



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção de grau de licenciatura em Geologia Marinha

Estimativa da Erosividade de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze: caso de estudo da área da bacia que abrange Moçambique

Autor

Arsénio Alito Vilanculo

Quelimane, Setembro de 2025



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS
Monografia para obtenção de grau de licenciatura em Geologia Marinha

Estimativa da Erosividade de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze: caso de estudo da área da bacia que abrange Moçambique

Autor:

Arsénio Alito Vilanculo

(Arsénio Alito Vilanculo)

Supervisor

Banito B. Magestado

(Mestre. Banito B. Magestado)

Avaliador:

Orlando A. N. Júnior

(Licenciado. Orlando Júnior)

Presidente de Júri:

Stélio Mangue

(Licenciado Stélio Mangue)

Quelimane, Setembro de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho em primeiro lugar ao meu avo Afonso Tecane que Deus o tenha, minha avó Helena Luís, e a minha mãe Emília Afonso pela educação, carinho, compreensão e por me inspirarem a ser a um bom educado.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pela vida, conhecimento e pela luz da vida que me iluminou durante este percurso;

Em segundo lugar, a minha mãe Emília Afonso, minha avó Helena Machohe, minhas tias, Anária Vilanculo, Alzira Vilanculo, Esperança Vilanculo, Fiadosia Vilanculo, meus tios, Calisto Afonso, Hilton Vilanculo, Basilio Geraldo e meus irmãos, Dércio Alito, Hermenio Alito, Horácio Paulo, Flayd Anária, pela amizade, carinho, conselhos e pelo apoio nos momentos mais difíceis durante minha trajetória;

Ao meu supervisor, Mestre Banito Bene Magestade, pelo encorajamento, paciência, orientação, por acreditar na realização do trabalho e nas informações importante do mesmo;

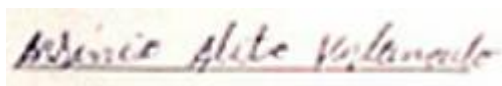
A UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, toda direcção, docentes da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, em especial os que leccionam o curso de Geologia Marinha;

A todos meus colegas da faculdade por fazerem parte da minha trajetória, irmandade, ensinamentos, todo apoio dado que culminou com este trabalho e em especial a turma de Geologia Marinha pelo contributo nos meus estudos.

Declaração de honra

Eu, Arsénio Alito Vilanculo, declaro que, esta monografia de culminação do curso, é original, fruto do meu esforço e que nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau académico. Esta monografia obedece todos requisitos de obtenção de grau de Licenciatura em Geologia Marinha, na Universidade Eduardo Mondlane, pela Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira.

Quelimane, Setembro de 2025

A handwritten signature in dark ink, reading "Arsénio Alito Vilanculo", written over a light-colored rectangular background.

(Arsénio Alito Vilanculo)

Resumo

No presente trabalho fez-se uma estimativa da erosividade da chuva na bacia do Zambeze, com objectivo de identificar as áreas mais vulneráveis a erosão. Para tal determinou-se o índice de erosividade com base em dados espaciais de precipitação da plataforma CHIRPS, e ainda, determinou-se o período de retorno de um evento erosivo. A metodologia é baseada nas médias mensais de precipitação. Para o cálculo de erosividade anual, considerou-se as médias mensais de precipitação para cada ano e a posterior aplicou-se álgebra de mapas no Arcgis 10.1. Em contrapartida, para a estação chuvosa foi considerado-se as médias mensais de precipitação para cada mês. Os resultados revelam flutuações espaciais do índice de erosividade, com maior destaque no montante e jusante da bacia. E para o índice de erosividade anual o menor valor corresponde a 1467.2 MJ.mm/(ha.ano) e o mais elevado 4473.85 MJ.mm/(ha.ano) com uma amplitude de 30006.65 MJ.mm/(ha.ano), esses valores classificam essa região como de baixa e média erosividade. Também, na estação chuvosa os meses de Novembro e Abril apresentam valores mais baixos em contrapartida com os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março que apresentaram valores mais altos. Importa realçar que a estação seca foi discriminada tendo em conta a baixa precipitação verificada nessa época do ano. Adicionalmente, foi calculado o período de retorno e a probabilidade de ocorrência de eventos erosivos tendo em conta o mesmo período de estudo. Apresentando um índice maior de 5366.578 MJ.mm/(ha.ano) interpretado como média erosividade. Por fim, o estudo destaca zonas de média e baixa erosividade e as características do relevo e vegetação amplificam este fenómeno.

Palavras-chaves: Erosividade da chuva, Bacia Hidrográfica do Zambeze e Erosão hídrica.

