



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL**

**CAMPUS ARAPIRACA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE - PPGAA**

**MESTRADO EM AGRICULTURA E AMBIENTE**

**MAYARA RODRIGUES NASCIMENTO**

**ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO MUNDAÚ, NO TERRITÓRIO ALAGOANO UTILIZANDO MODELOS  
MATEMÁTICOS**

**ARAPIRACA**

**2023**

Mayara Rodrigues Nascimento

Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, no território  
alagoano utilizando modelos matemáticos

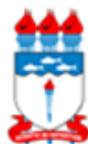
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* de Arapiraca, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos

Arapiraca

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
*Campus Arapiraca*  
Biblioteca Setorial *Campus Arapiraca* - BSCA

- N244e Nascimento, Mayara Rodrigues  
Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano utilizando modelos matemáticos [recurso eletrônico] / Mayara Rodrigues Nascimento. – Arapiraca, 2023.  
61 f.: il.
- Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos.  
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos.  
Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2023.  
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus Arapiraca*).  
Referências: f. 54-61.
1. Bacia hidrográfica - Manejo. 2. Erosão hídrica. 3. Precipitação pluviométrica.  
I. Santos, Cícero Gomes dos. II. Santos, Márcio Aurélio Lins dos. III. Título.

CDU 636

Mayara Rodrigues Nascimento

Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, no território  
alagoano utilizando modelos matemáticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- graduação  
em Agricultura e Ambiente – PPGAA da Universidade  
Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* de Arapiraca, para  
a obtenção do título de Mestre em Agricultura e  
Ambiente.

Data de aprovação: 26/07/2023.

### Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 CICERO GOMES DOS SANTOS  
Data: 03/08/2023 21:55:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Campus Arapiraca  
(Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 MARCIO AURELIO LINS DOS SANTOS  
Data: 25/09/2023 16:22:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Campus Arapiraca  
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente  
 KAMILA ANDRADE DE OLIVEIRA EMILIANO  
Data: 28/07/2023 21:15:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kamilla Andrade de Oliveira  
Universidade Federal do Maranhão – UFMA  
(Examinadora)

Documento assinado digitalmente  
 JOSE THALES PANTALEAO FERREIRA  
Data: 03/08/2023 21:45:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Thales Pantaleão Ferreira  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL  
Campus Santana do Ipanema  
(Examinador)

Dedico primeiramente a Deus essa grandiosa conquista, aos meus avós Mariana Rodrigues e Francisco Leres *in memoriam*, que me ensinaram a ter admiração pela agricultura e sempre acreditaram que eu poderia chegar tão longe quanto eu quisesse. A minha Mãe Maria Rodrigues por todo seu amor incondicional, e por acreditar mais em mim do que mesma. A minha irmã gêmea Maiane Rodrigues que é a minha rocha e faz com que a jornada misteriosa da vida seja mais fácil de lidar em sua companhia, ao meu irmão Luiz Fernando por me apoiar e me entender de uma forma que poucos fazem e ao meu padrasto Francisco por todo o apoio e sacrifícios realizados que me fizeram chegar a esse momento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por tudo que conquistei em minha vida. A minha família, que me apoiou incondicionalmente nessa jornada da pós-graduação, não foi fácil e por isso sou grata a minha mãe, minha irmã, irmão e padrasto. Agradeço também aos tios, tias, primos e primas pelo apoio e por se sentirem orgulhosos.

As minhas colegas e amigas de turma, Vanda, Ellen, Renata, Marinez e Raquel, a minha conterrânea maranhense Jéssia por me receber super bem e ser sempre prestativa, e em especial gostaria de agradecer minha grande amiga Edilene, a primeira aula de Ecofisiologia Vegetal nos uniu até hoje, gratidão por todo o apoio durante o curso, por cuidar muito bem de mim quando estive em Alagoas e pelas conversas positivas que compartilhamos. Agradeço a todos os meus amigos, principalmente a Keila uma das minhas melhores amigas que a vida me deu, quando o mundo está contra mim sei que posso contar com ela, que sempre esteve ao meu lado compartilhando dos bons e maus momentos, ao meu melhor amigo Raul ao qual sei que posso contar pra qualquer coisa nesse mundo.

Agradeço grandiosamente ao meu orientador Cícero Gomes dos Santos por ser o melhor orientador que eu poderia ter, seu apoio e orientação foram cruciais para que eu concluísse essa etapa tão importante da minha jornada acadêmica, deixo aqui minha eterna admiração pelo excelente profissional que o senhor é. Agradeço ao professor Marcio Aurélio coordenador do programa por sempre está disposto a resolver todos os problemas que surgiram ao longo do curso, sou grata aos demais professores do programa pela contribuição acadêmica.

E ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, a Universidade Federal de Alagoas do campus de Arapiraca por me acolher como discente. Sou grata a FAPEAL pela bolsa de mestrado a qual fui contemplada que foi de suma importância para a conclusão do curso.

“A função da educação é ensinar a pensar intensamente e pensar criticamente. Inteligência mais caráter: esse é o objetivo da verdadeira educação.”

**Martin Luther King Jr.**

## RESUMO

O conhecimento dos fatores que exercem influência no processo erosivo hídrico vem ganhando destaque que se trata de manejo e conservação de recursos naturais, principalmente em bacia hidrográfica, que representa um recorte territorial que abrange diferentes ambientes geomorfológicos. A precipitação, dentre os fatores que atuam na erosão, recebem destaque por adicionar energia cinética no sistema, que é descrita como erosividade das chuvas, que é função exclusiva das características físicas da chuva, representada pelo diâmetro das gotas, intensidade e a velocidade terminal. Dentre os grandes desafios no estudo da erosividade, consiste em transformar valores de precipitação, em valores matemáticos para sua utilização em modelos matemáticos. Nesta busca, já foram desenvolvidos vários modelos matemáticos, principalmente com a utilização de dados pluviométricos, que não é o método padrão de estimativa da erosividade das chuvas. O presente trabalho tem como objetivo determinar a erosividade das chuvas com base em dados pluviométricos de dez municípios da porção da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano, utilizando-se três modelos matemáticos. A bacia hidrográfica do Rio Mundaú, está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, em seu curso percorre em diferentes domínios morfoclimáticos que vão desde a região do Semiárido ao Litoral. Na parte alagoana da bacia, corresponde à sua metade inferior, inserida no recorte territorial de quinze municípios alagoanos. Nesta pesquisa foram analisadas informações pluviométricas de dez municípios integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano, no período de observação pluviométrica de 1963 a 1985, com dados oriundos do banco de dados pluviométricos na Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Para obtenção dos valores de erosividade das chuvas, foram utilizados os modelos propostos por Lombardi Netto; Moldenhauer, Rufino e colaboradores e Rufino e Colaboradores, todos desenvolvidos na década de 90. O modelo proposto por Lombardi Netto; Moldenhauer, na década de noventa, na análise estatística apresentou as maiores médias de erosividade em todos os municípios analisados que englobam a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, exceto em São José da Laje onde o modelo com maior média foi o de Rufino e colaboradores. Na análise da relação entre a precipitação e erosividade mensal o modelo que apresentou os maiores índices de erosividade foi o modelo de Moraes e colaboradores em todos os municípios observados no estudo. O município de Satuba foi caracterizado como a maior média anual de precipitação o que conseqüentemente colaborou para os maiores índices de erosividade entre todos os municípios analisados. Em todos municípios analisados os meses mais chuvosos foram os meses de maio, junho e julho, e os

meses com menor incidência de chuvas foram novembro e dezembro, com isso apresentaram os menores índices de erosividade na avaliação dos três modelos matemáticos.

**Palavras-chave:** manejo de bacia hidrográfica; precipitação pluviométrica; erosão hídrica.

## ABSTRACT

The knowledge of the factors that exert influence on the water erosion process has been gaining prominence that it is about management and conservation of natural resources, mainly in the hydrographic basin, which represents a territorial cut that covers different geomorphological environments. Precipitation, among the factors that act on erosion, is highlighted for adding kinetic energy to the system, which is described as rainfall erosivity, which is an exclusive function of the physical characteristics of rain, represented by the diameter of the drops, intensity and terminal velocity. One of the major challenges in the study of erosivity is to transform precipitation values into mathematical values for use in mathematical models. In this search, several mathematical models have already been developed, mainly using rainfall data, which is not the standard method for estimating rainfall erosivity. This work aims to determine the erosivity of rainfall based on rainfall data from ten municipalities in the portion of the Mundaú River Basin, in Alagoas territory, using three mathematical models. The Mundaú river basin is located in the states of Pernambuco and Alagoas, in its course it crosses different morphoclimatic domains that range from the semi-arid region to the coast. In the Alagoas part of the basin, it corresponds to its lower half, inserted in the territorial cut of fifteen municipalities in Alagoas. In this research, rainfall information was analyzed from ten municipalities that make up the Mundaú River Basin, in Alagoas territory, in the rainfall observation period from 1963 to 1985, with data from the rainfall database at the Superintendence of Northeast Development (SUDENE). To obtain rainfall erosivity values, the models proposed by Lombardi Netto were used; Moldenhauer, Rufino *et al.* and Rufino *et al.*, all developed in the 90's. The model proposed by Lombardi Netto; Moldenhauer, in the nineties, in the statistical analysis presented the highest averages of erosivity in all the analyzed municipalities that encompass the Mundaú River Basin, except in São José da Laje, where the model with the highest average was that of Rufino *et al.* In the analysis of the relationship between precipitation and monthly erosivity, the model that presented the highest erosivity indices was the model by Morais *et al.* in all municipalities observed in the study. The municipality of Satuba was characterized as having the highest average annual precipitation, which consequently contributed to the highest rates of erosivity among all the analyzed municipalities. In all municipalities analyzed, the rainiest months were May, June and July, and the months with the lowest rainfall were November and December, thus presenting the lowest erosivity indices in the evaluation of the three mathematical models.

**Keywords:** watershed management; rainfall; water erosio

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú no território do estado de Alagoas.....	25
Figura 2 - Mapa do zoneamento das classes de solo presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú AL.....	30
Figura 3 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) (Figura A); modelo proposto por Morais <i>et al.</i> (1991) (Figura B) e Rufino <i>et al.</i> (1993) (Figura C) para os dez municípios integrante a porção alagoana da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.....	40
Figura 4 - Gráfico de precipitação média anual para os municípios Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibataguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a BHRM-AL.....	45
Figura 5 - Gráficos de Correlação entre a erosividade média e a precipitação para os Municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibataguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Mundaú, modelo (A) proposto por Lombardi Neto (1992); modelo (B) proposto por Morais <i>et al.</i> (1991) e modelo (C) proposto por Rufino <i>et al.</i> (1993) para os anos de 1963 à 1985.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios com dados pluviométricos.....	26
Tabela 2 - Classes de Erosividade das chuvas para o Fator R.....	27
Tabela 3 - Resultado da estatística descritiva dos dados de erosividade nos municípios em estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú em território Alagoano.....	35
Tabela 4 - Médias mensais de precipitação pluviométrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, em território alagoano, para o período de 1963 a 1985.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CV	Coeficiente de variação
AL	Estado de Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
E	Energia cinética
EI	Índice de Erosividade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solo
HA	Área em Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
MJ	Mega joule
mm	Milímetro
NEB	Nordeste Brasileiro
R	Estimativa da Erosividade de chuva
R <sub>c</sub>	Coeficiente de chuva
R <sub>x</sub>	Fator R
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geodésico
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
USLE	Equação Universal de Perda de Solo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1	Uso e ocupação do solo.....	15
2.2	Estudo de Bacias Hidrográficas .....	16
2.3	Erosão hídrica e seus processos .....	18
2.4	Fatores de erosividade do solo .....	20
2.5	Modelos de estimativa de perda de solo .....	21
2.6	Manejo e Conservação do solo .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1	Descrição da área de estudo .....	25
3.2	Estimativa da erosividade da chuva por modelos matemáticos.....	26
3.3	Estimativa do coeficiente de chuva (Rc) .....	26
3.4	Estimativa da erosividade das chuvas através modelos matemáticos.....	26
3.5	Procedimentos para análise dos tipos de solo da BHRM .....	27
3.6	Estatística Utilizada para análise de dados .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1	Zoneamento dos solos presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú .....	29
4.2	Análise estatística descritiva da erosividade das chuvas na Bacia hidrográfica do Rio Mundaú-AL.....	31
4.3	Análise da classificação mensal dos índices de precipitação média e erosividade das chuvas na área da BHRM.....	35
4.5	Análises das médias anuais de precipitação pluviométrica e da erosividade na BHRM...	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em função do uso e ocupação do solo brasileiro, cada vez mais intenso e desordenado, os ecossistemas do país vêm passando por alterações na maior parte das vezes prejudiciais ao equilíbrio ambiental e por muitas vezes irreversíveis (SILVA, 2020). Ao analisar de forma mais específica em um cenário menor e mais centralizado observa-se as transformações e interações que sucedem uma bacia hidrográfica, de acordo com Oliveira *et al.* (2022) essas mudanças que ocorrem no uso e cobertura do solo são tanto por razões naturais quanto pela antropização, essas alterações contribuem para acelerar processos de degradação de recursos naturais como a perda de solo em virtude da erosão hídrica.

As propriedades morfométricas, climáticas e biológicas de uma bacia hidrográfica são fatores determinantes de seus processos morfogenéticos relacionados ao regime fluvial, como a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos. Nessa perspectiva o escoamento superficial e suas modalidades constituem um dos principais agentes erosivos em bacias hidrográficas semiáridas. A erosão dos solos apesar de ter causas naturais como a morfometria do relevo, os aspectos físicos do solo e a intensidade e duração da precipitação, pode ainda ser intensificada pela ação antrópica através do uso do solo como recurso natural (SAMPAIO *et al.*, 2016).

Para Aguiar (2022), a erodibilidade dos solos pode ocorrer naturalmente principalmente quando está relacionada a fatores que agravam essa susceptibilidade como o tipo de solo, topografia, clima e a morfologia da região, tudo isso atrelado as atividades antrópicas de forma intensiva e o manejo inadequado do solo corroboram para altos índices de perda do solo. Segundo Back *et al.* (2018), pesquisas que abordam o conhecimento do potencial de erosividade das chuvas e sua influência sobre as classes de solos e relevo de uma região promovem a oportunidade de se mapear as áreas mais propensas a riscos de possíveis impactos ambientais em razão da erosão.

Deste modo, Silva (2018) afirma que ao realizar estudos sobre o comportamento dos sistemas climáticos e ambientais que ocorrem em uma bacia hidrográfica possibilita a geração de um banco de dados com características que visem fornecer aplicação de medidas com intuito contribuir para o gerenciamento de práticas de conservação dos solos. A implementação de estudos de modelos sustentáveis em bacias hidrográficas visando a preservação, utilização e dinâmica do meio ambiente possui um papel importante como ferramenta de gestão dos recursos ambientais (BASSO, 2018). Segundo a classificação de Silva (2018) a da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas representa grande importância tanto em aspectos econômicos como ambientais, nela ocorrem

fenômenos de precipitação e estiagem que influenciam em outros sistemas ambientais, principalmente nos processos erosivos que podem estar relacionados a variabilidade das chuvas nessa região. A porção da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú em território alagoano compreende o recorte território de quinze municípios, nesta pesquisa abordaremos a variabilidade da precipitação pluviométrica de dez municípios. O presente trabalho tem como objetivo determinar a erosividade das chuvas com base em dados pluviométricos de dez municípios da porção da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano, utilizando-se três modelos matemáticos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Uso e ocupação do solo

Em função do uso e ocupação do solo brasileiro, cada vez mais intenso e desordenado, os ecossistemas do país vêm passando por alterações na maior parte das vezes prejudiciais ao equilíbrio ambiental e por muitas vezes irreversíveis (SILVA, 2020). De acordo com Oliveira *et al.* (2022) é imprescindível que haja mais discussões para tratar das mudanças que ocorrem em razão do uso desordenado da terra, tanto no que se refere as alterações naturais como as antrópicas.

