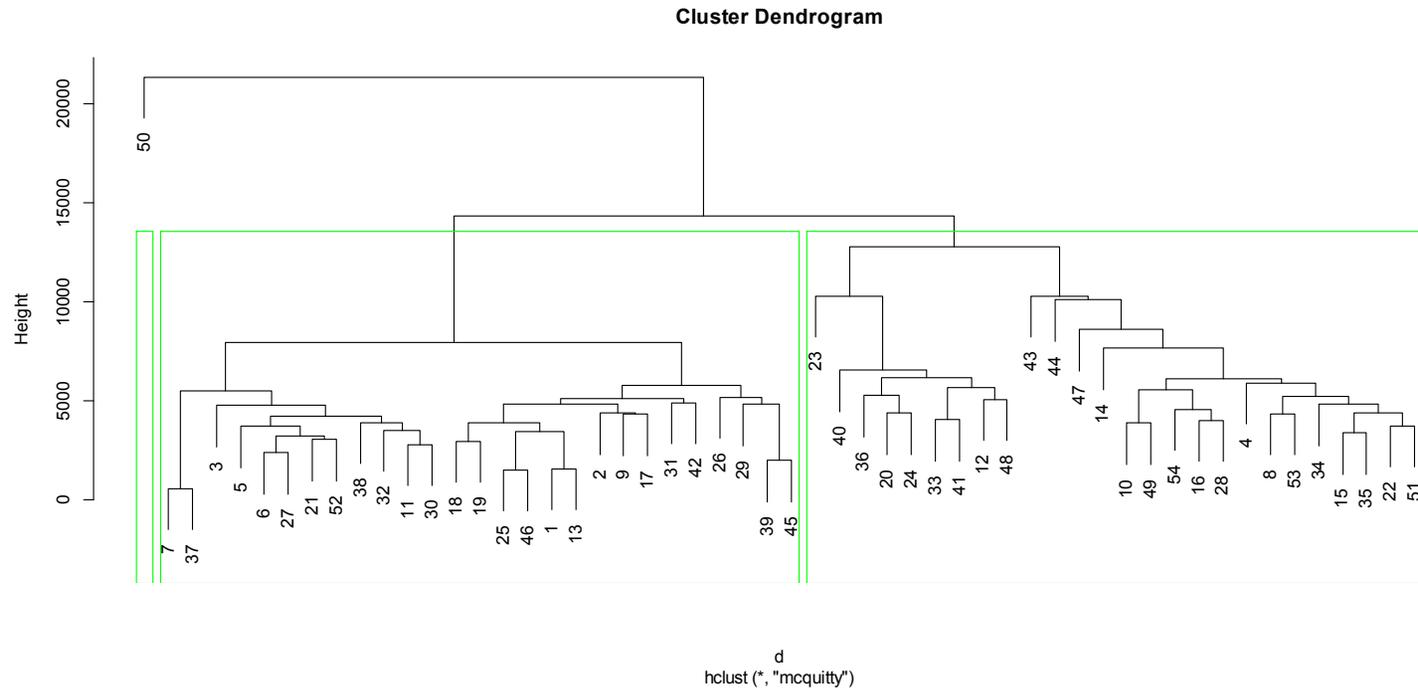
Cluster Dendrogram



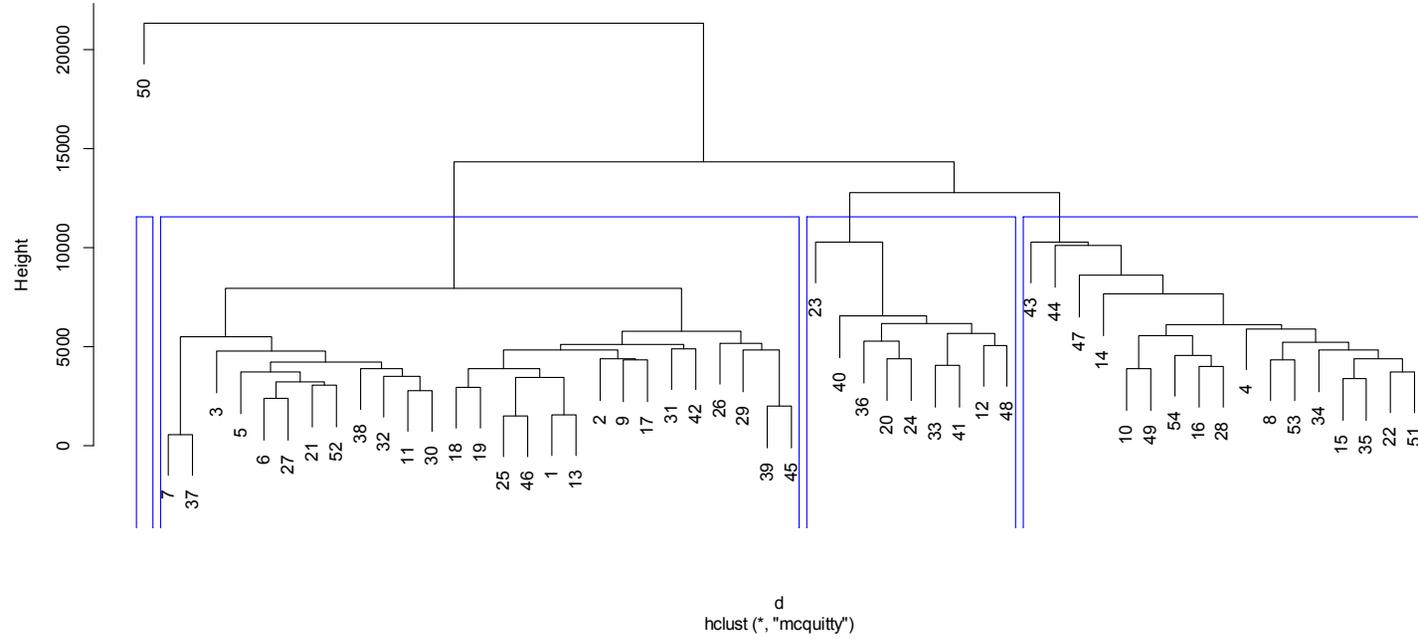