Lista de abreviaturas

- CHIRPS: Climate Hazards Group InfraRed Pricipitation With Station Data
- EI30: Erosividade da chuva em 30 minutos
- Ha: Hectare
- mm: Milímetros
- MJ: Megajoule
- USLE: Universal Soil Loss Equation
- ZCIT: Zona de Convergência Intertropical

Lista de símbolos

- **A** - Perda de solo por unidade de área (t/ha)
- **C** - Factor de uso e manejo do solo
- **K** - Factor de erodibilidade do solo
- **L** - Factor de comprimento da rampa
- **M** - Número de ordem do índice de erosividade na série de dados
- **Mx** - Precipitação média mensal (mm)
- **N** - Número total de anos da série de dados
- **P** - Factor de práticas conservacionistas
- **Pr** - Probabilidade de ocorrência de um evento erosivo (%)
- **R** - Factor de erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)
- **Rx** - Factor de erosividade mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
- **S** - Factor de declividade da rampa
- **T** - Período de retorno de um evento erosivo (anos)

Lista de figuras

Fig.1. Delimitação da área de estudo	7
Fig.2. Variação mensal da precipitação	8
Figura.3. Distribuição anual da erosividade.....	14
Figura.4. Análise da variação mensal da estação chuvosa do índice de erosividade.....	16
Fig.5. Mapeamento do relevo	17
Fig.6. Mapeamento da cobertura vegetal	18
Fig.7. A figura ilustra a variação espacial da precipitação.....	19
Fig.8. Correlação entre o período de retorno e a probabilidade de ocorrência	20
Fig. 9. Variação da erosividade inter-anual.....	21

Lista de tabelas

Table.1. Equações propostas por Silva (2004).....	11
Table. 2. Classes de interpretação do índice de erosividade média anual do factor R.....	11
Tabela 3: Probabilidade de ocorrência e periodo de retorno.....	32

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos.....	iv
Declaração de honra	v
Resumo.....	vi
Lista de abreviaturas.....	vii
Lista de símbolos.....	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	x
Capítulo i: Introdução e Objectivos	1
1. Introdução	1
2. Problemática.....	2
3. Justificativa	3
4. Objectivos	3
4.1. Geral	3
4.2. Específicos:.....	3
Capítulo II: Revisão de Literatura	4
2. Revisão de literatura	4
2.1. Bacia hidrográfica.....	4
2.2. Erosão	4
2.3. Precipitação	5
2.4. Estimativa da erosividade da chuva.....	5
2.4.1. Factor erosividade da chuva (R)	5
Capítulo III: Procedimento Metodológico	7
3. Metodologia	7
3.1. Área de estudo	7

2.1. Clima da região	8
3.2. Descrição dos dados	9
3.3. Limitações dos Dados CHIRPS	9
3.4. Cálculo do índice de erosividade.....	10
2.1. Período de retorno e a sua probabilidade de ocorrência	12
2.2. Correlação da erosividade com Relevo, Vegetação e Precipitação	12
Capítulo IV: Resultados	14
4.1. Distribuição espacial da erosividade anual.....	14
4.2. Distribuição mensal da estação chuvosa do índice de erosividade	15
4.3. Mapeamento do relevo	16
4.4. Distribuição da cobertura vegetal.....	17
4.5. Distribuição espacial da precipitação	18
4.5. Período de retorno e Probabilidade de ocorrência do índice de erosividade	19
4.6. Erosividade inter-aul em função dos anos.....	20
CAPITULO V: DISCUSSÃO	22
Capítulo VI: Conclusões e Recomendações.....	25
1. Conclusões	25
2. Recomendações	25
4. Referência bibliográficas	27
ANEXO I.....	32

Capítulo i: Introdução e Objectivos

1. Introdução

A bacia hidrográfica é entendida como sendo uma área limitada por divisores de águas, na qual são drenados os recursos hídricos, por meio de um curso de água, podendo ser um rio e seus afluentes (Daniel Okomato, 2010). A parte física da bacia desempenha um papel importante de planeamento e na execução de actividades socioeconómicas e ambientais, uma vez que qualquer mudança na sua dinâmica afecta directamente os recursos naturais e as comunidades que depende deles.

Nesse contexto, a precipitação assume-se como uma variável meteorológica crucial no estudo de processos erosivos. O impacto das gotas de água sobre o solo pode causar desgaste significativo, principalmente quando associado as mudanças do clima. E as actividades humanas, como a agricultura, agravam esses impactos na medida que reduz a cobertura vegetal e tornando os solos mais susceptíveis a erosividade (Xavier *et al.*, 2018; Raimo *et al.*, 2018). Com o aumento das variações climáticas e a consequente influência no índice de precipitação, torna-se necessário entender a intensidade, o volume e o escoamento das águas para o manejo adequando dos recursos hídricos e para mitigar os efeitos da erosão.