Para Taelman *et al.* (2016) a forma como o homem manuseia os recursos naturais está fortemente ligada a fenômenos de degradação ambiental, um dos recursos com o mais alto teor de degradação é o solo, que nos últimos anos vem sendo bastante utilizado principalmente com o avanço da agricultura no Brasil, em razão disso é necessário observar as mudanças que comprometem sua qualidade. Os solos constituem um recurso natural imprescindível para o equilíbrio dos ecossistemas, bem como para o desenvolvimento humano, pois nele estão presentes as fontes vitais para o desenvolvimento vegetal, possibilitando a implementação de práticas de agricultura e pecuária e desempenham papéis fundamentais no ciclo hidrológico. Entretanto, sua constante exposição às interferências negativas de seu uso inadequado e sem o conhecimento das suas potencialidades e fragilidades tem causado sérias consequências como, por exemplo, a aceleração dos processos erosivos (FLANAGAN *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2018; RICARDI e LIMA, 2021).

Segundo Nunes (2015) todo tipo de ambiente é passível de sofrer processos erosivos, embora alguns possam apresentar uma maior predisposição, isso tem relação com a geomorfologia da região, fatores importantes como presença ou ausência de vegetação que propicie a cobertura do solo influenciam para diminuir ou potencializar os processos erosivos. De forma simplificada, a capacidade de uso do solo visa então selecionar técnicas para a utilização de terras que sejam mais adequadas e adaptadas para uma dada área, de forma que não ocorra qualquer tipo de degradação ambiental, com o mínimo de perdas possíveis e que os solos permaneçam estáveis, quanto à sua estrutura original, sem a diminuição de sua capacidade produtiva natural (TAGLIARINI *et al.*, 2019).

Diante disso, Silva *et al.* (2019) afirma que é de suma importância se conhecer as características ambientais de uma bacia hidrográfica a fim de se estabelecer medidas de subsídios que proporcionem apelar os impactos ambientais ocasionados principalmente em atribuídas a erosão.

## 2.2 Estudo de Bacias Hidrográficas

O estudo da cobertura e uso da terra de bacias hidrográficas tem se tornado fundamental para o planejamento de diversas atividades humanas e a avaliação de impactos que geram no regime hidrológico. Analisar as alterações temporais na vegetação de uma bacia hidrográfica de forma conjunta com outros aspectos hidrológicos como precipitação e vazão pode trazer uma compreensão mais ampla sobre os sistemas ambientais da bacia, seu nível de degradação, sua correlação com o regime hidrológico e utilizar essas informações para melhor gerir os recursos naturais da mesma (SILVA, 2020). Silva e Farias (2021) explicam que para conhecer o comportamento de uma bacia hidrográfica é necessário analisar as características morfométricas que a constituem, pois nessa abordagem o conhecimento engloba não somente fatores de distribuição hídrica, mas também o quão vulnerável essa bacia pode estar. A realização de análises morfométricas promovem a geração de dados que possibilitam o entendimento de fatores relacionados a ocorrência de enchentes, deslizamentos e erosão do solo.

Ao realizarem um estudo sobre bacias hidrográficas, Souza e Paula (2019) indicaram que a intensidade em que processos erosivos ocorrem podem ser bastante complexos, principalmente ao avaliar as características regionais as quais a bacia está inserida, isso acontece especialmente na região Nordeste do país, como é o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.

A bacia hidrográfica do rio Mundaú ocupa a parte centro-norte-oriental de Alagoas, drenando as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Maceió. O rio Mundaú, o principal da bacia, nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas na cachoeira da Escada, ao sul da cidade de Correntes e noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú, atravessa a área central da Mata Alagoana e chega ao litoral, com a sua foz afogada formando a Lagoa Mundaú (TENÓRIO, 1985).

Segundo Fragoso Junior *et al.* (2010) a BHRM desempenha um papel crucial para a economia dos dois estados que a abrange, mesmo com sua constituição topográfica bastante heterogênea e com o relevo acidentado que promove a incidência de enchentes na região. que

## 2.3 Variabilidade climática e sua influência nos processos de erosão do solo

Uma das principais características da pluviosidade é o seu potencial em ocasionar erosões. A erosão pode ser entendida como produto final da interação chuva/solo e é, portanto, uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em

resistir (TERASSI *et al.* 2016). Conhecer a magnitude da erosividade das chuvas e seu comportamento espaço-temporal é de suma importância para o planejamento ambiental em relação a práticas de manejo e de conservação do solo e da água (PESSOA *et al.*, 2022).

As elevadas intensidades das precipitações pluviométricas no Nordeste brasileiro, aliadas às diversas fragilidades ambientais originárias, principalmente a irregularidade hídrica, têm ocasionado processos com resultados cada vez mais efetivos de perda de solos das bacias hidrográficas e de altas taxas de escoamento superficial (SOUSA, 2018).

Diversos eventos climáticos atuam na região Nordeste do Brasil, do qual, resultam em uma característica do clima da região. Estes eventos extremos são desencadeados em sua grande maioria pelas ações antrópicas ao meio ambiente de forma isolada ou relacionado a fatores ambientais e regionais e ainda sendo influenciados pelos sistemas meteorológicos atuantes, resultando em longos períodos de seca ou chuvas de altas intensidades em um curto período de tempo (LIMA *et al.*, 2021). Em decorrência da grande variabilidade climática observada em diversos trabalhos de alguns municípios que compõem a BHRM no estado de Alagoas ao estudarem o clima da região do Nordeste Barros *et al.* (2012) identificaram que o estado de Alagoas apresenta heterogeneidade em suas características climáticas em razão de sua localização geográfica, possuindo um regime de chuvas irregular, o que pode estar relacionado a circulação atmosférica oceânica e que também tem influência dos sistemas de mesoescala. Isso favorece a intensidade do potencial de erosividade dos solos da região dessa bacia, pois as condições climáticas aliadas a fatores topográficos e exposição do solo contribuem para a maximização de perda do solo de acordo com Souza *et al.* (2020).

É importante salientar que os estudos sobre o clima têm grande relevância em todas as escalas (micro, meso e macroescalas). É fundamental correlacionar os dados de diferentes regiões, em diferentes escalas (espaço-temporais). Torna-se fundamental também observar atentamente as semelhanças e diferenças em diferentes escalas (espaço-temporais), para que não se utilize de forma viciosa de generalizações grosseiras e superficiais que pouco contribuem para o desenvolvimento regional e atrasa o entendimento sobre os diferentes climas e suas variabilidades, em suas especificidades e nas suas correlações com o todo (SILVA, 2020).

Os fatores condicionantes da erosão são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão e podem ser subdivididos em erosividade (causada pela chuva), erodibilidade (propriedades do solo), características das encostas e cobertura vegetal. A interação entre esses fatores, associada à ação antrópica, pode agravar a ocorrência da erosão, condicionando processos acelerados (GUERRA, 1998; NEVES, 2016).

A relação entre os fluxos de água presentes em uma dada região corroboram com fatores

climáticos como afirmam Batista *et al.* (2015), principalmente em função das variações térmicas. Regiões onde há forte ocorrência de chuvas geralmente são acometidas pela ação de processos erosivos e conseqüentemente perda de solo. Para Terassi *et al.* (2016) ter o conhecimento do potencial erosivo ocasionado pela ação das chuvas é crucial para desenvolver medidas de controle e prevenção de perda de solo, ainda indicam a elaboração de planejamento baseada nas informações projetadas para a gestão de bacias hidrográficas.

Quanto maior a disposição de dados atribuídos a uma bacia hidrográfica melhor a possibilidade de gerir os recursos naturais que a constitui, Lima *et al.* (2021) acreditam que o aumento de processos erosivos em escala urbana e rural são também um problema de ordem pública e que devem ser tomadas decisões quanto a minimização dos impactos ocasionados pela erosão.

### 2.3 Erosão hídrica e seus processos

A erosão causada pela ação da chuva é denominada de erosão hídrica, este processo de desgastes dos solos atinge a maior parte do planeta (ZACHAR, 1982). Dentre os tipos de erosão hídrica pode-se destacar a erosão laminar, que corresponde à remoção relativamente uniforme do solo, em camadas finas; as ravinas (ou erosão em sulcos) que correspondem a pequenos canais formados pela concentração de fluxo de água sobre o solo; e as voçorocas, que representam canais d'água profundos e intermitentes que podem ser interceptados por fluxos de água maiores, sendo mais difíceis, às vezes impossíveis, de serem recuperados (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2014; BRANDÃO *et al.*, 2017).

De acordo com Sousa e Morais (2017), a erosão hídrica acontece principalmente em regiões de clima tropical e está relacionada com características de solo, vegetação e topografia, podendo apresentar singularidade em sua intensidade. A erosão hídrica é causada pelo impacto das gotas de chuvas que promovem a desagregação de partículas do solo que, posteriormente, são transportadas pelo escoamento superficial. Conhecer o potencial erosivo das chuvas é crucial para estimar a perda de solo (SHAMSHAD *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2014; TRINDADE *et al.*, 2016).

Para Pruski (2009) a erosão hídrica tem início com a ocorrência de chuvas, e a força que as gotículas de água causam na superfície promove a desagregação do solo desprotegido, pois a presença de vegetação em alguns terrenos diminui o impacto da água. A intensidade da chuva também condiciona esse desprendimento de partículas do solo, ocorrendo a transferência de material de um local a outro, e o acúmulo desse material causa deposição quando o volume é

superior a capacidade de transporte das partículas.

Um dos processos de degradação influenciados pela variabilidade é a erosão, que quando agravados, causam prejuízos econômicos e ambientais (SÁ, 2018). Geologicamente, a erosão é um processo inerente à formação do solo. Entretanto, o aumento das taxas de erosão em diversos locais do planeta está correlacionado com o aumento da pressão humana exercida sobre os recursos naturais (SIMÕES, 2013). O termo erosão é utilizado na geologia para caracterizar os processos de delineamento da paisagem, que ocorrem devido à desagregação de partículas do solo ou da rocha em função da ação dos agentes erosivos. Esse processo varia no tempo e no espaço e ocorre quando as forças que atuam removendo e transportando os materiais excedem as forças resistentes (ZACHAR, 1982; NEVES, 2022).

Por ser um processo natural, a erosão pode ser potencializada se não houver uso adequado, pois o solo também desagrega partículas por ação dos ventos, fatores biológicos e químicos, mas principalmente pela ação da água assim como afirma Leite (2016) o desprendimento das partículas de solo são arrastadas e levadas para outros locais, geralmente para cursos d'água. Os processos erosivos urbanos decorrem da combinação de fatores naturais agravados pela ação antrópica. Erosões lineares provocam grande quantidade de sedimentos, contribuindo para o assoreamento de cursos d'água e o aumento do nível de enchentes (BIGHETTI *et al.*, 2020).

De acordo com Neves (2016) os processos erosivos se correlacionam com fatores de perda de solo que são potencializados, sendo de características climáticas, geológicas e hidrológicas, e a maioria dos estudos são atribuídas a ação das chuvas como ator fundamental integrada aos demais fatores para a ocorrência de erosão no solo, esses estudos identificam e determinam as áreas mais impactadas e com maiores índices.

Para Wischmeier e Smith (1978) apesar de haver grande avanço no que se refere ao crescimento econômico e importância da agricultura no país a exploração agrícola é um dos principais responsáveis pela aceleração dos processos erosivos do solo, os autores destacam que ao estimar os índices de erosão pode-se aplicar práticas que visem a conservação do solo. O arraste de partículas da camada arável de solos agricultáveis pode reduzir sua capacidade produtiva em razão da perda da camada de solo mais bem formada e com maior teor de matéria orgânica. (EVANGELISTA *et al.*, 2006).

A erosão hídrica é um dos principais problemas relativos ao uso dos solos no mundo e no Brasil, pois envolve o desprendimento, carreamento e deposição de suas partículas e que, simultaneamente, transportam elementos orgânicos e químicos adsorvidos para o ambiente aquático (PELLEGRINI *et al.*, 2008). Segundo Mercaldi e Furegatti (2020) o desenvolvimento

de metodologias que visem identificar os fatores condicionantes a erosão hídrica é primordial para se entender como ela ocorre e qual a influência de cada um desses fatores.

#### 2.4 Fatores de erosividade do solo

Existem vários fatores que influenciam na intensidade do processo erosivo, dentre eles estão as chuvas, as características físicas e químicas do solo, a topografia do terreno, e o uso e a cobertura vegetal do solo. A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, conforme o local de ocorrência (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012; CARVALHO *et al.*, 2006; SILVA, 2021). Diversas características naturais locais influenciam o processo de erosão, como: (a) o clima (quantidade de chuva); (b) a pedologia (tipo de solo); (c) a geomorfologia (formas do relevo); (d) a geologia (tipo de rochas); e (e) a cobertura e uso do solo (cobertura vegetal) (CREPANI *et al.*, 2001).

Para Bighetti *et al.* (2021), o clima é um dos fatores determinantes e que atribui significativamente para características importantes como a intensidade da chuva e a frequência em que ocorre. Essas análises são importantes pois considera-se que a intensidade das chuvas contribui para a aceleração dos processos erosivos, a energia contida nas gotas d'água desagregam o solo, que é transportado para outras áreas, que geralmente são terrenos mais baixos. Ao considerar constantes os fatores que interferem na perda de solo, à exceção das chuvas, diversos foram os trabalhos que observaram que as perdas de solos são proporcionais ao produto da energia cinética total e à intensidade máxima da chuva. Isso significa que a capacidade da chuva de proporcionar a desagregação das partículas de solo é diretamente proporcional ao tamanho das gotas, bem como à intensidade de precipitação (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

A determinação do potencial erosivo consiste no produto dos fatores: erosividade (R), erodibilidade (K), topografia (LS), cobertura vegetal (C) e práticas de conservação agrícolas (P) (SOUZA *et al.*, 2020).

Para Lee *et al.* (2011) o fator R é o fator com maior relevância para a realização de análises de erosividade do solo, pois permite quantificar a produção de sedimentos, o que classifica a importância desse fator é a capacidade de relacioná-lo com as mudanças climáticas e ambientais da região que será avaliada, e de acordo com Almeida Filho (2000) o fator K é influenciado em função dos tipos de solo que potencializam os processos erosivos, alguns possuem uma maior susceptibilidade por possuírem características físicas e químicas quanto a sua estrutura, porosidade, textura e composição, a textura arenosa de alguns solos contribui para ocorrência

de erosão em caso de um manejo inadequado.

Outro fator determinante na avaliação da erosividade do solo é o topográfico, onde se analisa a declividade atentando para a forma do relevo e comprimento de rampa, pois todas essas características influenciam no escoamento superficial e conseqüentemente nos índices de erodibilidade do solo assim como explica Guerra (1998). Terrenos mais acidentados favorecem o aumento do escoamento superficial, aumentando a capacidade erosiva do fluxo de água. A topografia atua de forma mais destruidora nos processos erosivos, quanto maior for a declividade do terreno (KUROWSKI, 1962).

O fator C relacionado a cobertura do solo de acordo com Vilar e Prandi (1993) é fundamental para evitar ou diminuir a capacidade de desprendimento de partículas do solo, esse fator também reduz a velocidade do escoamento superficial, pois a vegetação diminui o impacto das gotas de chuva. Os solos mais protegidos tendem a serem menos erodidos, e o fator P diz respeito as práticas conservacionistas que para Hernández *et al.* (2018) exercem grande importância na redução dos índices de erodibilidade do solo, um manejo adequado é crucial para a manutenção da qualidade do solo.