Cluster Dendrogram

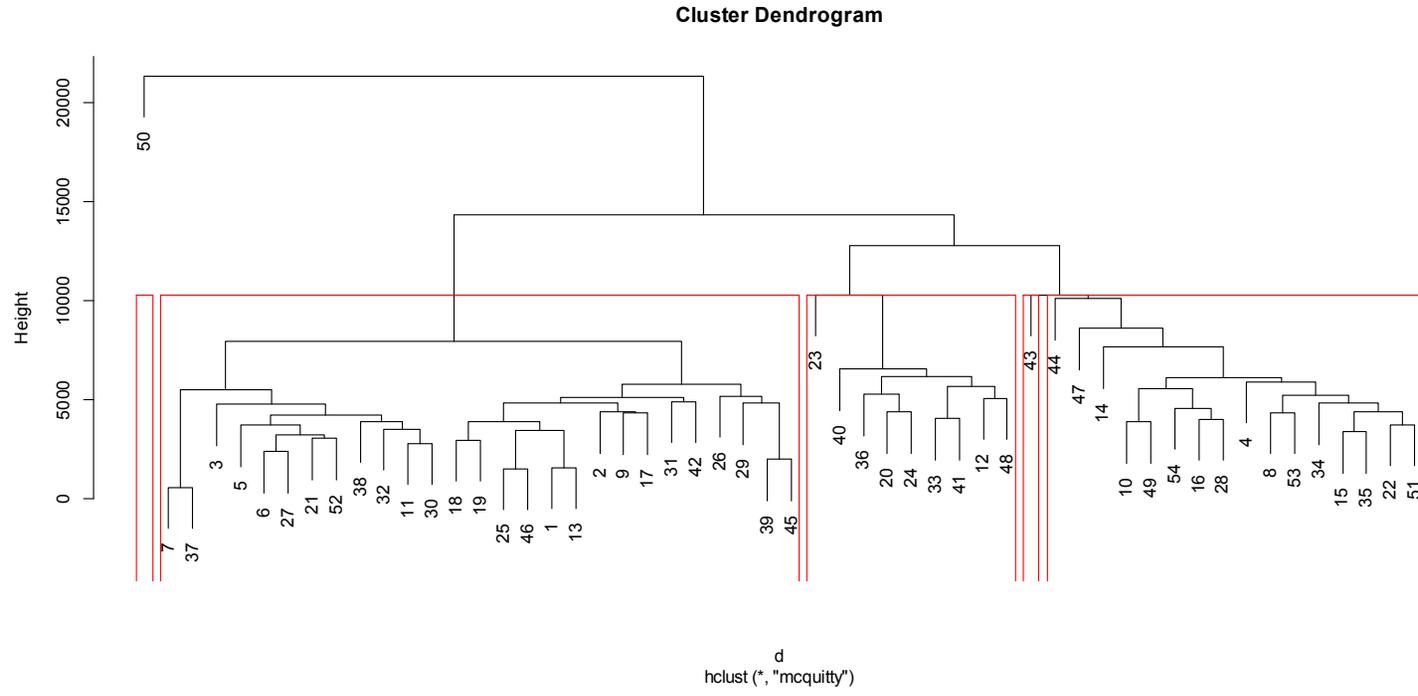


# A3 - McQUITTY

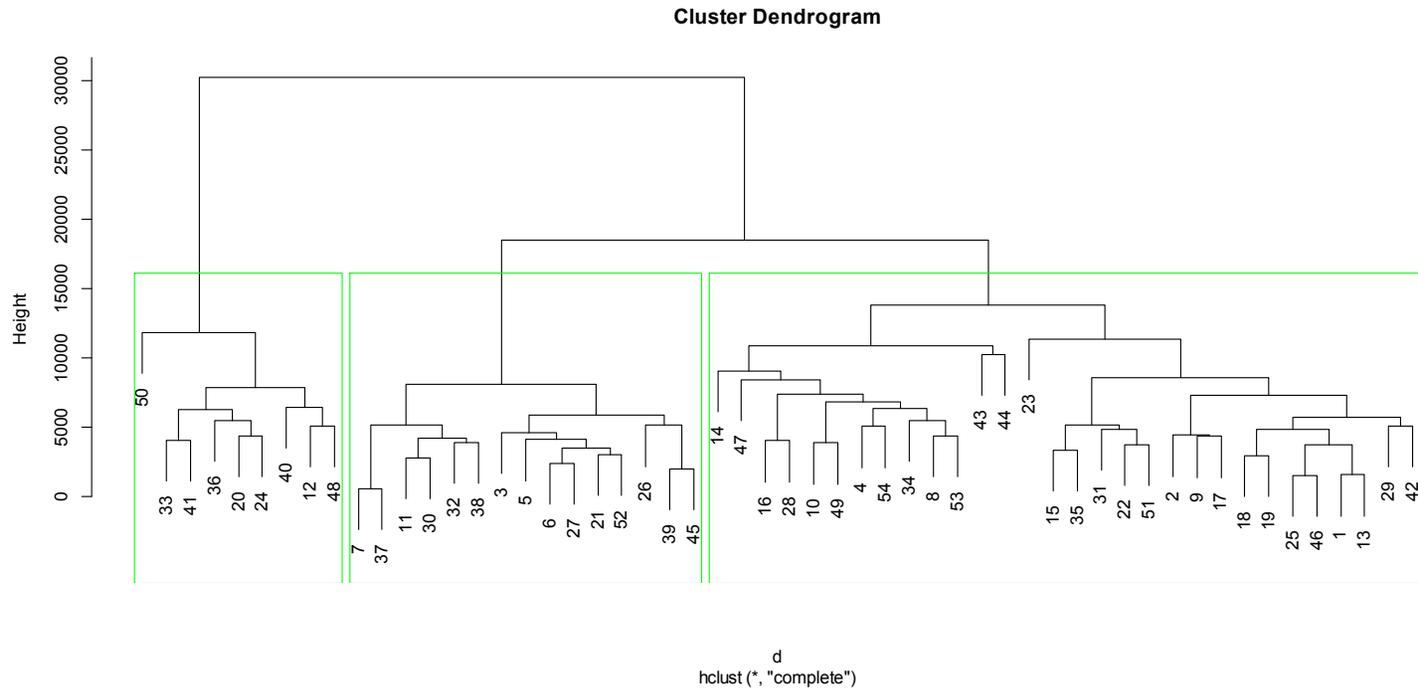