Ao longo dos anos foram desenvolvidas diversas metodologias que avaliam a capacidade de perda de solo tanto de forma natural quanto por influência antrópica, Batista *et al.* (2015) explicam que os modelos de estimativa de erosividade contribuem significativamente para que se possa quantificar os índices e as regiões de maiores perdas de solo.

## 2.5 Modelos de estimativa de perda de solo

Um problema comum a muitos municípios brasileiros é a presença de erosão do solo, o que pode levar a perdas materiais e até de vidas. O principal fator interveniente nesse fenômeno é a maior ou menor resistência do solo a ação das águas que resulta na erodibilidade, definido como um atributo do solo que representa sua vulnerabilidade à remoção de partículas. Vários modelos matemáticos têm sido elaborados e desenvolvidos para estimar o potencial a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais (GUEDES *et al.*, 2022).

Batista *et al.* (2021) explicam que erosão hídrica é um fenômeno que traz um alto grau de degradação ambiental em razão disso é necessário que sejam identificados os índices de erosividade e a capacidade de suscetibilidade da área. Os modelos matemáticos veem se tornando uma metodologia bastante eficiente no sentido de contribuir com bons resultados no que se refere a alcançar uma previsibilidade mais precisa. O fator erosividade das chuvas pode ser estimado pela análise de longas séries de dados pluviográficos ou, alternativamente, com o

uso de métodos pluviométricos (BACK, 2018).

A erosividade das chuvas constitui-se uma importante variável no diagnóstico da perda de solos em modelos preditivos (RICARDI e LIMA, 2021). A possibilidade de poder identificar e quantificar através de modelos matemáticos os períodos mais chuvosos do ano e associar esse fenômeno ao período de maiores perdas foi visto por Bertoni e Lombardi Neto (1990) como uma forma de se propor um planejamento para a aplicação de técnicas de conservação do solo. Silva *et al.* (2009) também correlacionam a eficiência da previsão dos índices de erosividade com o planejamento para gestão de áreas de risco de degradação ambiental.

É comum o uso de modelos matemáticos em bacias hidrográficas, como o uso de equações empíricas para obter parâmetros morfométricos e para predição de vazão. No entanto, alguns parâmetros matemáticos não são suficientes para caracterizar um fenômeno espacial, tendo em vista que acabam abstraíndo-o demasiadamente. Por exemplo, a declividade média de uma bacia, é uma informação abstrata menos precisa que a espacialização da declividade do relevo através de um mapa (SAMPAIO *et al.*, 2016).

Para Lima (2020) quanto mais dinâmico a geração de resultados baseada nos modelos de predição, melhor a probabilidade de se chegar a uma solução para a redução da erosão hídrica, e quando se propõe métodos de estimativa para bacias hidrográficas existe uma maior abrangência de dados. Atualmente o uso de ferramentas SIG contribuem com altos níveis de acurácia ao estimarem as perdas do solo como no caso de aplicação de modelos empíricos, gerando gráficos e mapas de interpretação. Os modelos hidrológicos atendem a necessidade de compreensão dos processos que controlam o movimento da água e sedimentos, e seus impactos sobre a disponibilidade e qualidade da água, e se consolidaram como importante ferramenta de representação desses processos com alto potencial para a simulação de cenários de mudanças climáticas, de alterações do uso do solo e de intervenções antrópicas em diferentes escalas espaciais e temporais (BLAINSKI *et al.*, 2017; PASSOS *et al.*, 2021; FERRONATO, 2022).

Em 1965 foi criado o modelo USLE (Universal Soil Loss Equation), que objetiva prever a erosão que ocorrerá em determinada área, servindo como método para auxiliar na tomada de decisão sobre o uso e o manejo do solo (SOUZA *et al.*, 2020). Na USLE a perda de solos é estimada pelo produto de seis fatores que influenciam a erosão, que são: a erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento da encosta (fator L), declividade da encosta (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). A erosividade da chuva tem importância destacada, pois é o parâmetro que representa a energia cinética que atua para desagregar o solo e para carregamento das partículas por escoamento superficial (BACK, 2018).

A EUPS possibilita um planejamento conservacionista capaz de manter essas perdas em níveis toleráveis. A determinação do fator R da USLE necessita de pelo menos 20 anos de séries históricas de precipitação e o EI30 é um dos parâmetros mais utilizados para a quantificação da erosividade, sendo o produto entre energia cinética da chuva (E) e sua maior intensidade num período contínuo de 30 min (I30) (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Souza *et al.* (2020) indicou a USLE como uma ferramenta que possui alta capacidade de estimar a perda de solo mesmo com baixo nível de informações de dados quando se compara com modelos mais complexos, sendo assim o modelo mais utilizado no Brasil para levantamento de dados de erodibilidade principalmente associado a técnicas de geoprocessamento.

## 2.6 Manejo e Conservação do solo

Os solos são de fundamental importância para a humanidade, entretanto as atividades antrópicas vêm exercendo forte pressão sobre este recurso, desencadeando processos erosivos (SIMONETTI *et al.*, 2018). O monitoramento das perdas de solo por erosão é fonte de informação relevante para a gestão do território, previsão de impactos e recomendações conservacionistas (BOTELHO, 2015). A degradação do solo se configura com uma das mais graves problemáticas ambientais, visto que o solo é considerado como um recurso finito, não renovável na escala de duração da vida humana (MOREIRA *et al.*, 2017).

Segundo Amaral (2017) a forma de manejo aplicada ao solo influencia na sua qualidade física e química, a expansão da agricultura no país sem o uso consciente do solo, acelera os processos de erosão hídrica em bacias hidrográficas por constituir uma área mais abrangente torna-se muito mais difícil a aplicação de práticas de conservação do solo, em especial na região nordeste que sofre com uma grande variabilidade climática.

O estudo de Parahyba *et al.* (2008) traz uma visão da importância de se realizar pesquisas englobando os tipos de solo e a tendência degradante que os envolvem, em uma bacia hidrográfica pode haver uma variedade de solos com características distintas e que necessitam de manejos diferenciados, com isso nota-se a importância de zoneamentos agrícolas e ambientais. Estas informações são importantes para o planejamento de práticas conservacionistas do solo, servindo também como critérios para orientar ações de defesa civil e segurança de obras e engenharia (BACK, 2018)

O planejamento conservacionista deve observar as características intrínsecas do local, como relevo, regime de chuvas e propriedades do solo, de modo a maximizar a produtividade agrícola por meio de sistemas eficientes que respeitem a capacidade produtiva do solo e seu

adequado aproveitamento (SILVA, 2022). Para Oliveira (2021) o conhecimento das características inerentes a uma determinada região corroboram para conduzir as melhores propostas de conservação. Bertoni e Lombardi Neto (2012) explicam que existem diversas técnicas que promovem a conservação do solo, entre elas as mais simples são as que empregam práticas vegetativas, edáficas e mecânicas, sendo as mais comuns as duas primeiras práticas citadas. Nas práticas vegetativas incorpora-se cobertura natural a fim de proteger o solo exposto contra processos erosivos diminuindo o escoamento superficial, nas práticas edáficas se altera o sistema de cultivo, contribuindo também com a fertilidade, aumento de matéria orgânica, visando a estabilização e controle da degradação do solo.

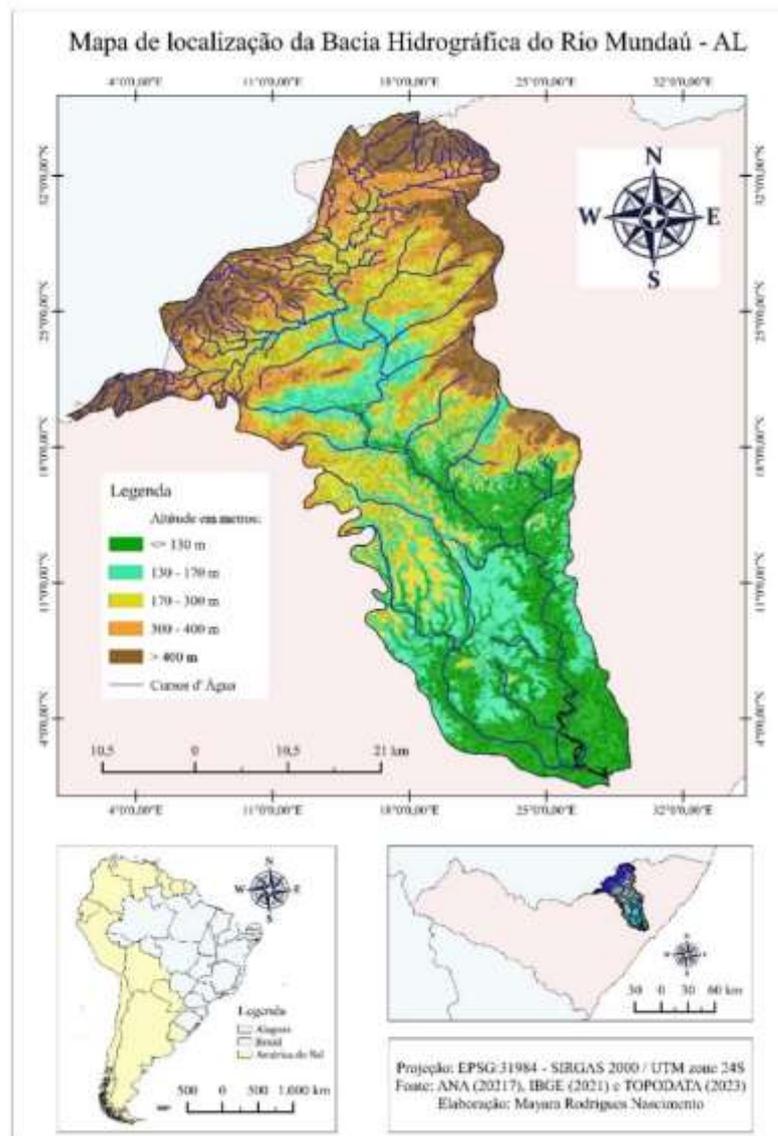
Conhecer a erosividade e sua variabilidade espacial subsidia a tomada de decisão sobre qual a melhor estratégia de uso e manejo de solo para dada região ou gleba com suas particularidades de solo e topografia, bem como de adoção de práticas conservacionistas para que perdas de solo por erosão sejam mínimas (COGO *et al.*, 2003; HICKMANN *et al.*, 2008; WALTRICK *et al.*, 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (Figura 1), está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas. O rio principal perpassa diferentes domínios morfoclimáticos que vão desde a Caatinga até o Litoral (SILVA, 2018). Na parte alagoana da bacia, que corresponde à sua metade inferior, a superfície é de 1.971 km<sup>2</sup>, onde estão inseridos total ou parcialmente, territórios de 15 municípios da Mesorregião do Leste Alagoano.

Figura 1- Mapa de localização e altitude da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú no território do estado de Alagoas



Fonte: A autora (2023).

### 3.2 Estimativa da erosividade da chuva por modelos matemáticos

Os dados de precipitação utilizados no presente estudo correspondem a uma série temporal de 22 anos para um período de 1963 à 1985, para a estimativa da erosividade das chuvas por modelos matemáticos foram selecionados dez municípios integrantes da porção alagoana da bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (Tabela 2), estes municípios foram selecionados em função da disponibilidade de dados de precipitação pluviométricas, oriundos dos arquivos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (BRASIL, 1990).

Tabela 2 - Municípios com dados pluviométricos

Município	Coordenadas	
	(Latitude)	(Longitude)
Atalaia	9° 30' 27" S	36° 1' 24" O
Capela	9° 24' 40" S	36° 4' 25" O
Flexeiras	9° 16' 22" S	35° 42' 54" O
Ibateguara	8° 58' 22" S	35° 56' 20" O
Murici	9° 18' 18" S	35° 56' 30" O
Rio Largo	9° 29' 41" S	35° 51' 12" O
Santana do Mundaú	9°10' 4,8" S	36°13'19,2" O
São José da Laje	9° 0' 43" S	36° 3' 13" O
Satuba	9° 34' 20" S	35° 49' 27" O
União dos Palmares	9° 10' 18" S	36° 1' 16" O

Fonte: Codevasf; IBGE, (2020).

### 3.3 Estimativa do coeficiente de chuva ( $R_c$ )

A estimativa da Erosividade de chuva ( $R$ ), se utilizou dados pluviométricos, este método não é o Padrão. O método Padrão utiliza dados pluviográficos (DIAS; SILVA, 2003). Para minimizar os erros e testar a eficácia dos valores estimados de erosividade, é necessário obtenção dos valores de coeficiente de chuva ( $R_c$ ). O Coeficiente de chuva ( $R_c$ ) é obtido por meio da equação (1) proposta por Lombardi Neto (1977), baseada no modelo de Fournier (1956), com algumas modificações:

$$R_c = \frac{p^2}{P} \quad (1)$$

Onde:  $p$  é a precipitação pluvial média mensal (mm); e  $P$ , a precipitação pluvial média anual (mm).

### 3.4 Estimativa da erosividade das chuvas através modelos matemáticos

Para obtenção do índice de erosividade das chuvas dos municípios foram utilizados três modelos matemáticos, o primeiro desenvolvido por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992),

representado pela equação 2, este modelo estabelece uma relação entre os valores de precipitação pluviométrica mensal por um período anual de uma determinada localidade em estudo.

$$R_x = 68,73 * (M_x 2P)^{0,841} \quad (2)$$

Em que  $M_x$  é a representação dos valores de precipitação pluviométrica mensal (mm);  $P$  é a representação da precipitação pluviométrica média anual (mm).

O segundo modelo utilizado, foi proposto por Morais *et al.* (1991), representado na equação 3.

$$R_x = 36,846 * \left\{ \frac{M_x^2}{P} \right\}^{1,0852} \quad (3)$$

Onde:  $R_x$  = É o fator R (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);  $M_x$  = É a precipitação média mensal (mm);  $P$  = É a precipitação média anual (mm).

O terceiro modelo foi desenvolvido por Rufino *et al.* (1993), representado pela equação 4:

$$R_x = 19,55 + (4,20 * M_x) \quad (4)$$

Onde:  $R_x$  = Representa o fator R (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>),  $M_x$  = É precipitação média mensal (mm).

Os valores de erosividade média anual das chuvas na BHRM foram classificados de acordo com a tabela 2 de classes de erosividade proposta por Carvalho (2008).

Tabela 2 - Classes de Erosividade das chuvas para o Fator R

Erosividade (MJ.mm.ano.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	Classes de erosividade
$R \leq 2.452$	Erosividade Baixa
$2.452 < R \leq 4.905$	Erosividade Média
$4.905 < R \leq 7.357$	Erosividade Média-Forte
$7.357 < R \leq 9.810$	Erosividade Forte
$R > 9.810$	Erosividade Muito Forte

Fonte: Carvalho (1994), modificado de Foster *et al.* (1981).

### 3.5 Procedimentos para análise dos tipos de solo da BHRM

Para a realização dos resultados correspondentes aos tipos de solo que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú foram utilizados dados da Embrapa solos (1979) e o Zoneamento Agroecológico de Alagoas (ZAAL) (2022), a fim de gerar o mapa de caracterização pedológica da região que abrange a parte correspondente ao estado de Alagoas no *software* Qgis.

### 3.6 Estatística Utilizada para análise de dados

A análise dos dados pluviométricos foi realizada no *software* Microsoft Office Excel

2013, obtendo através de estatística descritiva os resultados referentes aos índices de Precipitação e Erosividade média mensal, bem como Correlação entre a erosividade média e a precipitação, média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), máximo e mínimo, assim como em um dos trabalhos de Noronha *et al.* (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

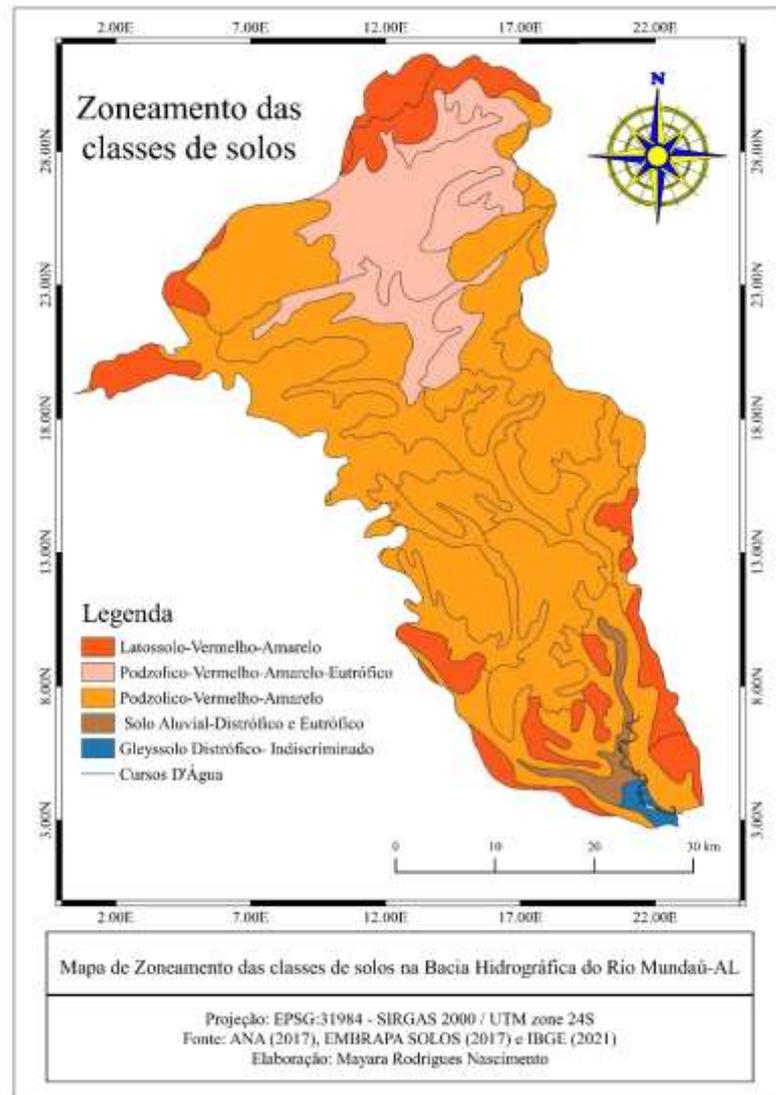
### 4.1 Zoneamento dos solos presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

A figura 2 corresponde ao mapa de zoneamento dos tipos de solo que compõem a BHRM no território do estado de Alagoas, ao longo de sua extensão observou-se a presença de cinco classes de solo, sendo Podzólico-Vermelho-Amarelo-Eutrófico (Argissolo, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, 2018), Podzólico-Vermelho-Amarelo (Argissolo, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, 2018), Latossolo-Vermelho-Amarelo (Latosolo, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, 2018), Solo Aluvial-Distrófico e Eutrófico (Neossolo Flúvico, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, 2018) e Gleyssolo Distrófico-Indiscriminado (Gleissolo, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, 2018).

Os Podzólico-Vermelho-Amarelo (Argissolo) são os principais solos na região da BHRM e é a classe que aparece em maior proporção na bacia. Segundo a Embrapa (2018), essa classe de solo é constituída por uma gama de solos com componentes minerais, possuem uma expressiva diferença em sua textura entre os horizontes superficiais A e o subsuperficial B textural, isso contribui para a diferenciação de perfis de solos dessa classe, apresentam características de solos profundos à rasos, texturas que mudam de arenosas a argilosas em suas camadas superficiais.

Apesar da baixa incidência os solos da classe dos Podzólico-Vermelho-Amarelo encontrados na bacia, foram classificados pela Embrapa (2018), como solos com presença de horizonte B textural, com capacidade de acumular argila, suas faixas de cores vão de vermelho-amarelado, podendo apresentar algumas partes com cores vermelhas, ou até mesmo, bruno forte, em razão da existência a combinação de óxidos de ferro como (hematita + goethita). A classe dos Latossolos-Vermelho-Amarelo evidencia-se como um tipo de solo presente na região da BHRM com pouca incidência, são solos que apresentam características de um elevado grau de intemperismo, possuem perfis de solo com boa homogeneização tanto em sua textura como na cor, com horizonte A e horizonte B latossólico, são solos com boa capacidade de drenagem e muito profundos, embora se diferencie por possuir níveis de hierarquia no que se refere a cor desse tipo de solo, sua maior incidência ocorre na Zona da Mata principalmente em florestas subcaducifólias de acordo com a Embrapa solos (2018).

Figura 2 - Mapa do zoneamento das classes de solo presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú-AL



Fonte: A autora (2023).

As classes dos Solo Aluvial-Distrófico e Eutrófico, e Gleysolo Distrófico-Indiscriminado são as de menor incidência na área da bacia, apresentando características de drenagem imperfeita e sua formação ocorre em terrenos baixos, o que favorece o alto teor de umidade. Ocorrem em áreas de várzeas, em planícies aluvionares, podendo ocorrer também em bordas de chapadas próximas de áreas com nascentes subterrâneas. Em razão de serem solos que se originam a partir de sedimentos e em algumas situações por influência do microrelevo aos quais se encontram, geralmente não possuem uma homogeneidade em suas características morfológicas, químicas e físicas em seus horizontes e perfis.

#### 4.2 Análise estatística descritiva da erosividade das chuvas na Bacia hidrográfica do Rio Mundaú-AL

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados da análise de estatística descritiva para o índice de erosividade para dez municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano, por meio dos modelos matemáticos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993).

Pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) o município de Atalaia apresentou erosividade média de  $787,049 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , enquanto os modelos de Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) apresentaram erosividade média de  $731,326 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $498,642 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  respectivamente. Percebe-se que o modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), demonstrou valor superior aos demais, ao realizar uma comparação entre os mesmos modelos usados no presente trabalho, com os resultados obtidos por Noronha *et al.* (2023) sobre erosividade das chuvas em Atalaia no período de 1975 a 2003, os autores identificaram o modelo idealizado por Rufino *et al.* (1993) como o que expressou os maiores índices de erosividade média com cerca de  $5028,69 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

O município de Capela demonstrou o maior índice de erosividade média por meio do modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com  $851,652 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , pelo modelo de Morais *et al.* (1991) obteve  $776,981 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e a menor média de erosividade foi a de  $511,694 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  encontrada pelo modelo de Rufino *et al.* (1993). Ao analisar o município de Flexeiras identificou-se que pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) a média de erosividade foi a maior entre os três modelos com  $1015,331 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , seguido por Morais *et al.* (1991) com  $890,965 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e Rufino *et al.* (1993) com  $618,236 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Em Iateguara o modelo com maior média de erosividade também foi o de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com  $748,832 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , Morais *et al.* (1991) apresentou valores de  $697,971 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e a menor média correspondeu ao modelo de Rufino *et al.* (1993) com erosividade de  $534,574 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Verificou-se que em Murici o modelo matemático com maior erosividade média foi o proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com  $852,786 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em seguida observou-se que o modelo de Morais *et al.* (1991) apresentou valor médio de  $778,117 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , sendo o de Rufino *et al.* (1993) a menor média com  $530,792 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . O modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) em Rio Largo alcançou a média mais elevada com  $971,401 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , Morais *et al.* (1991) obteve um valor de

849,131  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e a menor média alcançada por Rufino *et al.* (1993) com 617,018  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  demonstrando uma variabilidade expressiva entre os modelos, principalmente Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e Rufino *et al.* (1993).

O mesmo comportamento entre os modelos foi observado no município de Santana do Mundaú em que o modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) superou as médias dos de Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) com 717,308; 681,288 e 483,995  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  respectivamente. Esse comportamento não se repetiu na análise do município de São José da Laje, pois o modelo proposto por Rufino *et al.* (1993) apresentou valor médio de erosividade equivalente a 570,714  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  seguido pelo modelo de Morais *et al.* (1991) com 493,703  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e o menor valor médio correspondeu à Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com 475,761  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  mesmo com essa inversão de valores no que se refere ao comportamento percebeu-se que não houve uma grande variação entre os índices de erosividade. O município de Satuba foi caracterizado com os mais altos índices de erosividade média segundo o modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com 1274,149  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e Morais *et al.* (1991) com 1056,312  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , no modelo de Rufino *et al.* (1993) obteve 802,937  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . E em União dos Palmares seguindo comportamento de variação entre os modelos analisados a maior média correspondeu ao de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) com 705,855  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , Morais *et al.* (1991) com valor médio de 670,899  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e Rufino *et al.* (1993) com 445,572  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Na tabela 3 observa-se que os maiores valores de desvio padrão correspondem aos municípios com os maiores índices de erosividade média, esse comportamento foi verificado nos três modelos, destacando os municípios de Flexeiras, Ibataguara, Rio Largo e Satuba que pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) apresentaram valores de desvio padrão de 312,399; 313,503; 492,184 e 503,307  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  respectivamente, pelo modelo de Morais *et al.* (1991) Flexeiras obteve 212,562  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em Ibataguara o desvio padrão foi de 234,120  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em Rio Largo foi de 337,759  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e em Satuba foi registrado um valor de desvio padrão de 328,922  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Ao analisar essa variável pelo modelo de Rufino *et al.* (1993) percebeu-se que os valores de desvio padrão fora menores para os mesmos municípios, pois Flexeiras demonstrou o valor de 126,391  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , Ibataguara apresentou valor igual a 214,251  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em Rio Largo o desvio foi maior com 234,773  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  sendo superado somente pelo município de Satuba onde se obteve um desvio padrão de 257,337  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Ao verificar os coeficientes de variação (CV) na Tabela 3 para os municípios de forma

individual para cada modelo observa-se que o município que obteve o maior CV foi Rio Largo com 50,67% através do modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), seguido por Moraes *et al.* (1991) com 39,78%, o modelo de Rufino *et al.* (1993) foi o que apresentou o menor potencial de variação entre os valores máximos e mínimos com 38.05%. Já os municípios que apresentaram melhor uniformidade em seus dados foram Santana do Mundaú com o modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) que obteve o coeficiente de variação de 28,67% o mais baixo para todos os municípios avaliados por esse modelo, ao analisar pelo modelo de Moraes *et al.* (1991) o valor decaiu para 22,29%, porém o modelo de Rufino *et al.* (1993) foi o que alcançou o menor percentual com 19,80% para o município.

No município de Atalaia, o modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) variou em 31,13%, enquanto na análise pelo modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), o coeficiente de variação foi de 23,89% e por meio do modelo idealizado por Rufino *et al.* (1993) obteve o menor coeficiente de variação com 18.82%, sendo assim classificado como o coeficiente de variação que menos variou e entre os três modelos analisados categorizando-se com a melhor precisão e homogeneidade, assim como afirmam Warrick; Nielsen (1980) que identificaram esse comportamento ao analisarem estudos sobre variabilidade de conjuntos de dados com a mesma tendência.

Tabela 3 - Resultado da estatística descritiva dos dados de erosividade nos municípios em estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú em território Alagoano

Variáveis	Atalaia	Capela	Flexeiras	Ibateguara	Murici	Rio Largo	S. Mundaú	S. J. Laje	Satuba	U. Palmares
Modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992)										
Média	787,049	851,652	1015,331	748,832	852,786	971,401	717,308	475,761	1274,149	705,855
Desvio Padrão	245,004	283,769	312,399	313,503	266,811	492,184	205,634	173,609	503,307	244,092
Máximo	1566,056	1651,199	1737,022	1245,776	1548,262	2362,333	1113,877	2317,00	2447,653	1169,305
Mínimo	335,247	419,169	535,776	226,353	383,775	271,730	413,385	201,352	413,053	350,180
Curtose	1,348	1,924	-0,081	-1,17408	0,788	1,33605	-0,6812	-0,13070	0,05678	-0,568
Assimetria	0,979	1,338	0,569	0,00268	0,708	0,83025	0,392	0,77895	0,41432	0,631
CV (%)	31,13	33,320	30,77	41,87	31,29	50,67	28,67	36,491	39,501	34,581
Modelo proposto por Morais <i>et al.</i> (1991)										
Média	731,326	776,981	890,965	697,971	778,117	849,131	681,288	493,703	1056,312	670,899
Desvio Padrão	174,693	196,459	212,562	234,120	188,446	337,759	151,856	138,978	328,922	179,570
Máximo	1256,311	1308,927	1361,348	1052,181	1245,234	1727,650	964,771	2317,00	1775,813	1001,772
Mínimo	380,450	452,365	547,137	280,611	422,472	323,295	447,520	256,278	447,241	393,518
Curtose	0,914	1,514	-0,246	-1,11406	0,492	0,48357	-0,7650	-0,28029	-0,10098	-0,646
Assimetria	0,766	1,149	0,421	-0,13457	0,504	0,50515	0,285	0,63524	0,17969	0,512
CV (%)	23,89	25,285	23,86	33,54	24,22	39,78	22,29	28,150	31,139	26,766
Modelo proposto por Rufino <i>et al.</i> (1993)										
Média	498,642	511,694	618,236	534,574	530,792	617,018	483,995	570,714	802,937	445,572
Desvio Padrão	93,853	107,040	126,391	214,251	112,416	234,773	95,816	141,684	257,337	92,035
Máximo	703,030	776,460	792,140	958,880	742,265	1002,651	678,425	2317,00	1195,585	574,020
Mínimo	308,241	328,250	312,150	212,995	260,700	202,250	326,465	343,860	323,700	274,245
Curtose	-0,475	0,311	0,440	-0,69552	0,366	-1,03722	-0,8342	-0,54876	-0,9826	-1,181
Assimetria	0,169	0,323	-0,881	0,48903	-0,281	-0,19547	0,196	0,13185	-0,06155	-0,086
CV (%)	18,82	20,919	20,44	40,08	21,18	38,05	19,80	24,826	32,050	20,655

Fonte: Autora (2023).

#### 4.3 Análise da classificação mensal dos índices de precipitação média e erosividade das chuvas na área da BHRM

A Tabela 4 expressa valores dos índices de precipitação média para os municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú no estado de Alagoas, a análise foi realizada utilizando dados pluviométricos que compreendem o período de 1963 à 1985.

Tabela 4 - Médias mensais de precipitação pluviométrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, em território alagoano, para o período de 1963 a 1985

Médias mensais de precipitação para os anos de 1963 a 1985													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
Atalaia	42,45	60,37	109,37	161,57	242,22	215,02	204,50	134,20	88,81	43,99	33,07	33,26	1368,83
Capela	44,32	66,53	137,07	158,23	217,32	243,68	217,70	114,07	88,88	48,93	31,77	37,62	1406,13
Flexeiras	55,04	101,64	154,87	238,49	294,67	254,72	287,06	145,71	131,90	61,22	20,94	42,01	1788,28
Ibateguara	77,57	83,20	114,48	155,85	214,00	212,25	215,82	141,32	84,44	71,34	40,06	61,17	1471,50
Murici	50,44	72,23	136,02	192,47	249,12	203,26	237,76	121,19	90,96	41,05	24,39	41,81	1460,69
Rio Largo	43,71	70,24	128,78	186,10	274,66	311,73	271,84	167,99	134,55	53,06	29,52	34,88	1707,05
S. Mundaú	47,33	76,09	118,40	161,06	194,22	200,34	214,17	114,02	88,47	43,57	25,78	43,53	1326,99
S.J. Laje	50,69	68,89	125,07	158,67	186,90	261,04	306,66	226,28	119,01	57,96	29,20	55,97	1646,33
Satuba	86,36	112,96	196,24	291,51	393,52	363,14	341,98	196,30	180,31	79,83	42,75	55,08	2339,99
U. Palmares	28,20	41,10	81,27	139,05	210,37	181,41	182,34	110,29	63,97	32,75	19,82	24,73	1115,29

Fonte: A autora (2023).