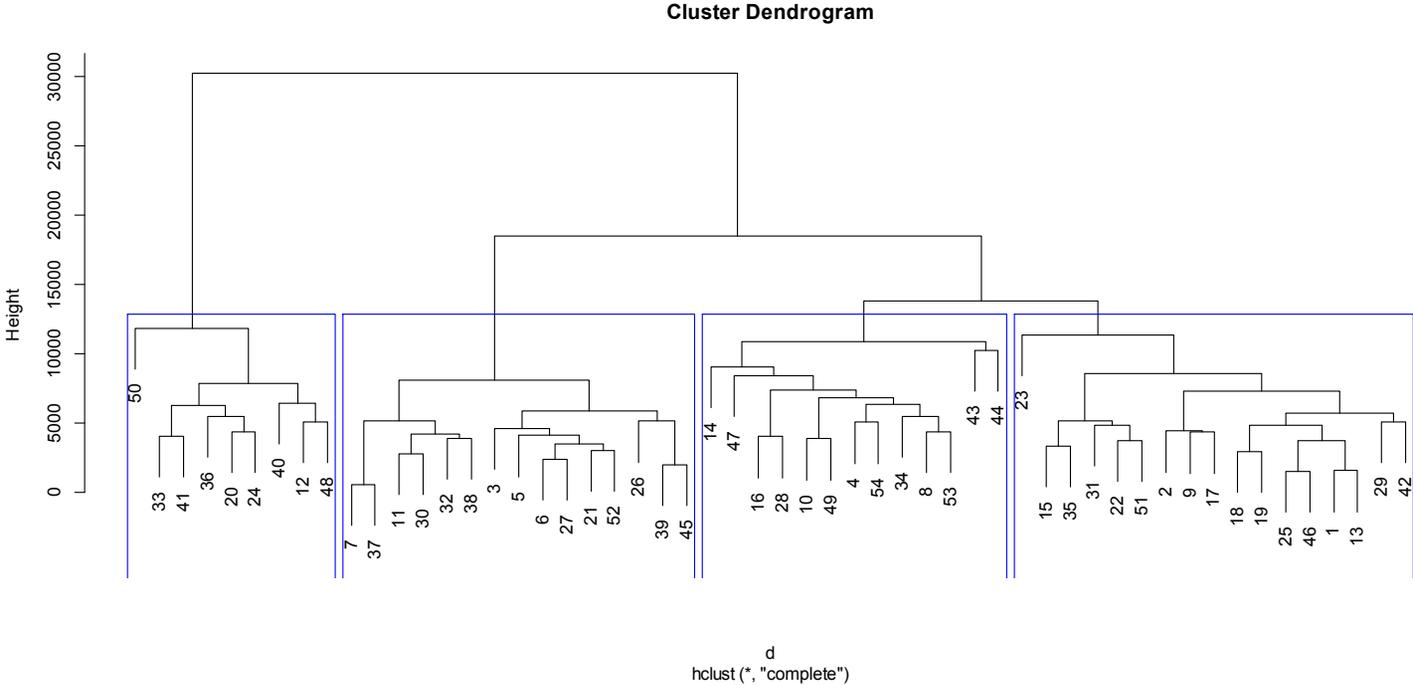
Cluster Dendrogram

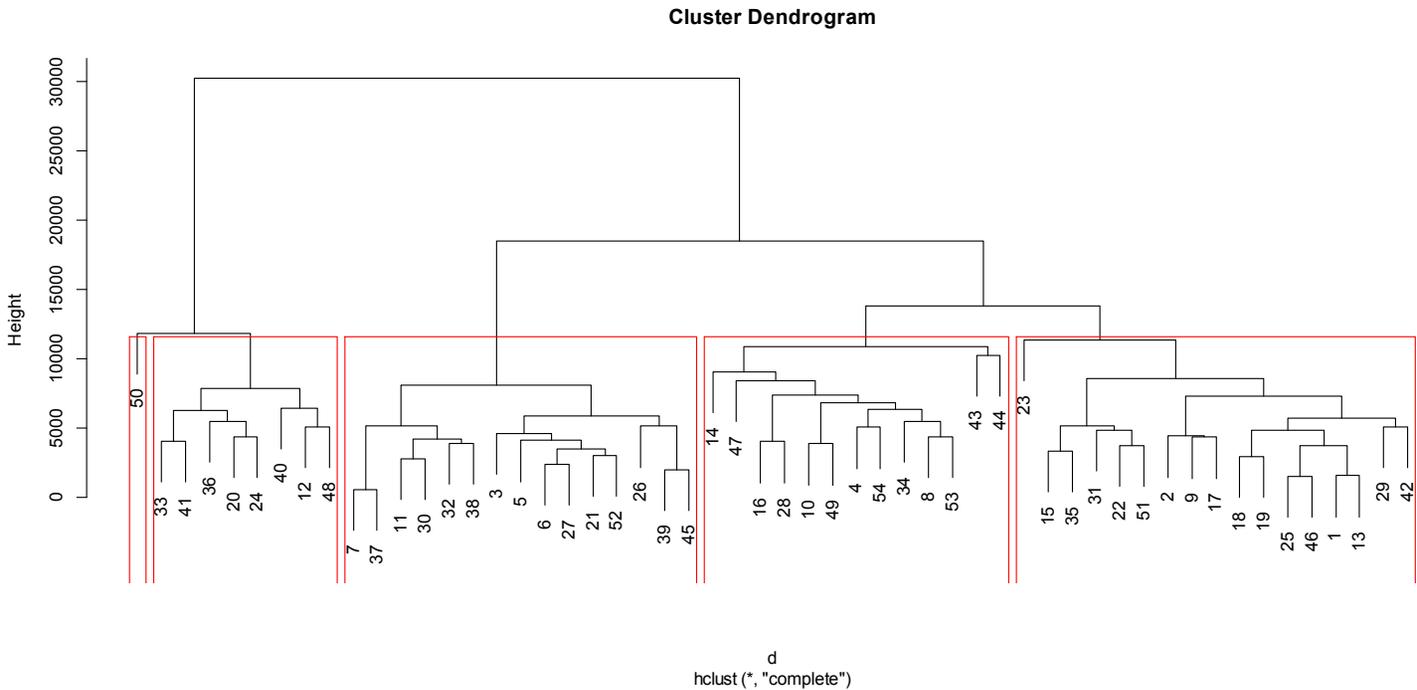




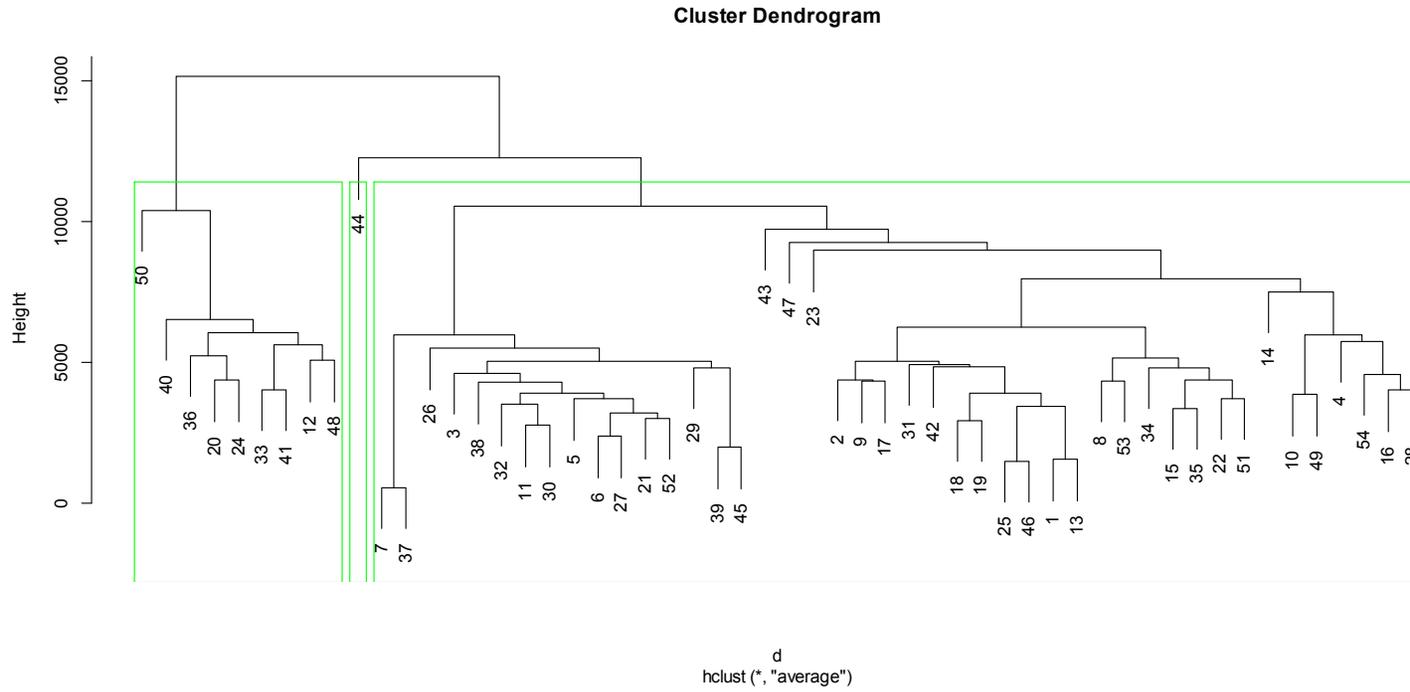
# A4 - COMPLETE



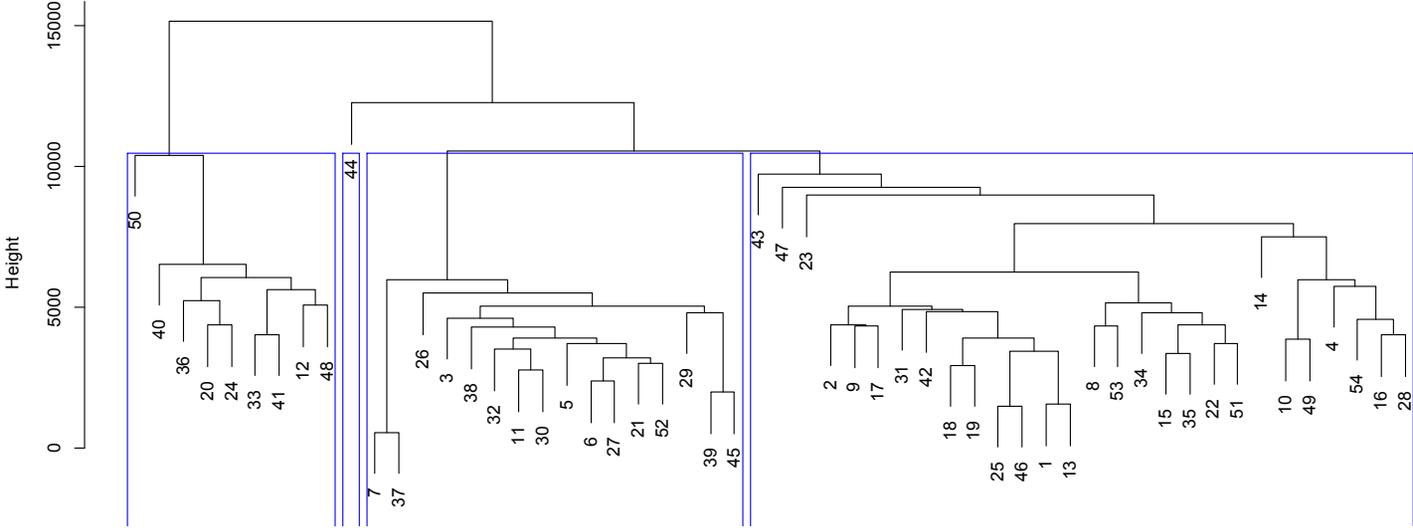