Ao analisar o comportamento da precipitação nos municípios que englobam a porção da bacia Hidrográfica do Rio Mundaú em território alagoano, identificou-se regimes de médias mensais que variaram de 33,07 à 242,22 mm para Atalaia, em Capela a precipitação ficou entre 31,77 e 243,68 mm (Tabela 4), enquanto o município de Flexeiras apresentou médias mensais de 20,94 a 294,67 mm, para Ibataguara o volume de chuvas ficou de 40,06 a 215,82 mm, Murici apresentou valores de 24,39 a 249,12 mm. Verificou-se que no município de Rio Largo as médias mensais ficaram entre 29,52 a 311,73 mm, Santana do Mundaú os valores de pluviosidade mensal foram de 25,78 a 214,17 mm.

Em São José da Laje foi identificada com precipitação mensal com valores que ficaram de 29,19 mm a 306,66 mm, em Satuba esses valores foram de 42,75 mm a 393,51 mm se caracterizando como o município que recebe o maior volume de precipitação entre os municípios analisados e em União dos Palmares as médias mensais variaram de 19,82 mm a 210,37 mm sendo o município com o menor índice de precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano (Tabela 4).

Diante dessa análise, percebeu-se que os meses com maior volume de precipitação correspondem aos meses de abril, maio, junho, julho e agosto em todos os municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, na porção do território alagoano (Tabela 4) e os meses com menos chuva são setembro, outubro, novembro e dezembro, o que ocorreu em um dos trabalhos de Noronha *et al.* (2023) sobre erosividade das chuvas em Atalaia no estado de Alagoas, onde apontou um período chuvoso semelhante aos meses analisado no presente trabalho.

#### 4.4 Distribuição mensal da precipitação média e da erosividade das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no território alagoano

Na Figura 3 (A, B, C) que representa os valores de precipitação e erosividade mensal para o município de Atalaia verificou-se que o modelo proposto por Morais *et al.* (1991) apontou os maiores valores entre os três modelos avaliados com erosividade mínima de  $58,32 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de novembro e chegando a um valor máximo de  $2615,60 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de maio, percebe-se uma grande variabilidade no volume de precipitação no município o que também influencia nos índices de perda de solo por erosividade. Noronha *et al.* (2023) observaram o mesmo comportamento das chuvas e erosividade e afirmam que esse fenômeno pode estar relacionado com a heterogeneidade pluviométrica da região ao qual Atalaia faz parte, bem como grande parte do estado de Alagoas.

A erosividade mensal para o município de Capela foi de  $47,99 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de novembro chegando a  $2405,98 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em junho pelo modelo de Morais *et al.* (1991). Em Flexeiras o mês de novembro obteve a menor incidência de chuva apresentando uma erosividade de  $23,72 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e o mês de maio foi classificado como o mais chuvoso, pois a erosividade chegou ao valor de  $2957,82 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de julho pelo modelo proposto por Morais *et al.* (1991), esse também foi o modelo que classificou os maiores valores dos índices de erosividade em Ibataguara com  $92,98 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de novembro chegando no mês de julho com um perda de solo de  $1793,91 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Souza *et al.* (2021) apontou a região que engloba o município de Flexeiras com uma região com alto nível de erosividade, pois em seus resultados encontrou o valor de  $9806,2 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Silva *et al.* (2010) atribui alta taxa de erosividade dessa região a localidade a qual está inserida, pois áreas próximas de ambientes costeiros tendem a apresentar uma maior variabilidade climática, pois sofrem influencias de fenômenos de circulação marítima fazendo com que a incidência de precipitação seja maior e com isso desencadeando maiores índices de erosividade. Ao comparar a incidência de chuvas deste estudo com os resultados obtidos por Albuquerque *et al.* (2021) observou-se que os meses de menor precipitação também corresponderam aos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro onde voltou a aumentar os valores de precipitação. No município de Murici, por meio do modelo idealizado por Morais *et al.* (1991) a erosividade mínima encontrada foi  $33,24 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no mês de novembro e no mês de maio a erosividade alcançou o valor de  $2613,41 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em Rio Largo por meio do mesmo modelo o índice mínimo alcançado correspondeu ao mês de novembro com  $37,71 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  esse valor é classificado como erosividade baixa, e o maior índice foi no mês de junho com  $3145,71 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , o que segundo Carvalho (1994) valores dessa magnitude são categorizados como erosividade Média. Silva *et al.* (2023) ao utilizarem o modelo proposto por Morais *et al.* (1991) para o Município de Rio Largo para uma série temporal de dados pluviométricos de 52 anos encontraram valor médio anual de  $11902 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  classificando esse índice como erosividade Muito Forte, os autores ainda destacaram que os maiores índices de erosividade estão atribuídos aos meses de maio, junho e julho. Silva e machado (2014) explicam que apesar da grande variação pluviométrica um dos fatores determinantes para os altos índices de erosividade está fundamentalmente relacionado com a geologia, pedologia e a forma do relevo da região analisada.

Em Santana do Mundaú o modelo que apresentou os maiores valores de erosividade

mensal foi o modelo de Morais *et al.* (1991) que no mês de novembro apresentou um total de 48,04 Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e no mês de 2019,07 Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto no município de São José da Laje os valores de erosividade mensais foram de 37,10 Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> no mês de novembro e em julho a erosividade chegou a apresentar o valor de 3434,56 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o mesmo modelo matemático. No município de Satuba através do modelo de Morais *et al.* (1991) obteve-se os maiores valores de erosividade mensal, onde apontou um total de 45,92 Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em novembro e no mês de maio alcançou o valor de 4112,97 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> sendo considerada erosividade média. No estudo de Souza *et al.* (2021), o município de Satuba também foi o que apresentou o maior potencial de erosividade com cerca de 11.469,8 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> ao analisar um período de 56 anos. Satuba apresenta uma alta variabilidade da erosividade mensal devido aos fatores fisiográficos (relevo, continentalidade e maritimidade) e atuação de sistemas meteorológicos em multiescala que interferem no regime e na dinâmica da chuva no estado de Alagoas (MOLION, BERNARDO, 2002; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2012; LYRA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.* 2021).

Em União dos Palmares a análise utilizando o modelo de Morais *et al.* (1991) também apresentou os maiores valores de erosividade entre os três modelos aplicados no estudo, pois obteve um valor de 26,70 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em novembro, e em maio a erosividade total foi de 2564,74 Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Esse resultado destoa de um dos trabalhos realizados por Brandão (2021), onde analisou a precipitação e erosividade de União dos Palmares utilizando uma série temporal de 66 anos para o período de 1913 a 1985, o autor apontou o mês de junho como o que apresentou o maior potencial de erosividade, esse mês representa um total de 21% da média anual. Vieira *et al.* (2022) atribui resultados como esses a irregularidades das chuvas e a distribuição desordenadas que propiciam variabilidade no que se refere ao índice de erosividade.

Figura 3 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) (Figura A); modelo proposto por Moraes *et al.* (1991) (Figura B) e Rufino *et al.* (1993) (Figura C) para os dez municípios integrante a porção alagoana da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

(continua)

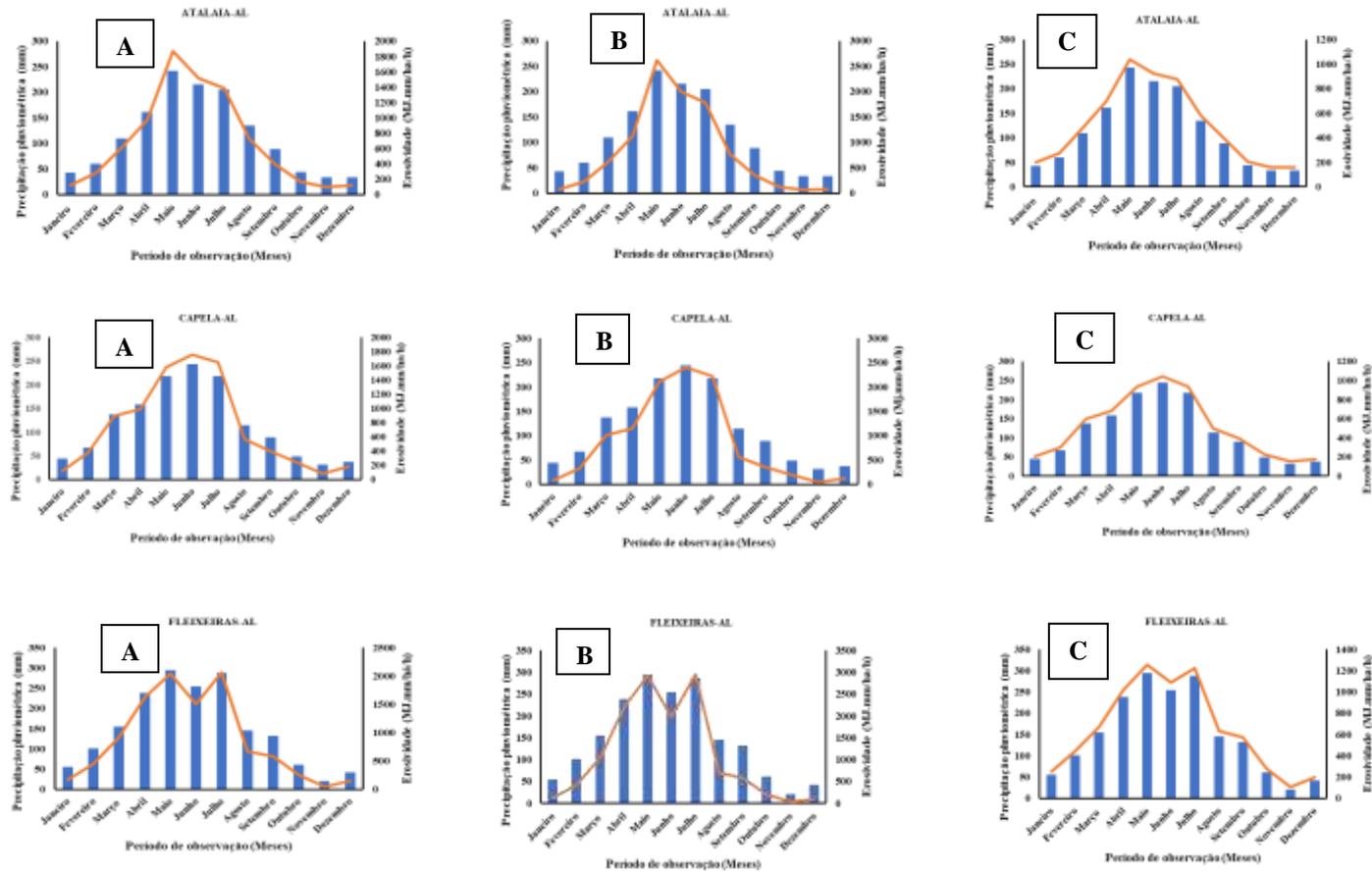


Figura 3 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) (Figura A); modelo proposto por Moraes *et al.* (1991) (Figura B) e Rufino *et al.* (1993) (Figura C) para os dez municípios integrante a porção alagoana da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

(continuação)

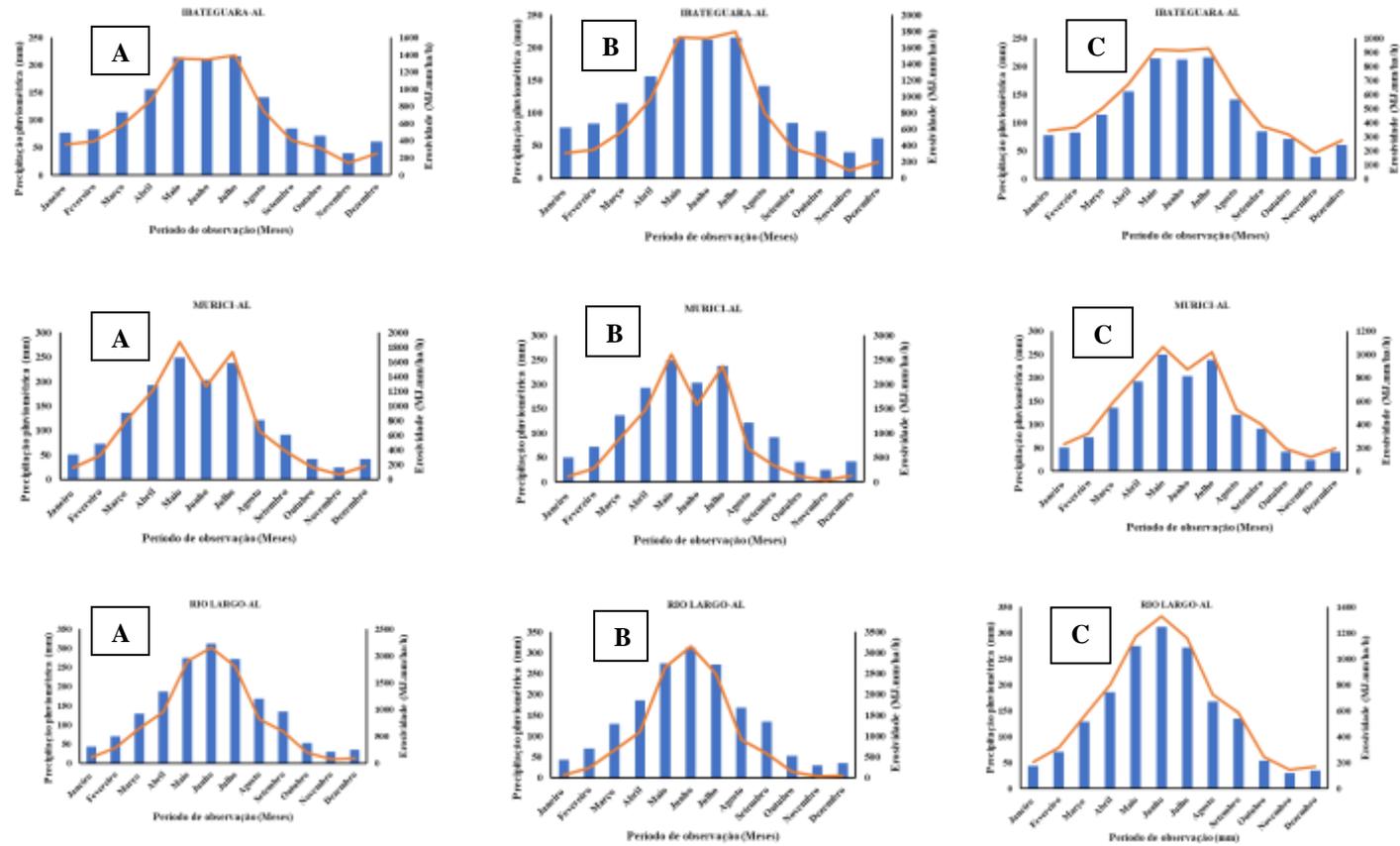


Figura 3 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) (Figura A); modelo proposto por Moraes *et al.* (1991) (Figura B) e Rufino *et al.* (1993) (Figura C) para os dez municípios integrante a porção alagoana da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