# A5 - AVERAGE

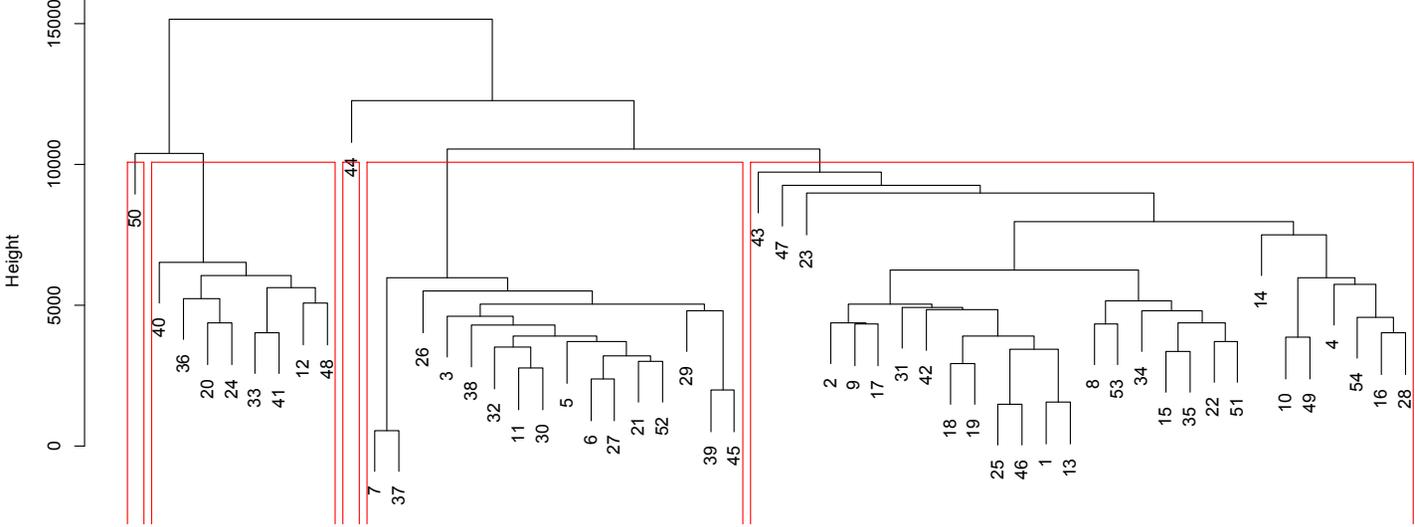


Cluster Dendrogram



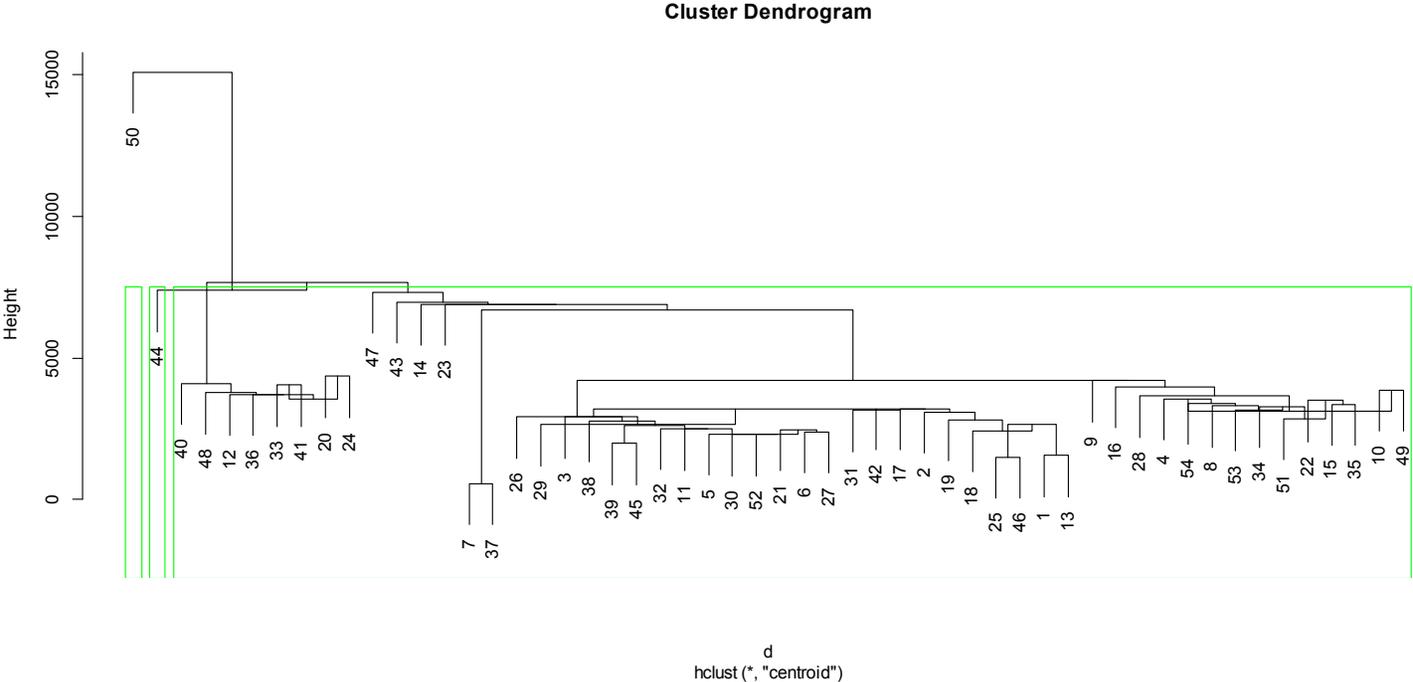
```
d  
hclust(*,"average")
```

Cluster Dendrogram

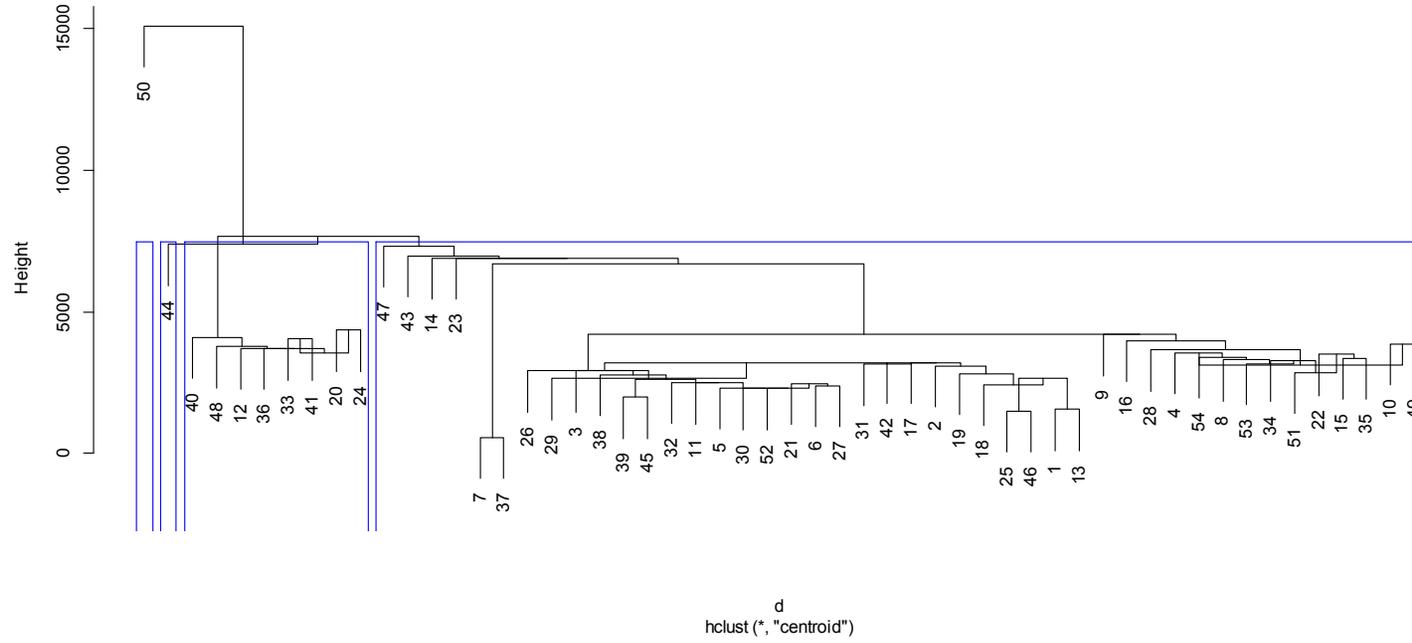


d  
hclust(\*,"average")