(continuação)

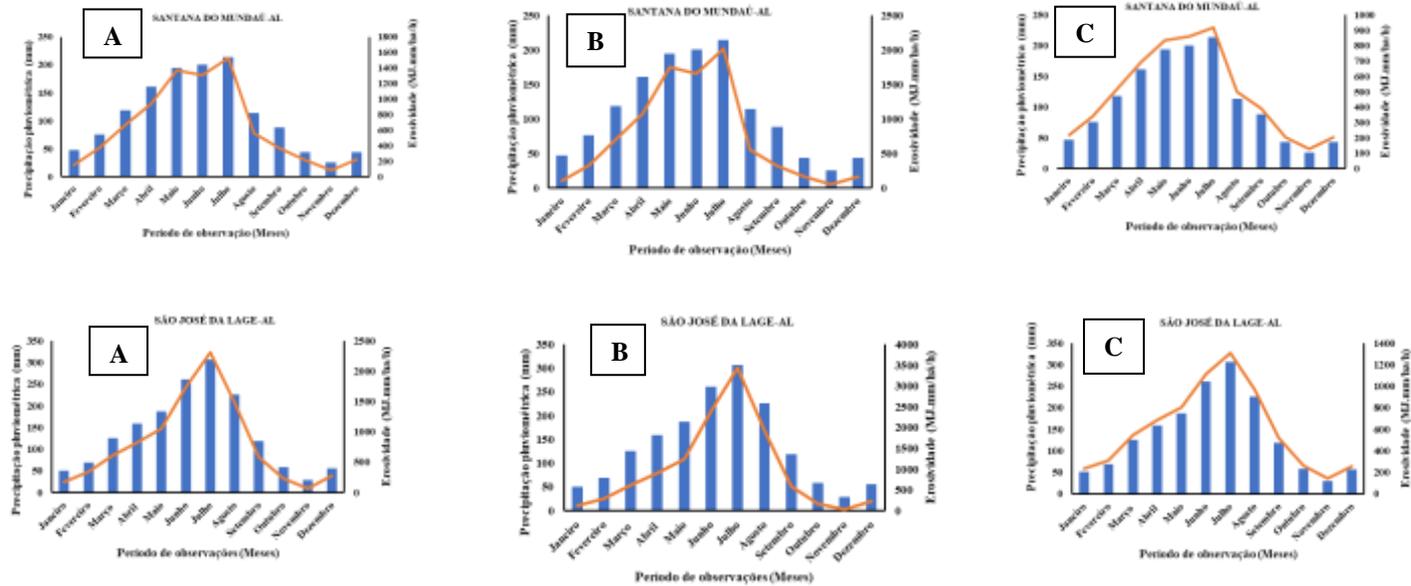
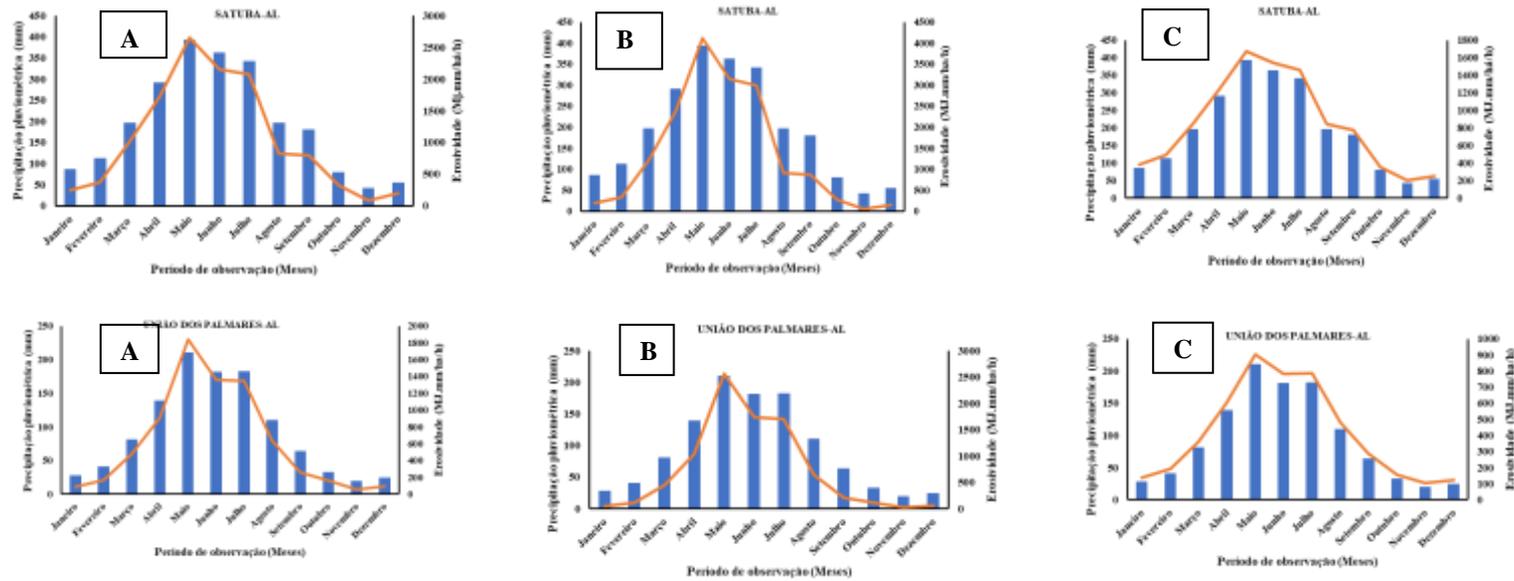


Figura 3 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) (Figura A); modelo proposto por Moraes *et al.* (1991) (Figura B) e Rufino *et al.* (1993) (Figura C) para os dez municípios integrante a porção alagoana da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

(conclusão)



Fonte: A autora (2023).

#### 4.5 Análises das médias anuais de precipitação pluviométrica e da erosividade na BHRM

A Figura 4, representa os gráficos de precipitação anuais compreendendo o período de 1963 a 1985 para os municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.

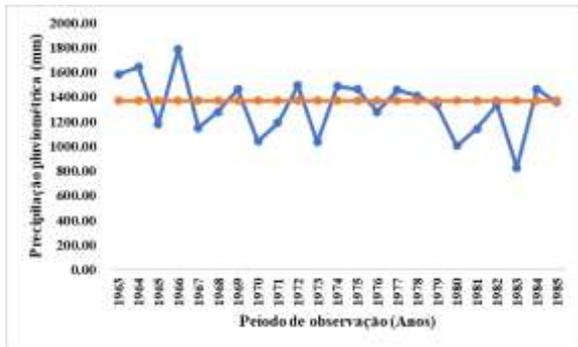
No município de Atalaia a média anual de precipitação foi de 1368,83 mm e o ano com o maior índice de precipitação foi 1966 com cerca de 1784,90 mm, Capela apresentou média total de 1406,13 mm e em 1977 obteve 2162,60 mm de chuva, no município de Flexeiras a média anual alcançada foi superior correspondendo ao total de 1788,28 mm e o ano de 1977 foi evidenciado com o maior volume de chuvas com 2207,40 mm, a média anual em Ibateguara foi de 1471,50 mm destacando o ano de 1983 como o mais chuvoso com 2683,80 mm, Murici apresentou como média anual 1460,69 mm e o ano de 1984 foi classificado como o que apresentou o maior volume de precipitação 2064,90 mm, nota-se grande variabilidade pluviométrica no que refere ao volume de precipitação ao longo da série temporal analisada, identificando-se anos com maiores ocorrências de chuvas.

No município de Rio Largo a média anual obtida foi de 1707,05 mm sendo o ano de 1975 com o maior valor referente a precipitação com cerca de 2808,86 mm, demonstrando que ocorreu uma grande variação nos dados de chuva nesse município. Em Santana do Mundaú a média foi de 1326,99 mm e no ano de 1964 alcançou o valor de 1882,50 mm, São José da Laje o índice de precipitação média anual foi de 1646,33 mm evidenciando o ano de 1968 como o de maior incidência de chuvas com 2317,00 mm, o município de Satuba obteve a maior média anual de precipitação entre todos os municípios analisados com cerca de 2339,99 mm e o ano caracterizado como o mais chuvoso foi 1982 com 3360,10 mm e em União dos Palmares a média anual foi de 1217,20 mm a menor entre os municípios analisados e o ano de 1982 foi o de maior incidência de precipitação com 1568,60 mm, Brandão (2021) ao analisar o período de 1913 a 1985 para União dos Palmares com uma série temporal mais extensa o autor apontou o ano de 1978 como o mais chuvoso com 1584,2 mm.

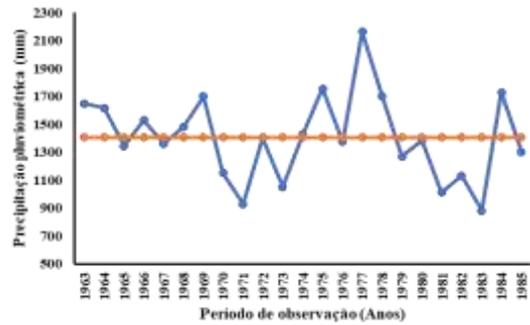
A proporção de variabilidade no decorrer do período analisado pode ter relação com a localização da região a qual esses municípios estão incorporados, Silva *et al.* (2023) aponta a região Nordeste como uma região de demasiada instabilidade espacial e temporal principalmente relacionadas dados pluviométricos, pois apresenta longos períodos de estiagem e isso diminui a média de precipitação de alguns anos das análises.

Figura 4 - Gráfico de precipitação média anual para os municípios Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a BHRM-AL

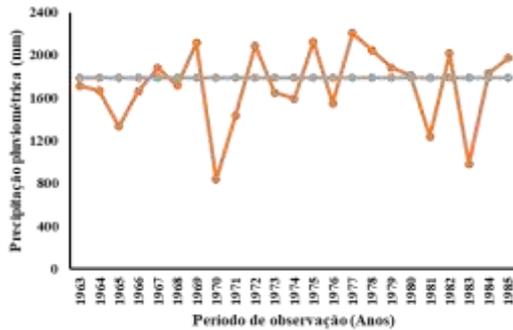
(continua)



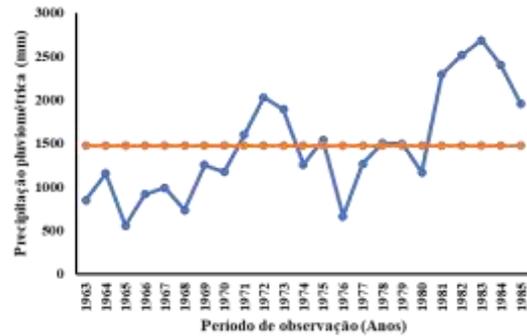
Atalaia-AL



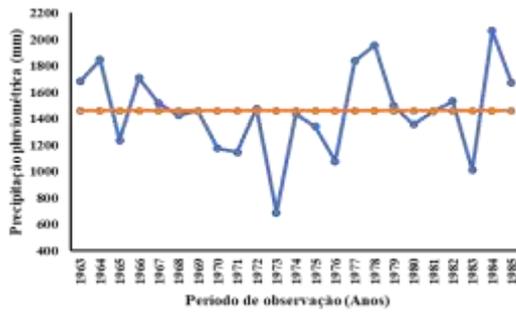
Capela-AL



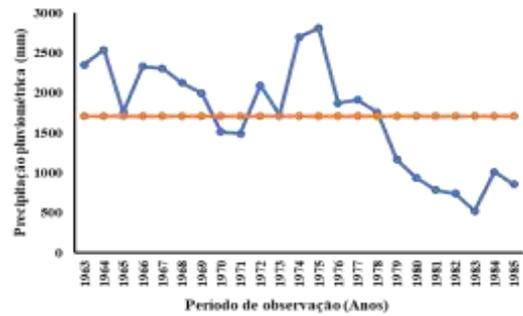
Flexeiras-AL



Ibateguara-AL



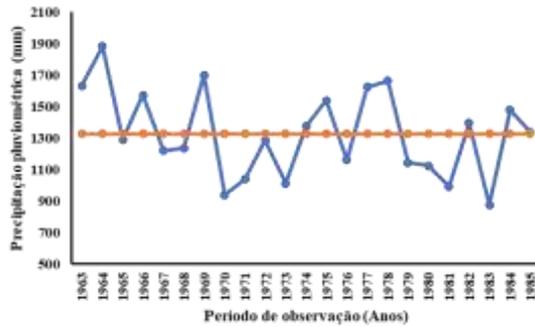
Murici-AL



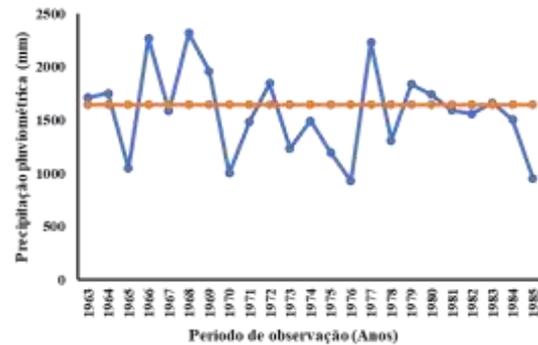
Rio Largo-AL

Figura 4 - Gráfico de precipitação média anual para os municípios Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a BHRM-AL

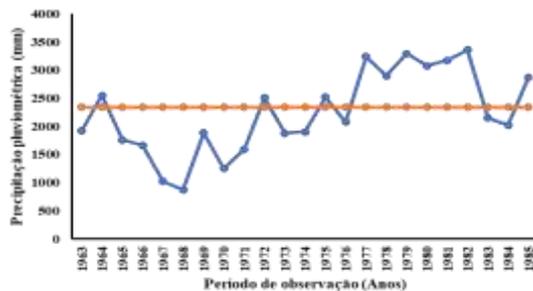
(conclusão)



Santana do Mundaú-AL



São José da Laje-AL



Satuba-AL



União dos Palmares-AL

Fonte: A autora (2023).

#### 4.6 Análise da Correlação entre a erosividade média e a precipitação na BHRM

Na figura 5 observa-se os resultados da análise de correlação entre as variáveis de erosividade média e coeficiente de chuva ( $R_c$ ) para os municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que constituem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú pelos modelos propostos por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); modelo B proposto por Morais *et al.* (1991) e modelo C proposto por Rufino *et al.* (1993) para os anos de 1963 à 1985.

Ao analisar os gráficos de correlação entre a erosividade média e precipitação para o município de Atalaia pelo modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) verificou-se que houve correlação positiva e o valor do coeficiente angular foi de  $R^2 = 0,9968$ , o (B) modelo de Morais *et al.* (1991) apresentou correlação tida como linear positiva no que se refere as duas variáveis com  $R^2 = 0,9992$  e com o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) a correlação entre a erosividade média e a precipitação no município foi do tipo potência positiva com  $R^2 = 0,997$ , nos três modelos notou-se fortes correlações, com valores muito próximos de 1. Em Capela o

modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) obteve correção positiva com o coeficiente angular de  $R^2= 0,9974$ , a correlação para o (B) modelo de Morais *et al.* (1991) foi linear positiva com valor de  $R^2= 0,9994$  e na análise do modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) com  $R^2= 0,9864$ . Os valores de correlação apresentado pelos três modelos corroboram com resultados encontrados por Albuquerque *et al.* (2021) que ao analisar dados de chuva e erosividade no município de Castanhal no estado do Pará verificaram uma correlação com valor de  $R^2= 0,97$  também classificada como uma forte.