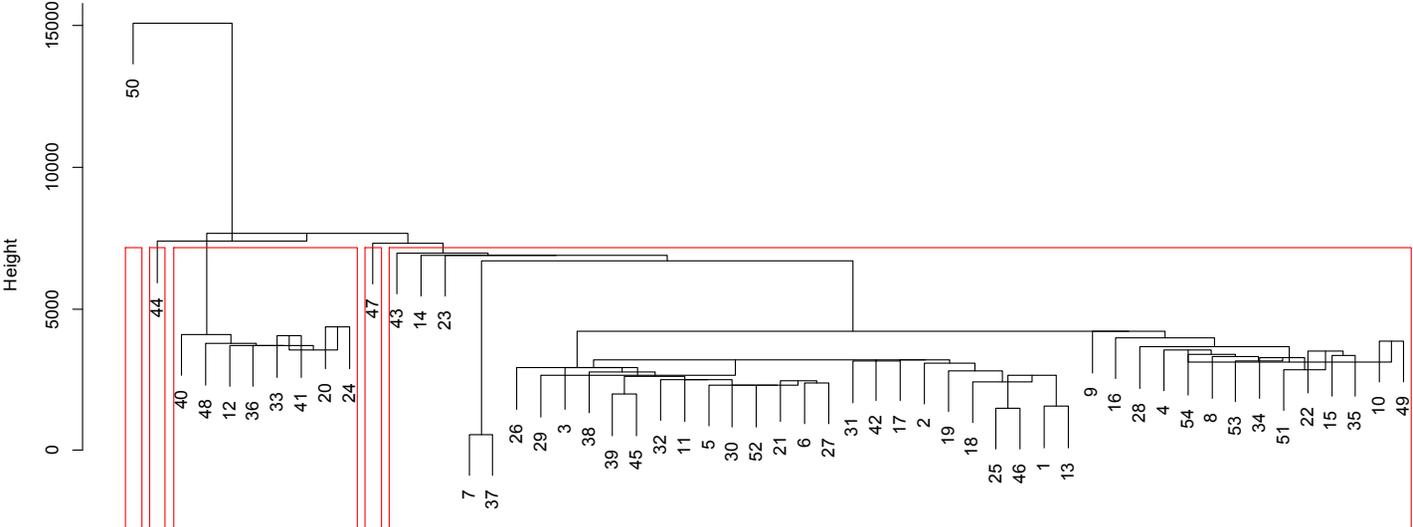
# A6 - CENTROID



Cluster Dendrogram

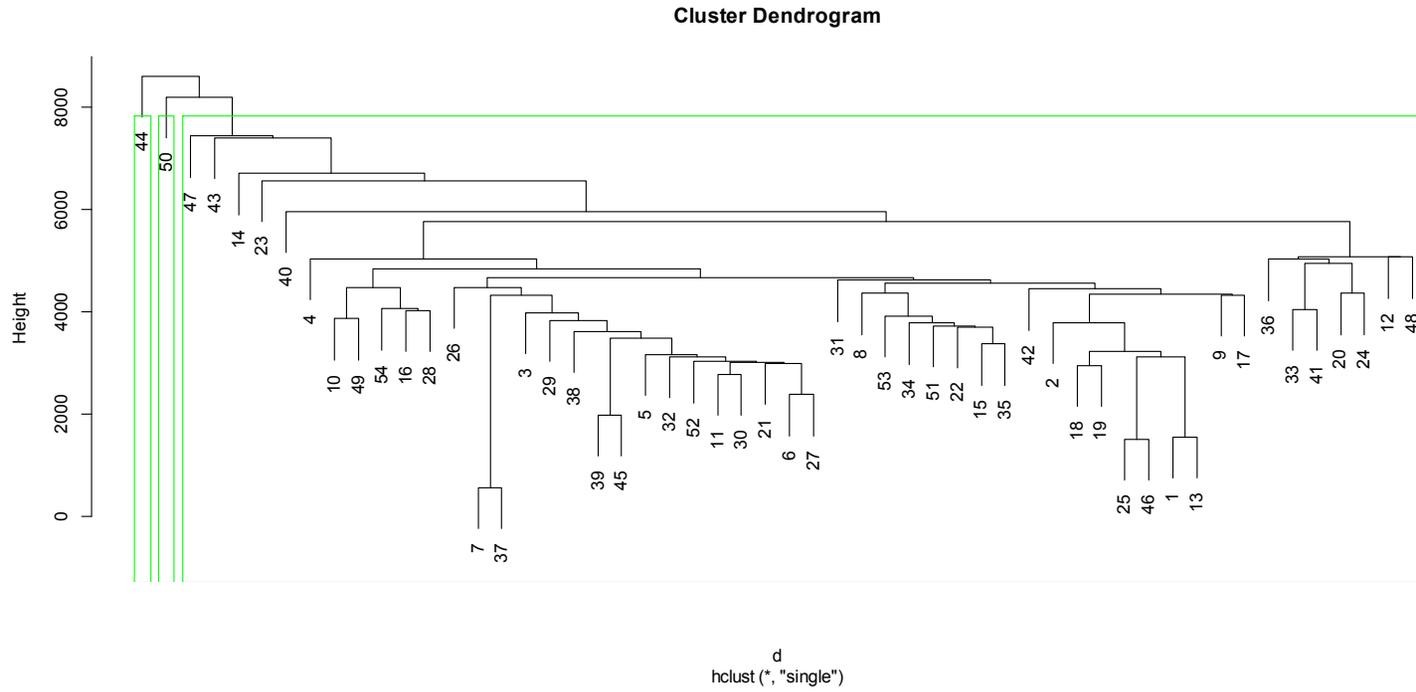


Cluster Dendrogram

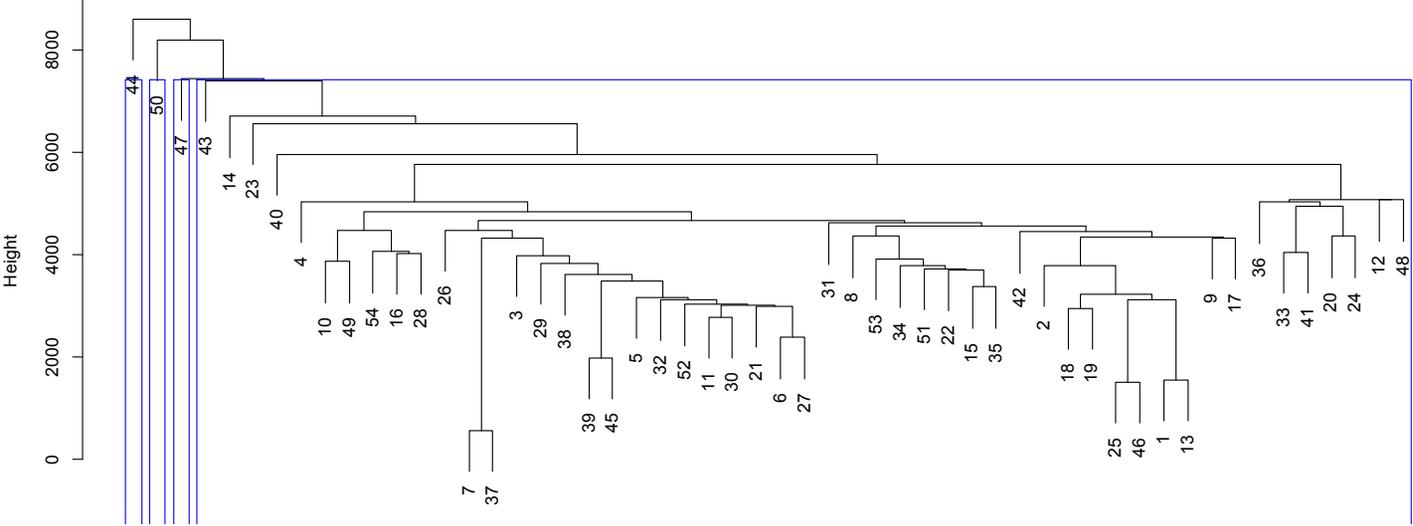


d  
hclust(\*, "centroid")

# A7 - SINGLE

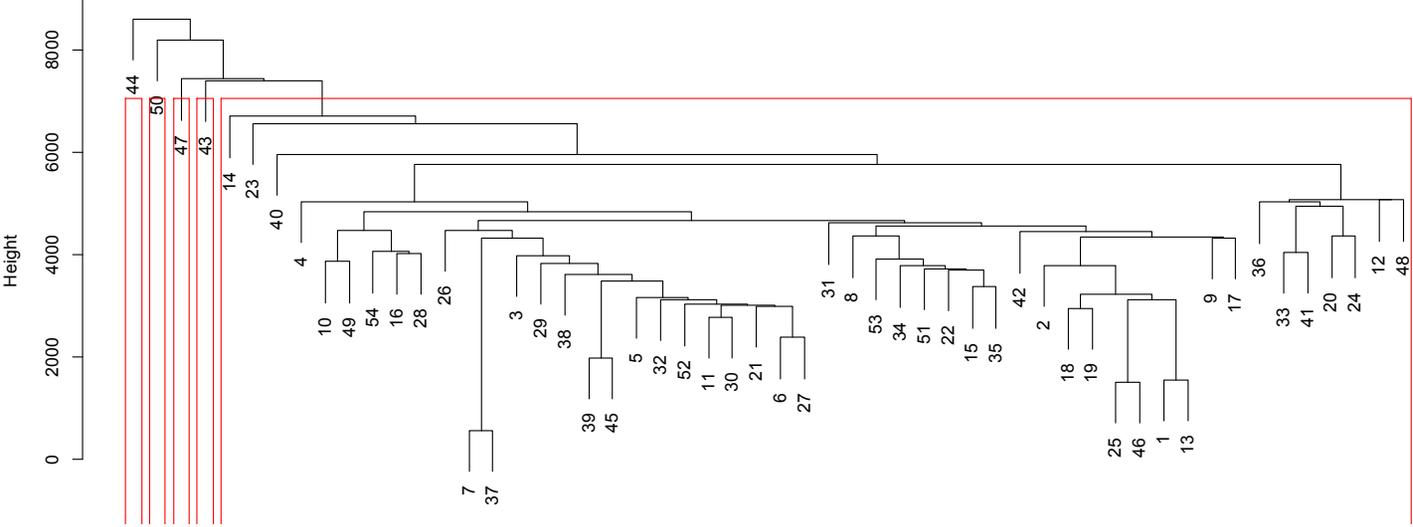


Cluster Dendrogram



d  
hclust(\*,"single")

Cluster Dendrogram



d  
hclust(\*,"single")