A correlação positiva com coeficiente de chuva obtida pelo modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para Flexeiras foi  $R^2= 0,9969$  classificada como angular positiva, através do modelo (B) modelo de Morais *et al.* (1991) o  $R^2= 0,9993$  sendo um índice linear positivo com alto grau de correlação entre as variáveis, já no modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) o foi  $R^2= 0,9905$ . A correlação positiva do modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para Ibateguara foi de  $R^2= 0,9982$ , o modelo (B) de Morais *et al.* (1991) a correlação também foi positiva e mesmo que minimamente obteve um valor superior com  $R^2= 0,9996$  e o no modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) ao correlacionar as duas variáveis apresentou o valor de  $R^2= 0,9992$ . O município de Murici através do modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) foi classificado como correlação positiva com  $R^2= 0,9960$ , pelo modelo (B) de Morais *et al.* (1991) esse valor foi maior com  $R^2=0,9992$  sendo assim uma correlação positiva e o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) também foi categorizado como positiva para  $R^2= 0,9952$ . O que corrobora com os resultados de Oliveira Junior (1988) que ao realizar um estudo sobre a correlação de índices de erosividade e precipitação dos solos de Bragança no estado do Pará e Marabá no estado no Amazonas obteve resultados similares aos contidos neste estudo, onde indicou uma forte correlação com valores de  $R^2= 0,99$  e  $0,97$  respectivamente utilizando modelo matemático como ferramenta de análise.

A correlação obtida no município de Rio Largo ao realizar a análise pelo modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) foi positiva com  $R^2= 0,9965$ , com o pelo modelo (B) de Morais *et al.* (1991) a correlação entre a erosividade média e coeficiente de chuva foi positiva com  $R^2= 0,9992$  e o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) foi correlacionado como potência positiva com  $R^2= 0,9962$ , Souza *et al.* (2021) ao realizar a estimativa e espacialização do potencial de erosividade das mesorregiões do estado de Alagoas encontrou o valor de  $R^2= 0,8338$  para Rio Largo utilizando a Krigagem como método de estimativa, os autores explicam ainda que a região do Agreste Alagoano ao qual pertence esse município apesar de apresentar bons resultados no que se refere a correlação também apresentam muitas falhas em seus dados pluviométricos. Santana do Mundaú apresentou correlação positiva pelo modelo (A) de

Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) com  $R^2 = 0,9975$ , através do modelo (B) de Morais *et al.* (1991) a correlação demonstrou-se positiva com  $R^2 = 0,9994$  e pelo o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) a correlação foi de  $R^2 = 0,9891$ . O município de São José da Laje apresentou por meio da utilização do modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) correlação expressa como angular positiva com  $R^2 = 0,9961$ , com o modelo (B) de Morais *et al.* (1991) esse índice também foi positivo com  $R^2 = 0,999$  e com o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) o valor da correlação foi positiva com  $R^2 = 0,9944$ .

Em Satuba a correlação obtida pelo modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) relacionando a influência entre as duas variáveis foi positivo apresentando valor de  $R^2 = 0,997$ , por meio do modelo (B) de Morais *et al.* (1991) a correlação foi de  $R^2 = 0,9993$  considerada positiva e o modelo (C) de Rufino *et al.* (1993) obteve correlação também positiva com  $R^2 = 0,992$ . E em União dos Palmares o modelo (A) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) apresentou correlação positiva com valor de  $R^2 = 0,9965$ , com o modelo (B) de Morais *et al.* (1991) a correlação obtida também foi positiva com  $R^2 = 0,9991$  e considerando a tendência dos modelos anteriores o modelo (C) proposto por Rufino *et al.* (1993) foi classificado por demonstrar índices positivos de correlação, indicando forte influência entre erosividade média e coeficiente, cabendo afirmar que em regiões de constante ocorrência e altos índices de precipitação existe uma maior probabilidade de ocorrer erosividade nesses solos, o que ocorreu no presente estudo sobre a erosividade dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú em Alagoas. Brandão (2021) ao realizar análise de correlação para União do Palmares utilizando os modelos propostos por Oliveira Junior; Medina, (1990), Leprun (1981) e Val *et al.* (1986) encontrou valores que indicaram correlação inferior com  $R^2 = 0,76$ ,  $0,76$  e  $0,65$  respectivamente.

Figura 5 - Gráficos de Correlação entre a erosividade média e a precipitação para os Municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Mundaú, modelo (A) proposto por Lombardi Neto (1992); modelo (B) proposto por Morais *et al.* (1991) e modelo (C) proposto por Rufino *et al.* (1993) para os anos de 1963 à 1985

(continua)

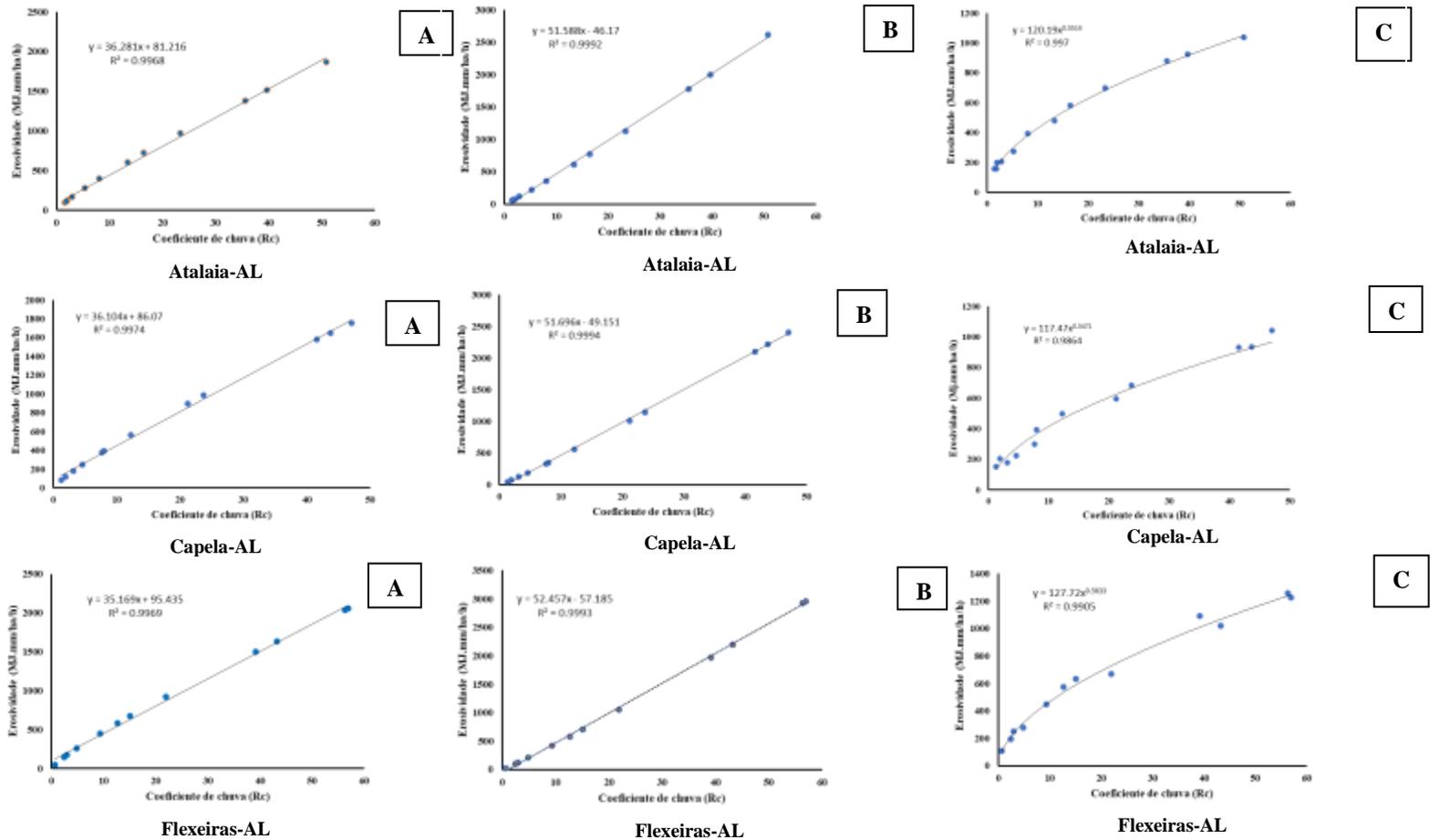
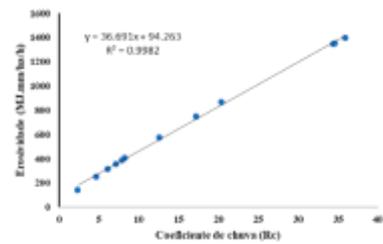
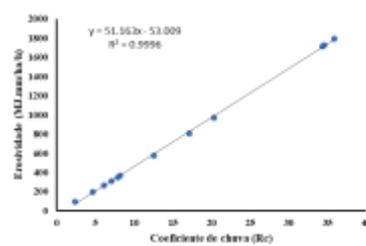


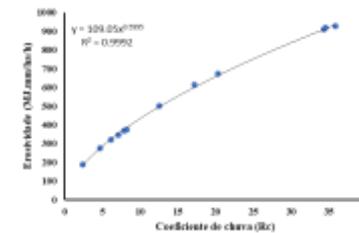
Figura 5 - Gráficos de Correlação entre a erosividade média e a precipitação para os Municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Mundaú, modelo (A) proposto por Lombardi Neto (1992); modelo (B) proposto por Moraes *et al.* (1991) e modelo (C) proposto por Rufino *et al.* (1993) para os anos de 1963 à 1985



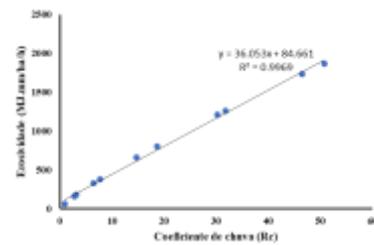
Ibateguara-AL



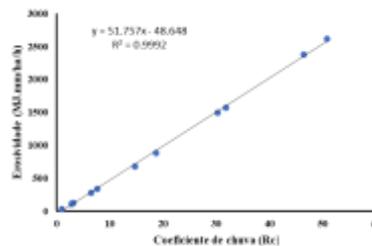
Ibateguara-AL



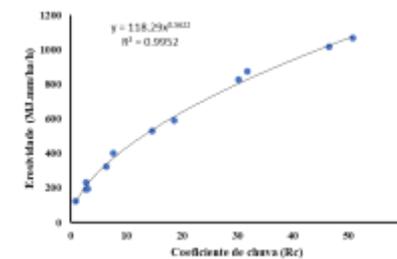
Ibateguara-AL



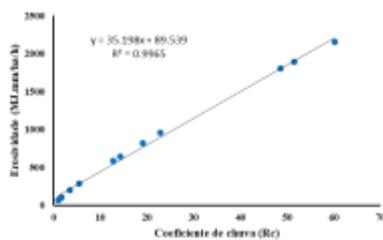
Murici-AL



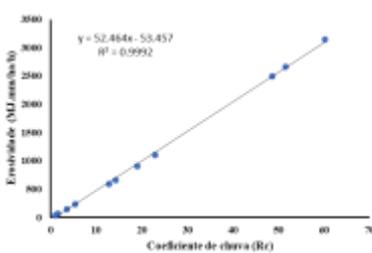
Murici-AL



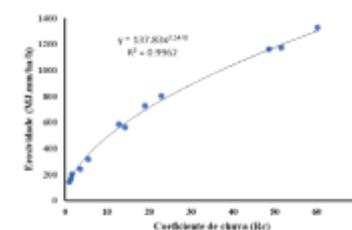
Murici-AL



Rio Largo -AL



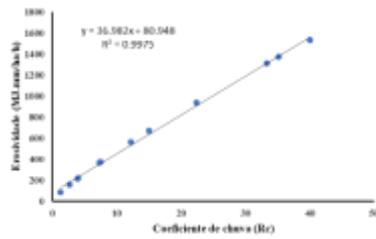
Rio Largo -AL



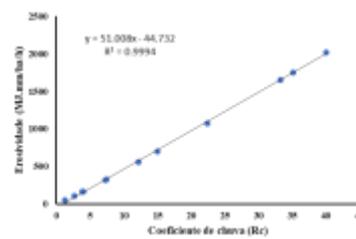
Rio Largo -AL

(continuação)

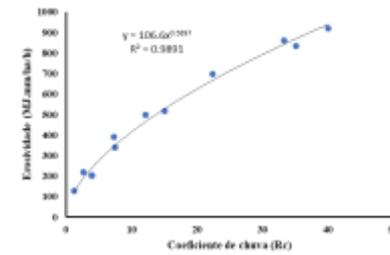
Figura 5 - Gráficos de Correlação entre a erosividade média e a precipitação para os Municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Mundaú, modelo (A) proposto por Lombardi Neto (1992); modelo (B) proposto por Moraes *et al.* (1991) e modelo (C) proposto por Rufino *et al.* (1993) para os anos de 1963 à 1985



A



B



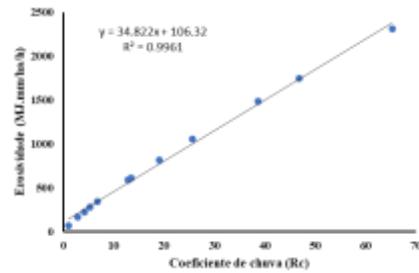
(continuação)

C

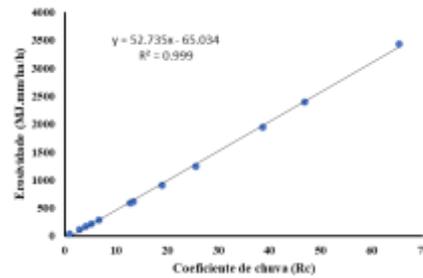
Santana do Mundaú-AL

Santana do Mundaú-AL

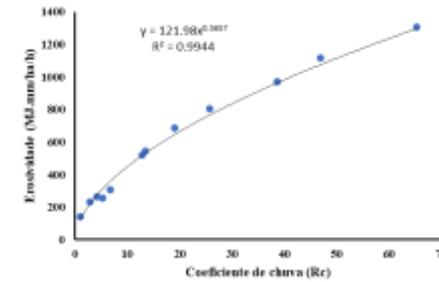
Santana do Mundaú-AL



A



B



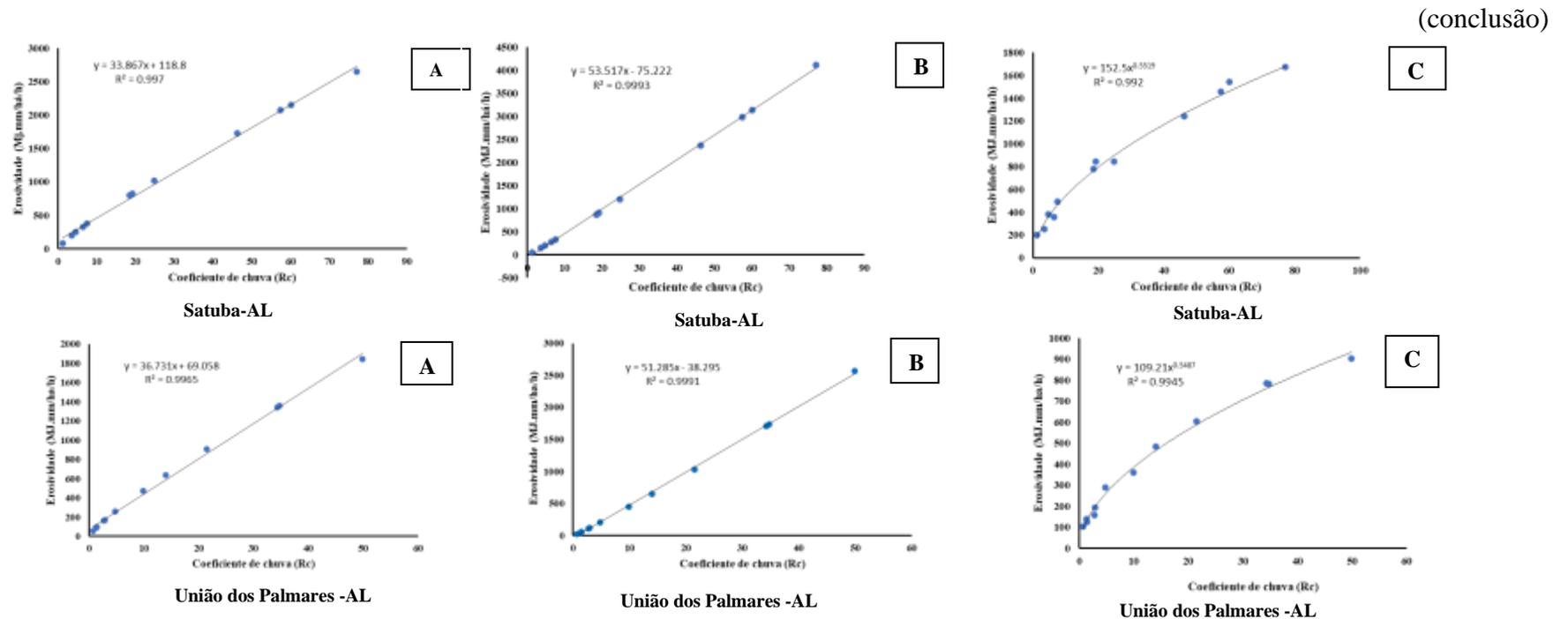
C

São José da Laje- AL

São José da Laje- AL

São José da Laje- AL

Figura 5 - Gráficos de Correlação entre a erosividade média e a precipitação para os Municípios de Atalaia, Capela, Flexeiras, Ibateguara, Murici, Rio Largo, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares que compõem a Bacia Hidrográfica do Mundaú, modelo (A) proposto por Lombardi Neto (1992); modelo (B) proposto por Moraes *et al.* (1991) e modelo (C) proposto por Rufino *et al.* (1993) para os anos de 1963 à 1985



Fonte: Autores, 2023.

## 5 CONCLUSÕES

O modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) apresentou as maiores médias de erosividade em todos os municípios analisados que englobam a BHRM, exceto em São José da Laje onde o modelo com maior média foi o de Rufino *et al.* (1993).

Na análise da relação entre a precipitação e erosividade mensal, o modelo que apresentou os maiores índices de erosividade foi o modelo de Morais *et al.* (1991), em todos os municípios observados no estudo.

O município de Satuba foi caracterizado como a maior média anual de precipitação, o que conseqüentemente colaborou para os maiores índices de erosividade entre todos os municípios analisados.

Em todos municípios analisados os meses mais chuvosos foram os meses de maio, junho e julho, e os meses com menor incidência de chuvas foram novembro e dezembro, com isso apresentaram os menores índices de erosividade na avaliação dos três modelos matemáticos. Ao comparar os resultados de correlação entre as médias de erosividade e o coeficiente de chuva o modelo que apresentou os maiores valores de  $R^2$  foi o de Morais *et al.* (1991), demonstrando que uma variável influencia diretamente na outra.

A aplicação de modelos matemáticos é recomendada para estudos de determinação de erosividade média mensal e anual, a fim de caracterizar períodos propícios a maior incidência de perda de solo. Os dez municípios analisados no presente estudo representam 66,67% da BHRM, e apesar dos dados apresentarem alto grau de heterogeneidade, em alguns dos municípios deve-se atentar para a implementação de medidas de conservação do solo, principalmente nas regiões onde a precipitação ocorre em maior proporção.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P. F. Erodibilidade dos solos por uso de técnicas de geoprocessamento no município de Altamira, Pará, Brasil, **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2022.
- ALBUQUERQUE, J. *et al.*. A Erosividade das chuvas: o manejo agrícola sustentável das terras do município de Castanhal/PA. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 11, n. 4, p. 12-20, 2021.
- ALMEIDA FILHO, G. S. **Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.
- AMARAL, A. J. Conservação do solo no Nordeste do Brasil. **Boletim Informativo NRNE/SBCS**, p. 27-29, jan./ jun. 2017.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- BACK, Á. J. Fator erosividade e características das chuvas erosivas para a região do Planalto Norte de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 1, p. 61-66, 2018.
- BARROS, A. H. *et al.* **Climatologia do estado de Alagoas**. Recife, PE: Embrapa Solos, 2012.
- BASSO, B. T. **Estimativa de erosão utilizando a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS): o caso do alto curso do rio Chopim**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Francisco Beltrão, Francisco Beltrão, PR, 2018.
- BATISTA, C. T., VERÍSSIMO, C. U. V., SANTOS, M. P. Avaliação do cálculo de erosividade em escala regional com o auxílio de geoprocessamento na Serra de Baturité-CE, **REGNE**, v. 1, p. 22-36, 2015.
- BATISTA, R. A. W. *et al.* Estimativa do fator de erosividade do solo da região do vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação (Online)**, [S. l.], v. 28, n. 53, 2021.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2008.
- BIGHETTI, P. S. W. *et al.* Análise dos fatores de influência dos processos erosivos, a partir do estudo da feição da Quinta da Bela Olinda, na cidade de Bauru/SP. *In*: CONGRESSO LUSOBRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 9., 2021, . Águas de Lindóia, SP. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: UNESP, 2021. p. [1-13].
- BLAINSKI, E.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo

SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 226-237, 2017.

BOTELHO, T. H. A. **Disponibilidade e aplicabilidade de dados espaciais na caracterização e quantificação de perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do rio Samambaia, Goiás**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2015.

BRANDÃO, J. M. S. *et al.* Caracterização de processos erosivos em área urbana no município de Itabira, MG. **Research, Society and Development**, v. 6, n. 3, p. 189-210, 2017.

BRANDÃO, L. J. A. de V. **Estimativa do potencial erosivo das chuvas do município de União dos Palmares - AL**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Campus arapiraca, Arapiraca, 2021.

CARVALHO, D. F. *et al.* Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.215-224, 2014.

CARVALHO, J. C. *et al.* (org.). **Processos erosivos no Centro-oeste brasileiro**. Brasília, DF: FINATEC, 2006.

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 Ciência do Solo**, v.27, p. 743-53, 2003.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial (INPE-8454-RPQ/722)**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico de Alagoas: levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Alagoas - ZAAL**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2020. (Embrapa Solos. Documentos, 216). Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zaal/apresentacao.php>. Acesso em: 13 abr. 2023.

EVANGELISTA, A. W. P. *et al.* Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2006.

FERRONATO, A. Avaliação das perdas de solo pela MUSLE em uma microbacia hidrográfica no ecótono Cerrado-Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2430-2447, 2022.

FLANAGAN, D. C. *et al.* Advances in soil erosion research: processes, measurement and modeling. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 56, p. 455-463, 2013.

FOURNIER, F. **The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids**

**transported in suspension in runoff.** [S.l.]: Association Hydrologic Int. Public, 1956. v.38.

FRAGOSO JUNIOR, C. R.; PEDROSA, V. A.; SOUZA, V. C. B. Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. *In: SIMPÓSIO REGIONAL BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 10., 2010, Fortaleza, CE. **Anais [...]**. Fortaleza, CE: ABRH, 2010.

GUEDES, F. C.; VIEGAS, J. A.; AGUIAR, M. C. P. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na bacia hidrográfica urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade–MG. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e40411730094-e40411730094, 2022.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. *In: GUERRA; A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 149 – 199

HERNÁNDEZ, Y. A. *et al.* Erosividade das precipitações em ecossistemas tropicais: haverá diferença dentro de uma mesma zona climática? **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 2, p. 415-430, 2018.

HICKMANN C. *et al.* Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 2, abr. 2008.

KUROWSKI, G. Aspectos gerais da erosão no Norte do Paraná, **Boletim Paranaense**, n. 6/7, p. 3-25, 1962.

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.

LEITE, D. S. **Mapeamento da erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro–oeste do Paraná**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, Medianeira, PR, 2016.

LEPRUN, J. C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisas**. Recife, PE: SUDENE, 1981.

LIMA, M. C. G. *et al.* Efeitos da variabilidade climática e cenários futuros na bacia hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, n.17, jan./jun. 2021.

LIMA, S. S. Caracterização das inter-relações entre geologia e geomorfologia a partir de imagens landsat e dados srtm na bacia hidrográfica do Rio Japarutuba, Sergipe–Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 11, p. 92010-92026, 2020.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity: its distribution and relation with soil loss na Campinas, Brasil**. 1977. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Purdue University, West Lafayette, IN, EUA, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e

relação com perdas de solo em campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, SP, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

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.

MERCALDI, M. B., FUREGATTI, S. A. Proposta de sistematização de levantamento de fatores condicionantes e identificação de feições erosivas. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL; REUNIÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS*, 10., 2020, Porto Alegre, RS. **Anais [...]**. Toledo, PR: GFM, 2020.

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.

MORAIS, L. F. B. *et al.* Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do Sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.15, n.3, p.339-344, 1991.

MOREIRA, E. B. M. *et al.* Suscetibilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4069-4080, 2017.

NEVES, M. D. P. **Suscetibilidade a processos erosivos lineares apoiada em análise estatística multivariada**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2022.

NEVES, M. P. Análise dos processos erosivos nas sub-bacias dos Córregos dos Alpes e do Retiro - município de São Pedro - SP: avaliação de metodologias para determinação das áreas de contribuição. *In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL*, 6., 2016. Cuiabá, MT. **Anais [...]**. Cuiabá, MT: Embrapa Informática Agropecuária: INPE, 22 a 26 out. 2016. p. 234 -241.

NORONHA, A. B. *et al.* Estimativa do potencial erosivo das chuvas do município de Atalaia-AL. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 1, p. 40-59, 2023.

NUNES, E. D. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros-GO**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiania, GO, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. *et al.* 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 JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 14, p. 235-239, 1990.

OLIVEIRA R. C. J. **A erosividade da chuva na parte leste do Estado do Pará**. Belém, PA:

FCAP, 1988.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA L, C. G.; LOLLO, J. A. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Pitangueiras no município de Barretos-SP. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 1, n. 3, 2022.

OLIVEIRA, F.; SANTOS, R. E.; ARAÚJO, R. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)**. v. 5, p. 60-83, 2018.

OLIVEIRA, J. Â. M. Erosividade da chuva no município de Juramento-MG no período de 1987. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 1852-1860, 2021.

PARAHYBA, R. *et al.* **Solos do município de Maceió-AL**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 1 CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 101).

PASSOS, F. O.; SILVA, B. C.; SILVA, F. G. B. Avaliação de impactos de mudanças no uso e manejo do solo sobre as vazões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira, utilizando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 02, p. 619-633, 2021.

PELLEGRINI, J. B. R. *et al.* Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2639-2646, 2008.

PESSOA, F. C. L.; RODRIGUES, B. D.; FERREIRA FILHO, D. F. Análise espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado do Pará–Brasil a partir de dados de satélite. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 696-723, 2022.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Universidade Federal de Viçosa, 2. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009.

RICARDI, A. M.; LIMA, C. G. R. Variabilidade espacial e temporal da erosividade das chuvas (EI30) no estado de São Paulo, Brasil. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 04, p. 965-985, 2021.

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

SÁ, A. C. N. **Influência da variabilidade espacial dos atributos do solo nos processos de erosão hídrica no Semiárido paraibano**. 2018. Trabalho de Conclusão (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2018.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. D. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 01, p. 125-143, 2016.

SHAMSHAD, A. *et al.* Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE

EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. **Catena**, v.72, p.423-432, 2008.

SILVA V. C. B.; MACHADO P. S. SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista Geografia**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.

SILVA, A. F.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M. Modelagem cartográfica para a delimitação das paisagens da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú-Pernambuco/Alagoas, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 07, p. 2489-2502, 2019.

SILVA, A. S. *et al.* Modelagem automática e calculada da precipitação média da bacia hidrográfica do Rio Mundaú. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 10, pág. e4919108867-e4919108867, 2020.

SILVA, D. F. D. **Análise do potencial de perda de solo na área da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, campus Recife, Recife, PE, 2021.

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.

SILVA, M. A. da *et al.* 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.

SILVA, P. D. O. **Avaliação da efetividade dos projetos de recuperação de mata ciliar contra a atuação das ondas nos processos erosivos das margens do reservatório Volta Grande (MG/SP)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 2020.

SILVA, S. A. *et al.* Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Mundaú (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

SILVA, S. D. A. **Análise das interações entre variabilidade climática e cobertura da terra no regime hidrológico da bacia hidrográfica interestadual do Rio Mundaú (Pernambuco/Alagoas)**. 2020. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2020.

SILVA, T. R. G. *et al.* Analysis of mathematical models to estimate erosivity. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2023. DOI: 10.48017/dj.v8i2.2584. Disponível em: [https://diversitasjournal.com.br/diversitas\\_journal/article/view/2584](https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2584). Acesso em: 24 maio 2023.

SOUZA, E. de O. *et al.* Estimativa e espacialização da erosividade em mesorregiões

climáticas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 769-783, oct./dez. 2020. Número especial.

SIMÕES, H. D. G. **Modelação espacial da erosão hídrica do solo**: aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). 2013. 188 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro-Florestais e Ambientais) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, PO, 2013.

SIMONETTI, V. C. *et al.* Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 169-180, 2018.

SOUSA, F. R. C. de. **Modelagem do sistema hidrológico da bacia hidrográfica do rio Coreaú (Ceará – Brasil)**: vulnerabilidade versus planejamento ambiental. 2018. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) - Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, CE, 2018.

SOUSA, F. R. C.; PAULA, D. P. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 20, n. 3, 2019.

SOUZA, C., C. E. A. *et al.* Determinação do fator de erosividade da chuva para o distrito de Marudá (PA). **Nature and Conservation**, v. 13, n. 4, p. 55-62, 2020.

SOUZA, E. D. O. *et al.* Estimativa e espacialização da erosividade em mesorregiões climáticas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 769-783, 2021.

TAELEMAN, S. E. *et al.* Contabilização do uso da terra na avaliação do ciclo de vida: o valor do NPP como um indicador substituto para avaliar os impactos do uso da terra nos ecossistemas. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 550, p. 143-156, 2016.

TAGLIARINI, F. D. S. N. *et al.* Capacidade de uso do solo como subsídio para estudos em bacia hidrográfica. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 418-428, 2019.

TENÓRIO, R. **Estudo hidrometeorológico da bacia do rio Mundaú**. 1985. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 1985.

TERASSI, P. M. B.; GRAÇA, C. H.; TOMMASELLI. Características da precipitação pluvial ea erosividade das chuvas na vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, n. 1, p. 118-131, 2016.

TRINDADE, A. L. F. *et al.* Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1918-1928, 2016.

VIEIRA, D. A. *et al.* Índice de erosividade do território de identidade portal do Sertão-BA. **Territorialidades da Agricultura Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 81-93, 2022.

VILAR, O. M.; PRANDI, E.C. Erosão dos solos. *In*: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos, SP: ABMS: EESC-USP, 1993. cap. 7. p. 177-206.

WALTRICK, P. C. *et al.* 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**, v. 39, p. 256-267, 2015.

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, 1980. p.350.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Preveno perdas por erosão das chuvas**: um guia para o planejamento de conservação. Hyattsville, MD, EUA: USDA, 1978. v.537.

ZACHAR, D. **Soil erosion**. New York: Elsevier, 1982. 548 p.