Observa-se que o volume total, duração e intensidade das chuvas são as características que mais afectam a erosividade (Ildegradis Bertol, 1993). Esta, entendida como a capacidade que uma gota de água tem em causar desprendimento dos solos, torna-se um factor decisivo no planeamento ambiental. A erosão pode ser considerada como sendo uma consequência da alteração da vegetação, o que altera a capacidade do solo em absorver e reter água (Xavier *et al.* 2019). No entanto Araújo *et al* (2014), consideram o risco de erosão dependente das condições naturais como é o caso de alterações climáticas, e de actividades do uso de terra que envolvem a retirada da vegetação. E Silva *et al* (2021) também evidenciam que actividades como agricultura que consiste no retiro da vegetação têm uma influência significativa na erosão.

Neste caso, fez-se uma estimativa da erosão das chuvas com base em dados espaciais de precipitação adquirida na plataforma CHIRPS, com objectivo de analisar o potencial da precipitação no índice de erosividade dos solos da bacia hidrográfica do rio Zambeze. Para tal utiliza-se a equação descrita por Rufino *et al* (1993) (vide a tabela.1.) onde considera o factor erosividade como o somatório da média mensal da precipitação. Para o cálculo do potencial erosivo, considera-se o volume da média mensal da

precipitação, ou ainda, o total de precipitação para cada mês sem a exclusão dos dias com baixa precipitação ou horas com intensidade de chuva baixa. Por outra, não considera-se a intensidade da precipitação dentro de horas ou dias, conforme tem sido feito nos trabalhos de Xavier *et al* (2018), Amanda.G.R & Adriano.M.L.S (2018). E ainda, segundo Wischmeier & Smith (1958) as regiões com clima temperado apresentam uma relação entre a energia cinética e a duração máxima em 30 minutos (I30) sendo o mais viável para avaliar a erosão. Contudo, as regiões de clima tropical e subtropical tendem a subestimar essa relação e consequentemente sua erosividade (Lal, 1976). Por fim, levando em conta a significância do processo erosivo e a chuva, e ainda, há falta de informações sobre este fenómeno erosivo do conhecimento científico, vê-se a necessidade de compreender a forma como este atua nesta região.

2. Problemática

A bacia hidrográfica do Zambeze é de grande relevância para o desenvolvimento do próprio país e para as comunidades que tem usado a mesma para a prática de agricultura e produção pesqueira, assim como a indústria de produção de energia (exemplo: Hidroelétrica de Cahora Bassa), e ainda o abastecimento de água para a sociedade em geral (usada na sua maioria para fins domésticos). No entanto, práticas agrícolas demonstram ter uma influência significativa na erosão pois essa mesma actividade consiste no abate de árvores e retiro da vegetação que torna solos mais expostos à erosão das chuvas. Além disso, a erosão hídrica é um dos factores que ocasiona o desabamento de terras, perda de fertilidade de solos tornando os solos menos produtivos, assoreamento de cursos de água que tem seu impacto na produção de energia em barragens elétricas, diminuição do volume das águas e a qualidade dos ecossistemas aquáticos (Ashiagbor *et al.* 2013; Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Barbosa *et al.*, 2015; Oliveira, Seraphim e Borja, 2015). Diante do exposto, dentre estudos já feitos na bacia hidrográfica do Zambeze pouco sabe-se o estado de vulnerabilidade à erosão das chuvas que pode estar a trazer várias implicações para as comunidades desta região e desta forma surge a seguinte questão.

Quais são as áreas mais susceptíveis à erosão das chuvas na bacia hidrográfica do Zambeze?

3. Justificativa

O estudo da erosividade de chuva vai permitir um melhor conhecimento sobre como este fenómeno ocorre, o que é fundamental na elaboração de planos de uso e ocupação de terras da bacia, e ainda, justifica-se pela necessidade de avaliar a relação precipitação e erosão dos solos na bacia hidrográfica do Zambeze. Dai que, torna-se importante conhecer este fenómeno que pode ter suas consequências negativas em actividades praticadas pela comunidade e para os ecossistemas aquáticos, como é o caso da sedimentação de cursos de rios afectando a qualidade de água, baixa fertilidade dos solos que reduz a produtividade das culturas e ainda com o aumento das mudanças climáticas, a intensidade das chuvas têm aumentando cada vez mais o que pode influenciar na erosividade da bacia hidrográfica. Além disso, este estudo é de extrema importância pois renova o conteúdo científico dessa região e aborda aspectos ambientais que é uma preocupação actualmente.

4. Objectivos

4.1. Geral:

- Analisar as áreas susceptíveis à erosão na parte moçambicana da Bacia Hidrográfica do rio Zambeze

4.2. Específicos:

- Determinar e mapear o índice de erosividade das chuvas ao longo da área de estudo e
- Determinar o tempo de retorno e a sua probabilidade de ocorrência

Capítulo II: Revisão de Literatura

2. Revisão de literatura

2.1. Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é entendida como sendo uma área fisiográfica contornada por divisores topográficos que limitam as áreas de terras drenadas por um rio principal, seus afluentes subafluentes. No entanto, Queiroz (2009), considera mesma a como responsável pela colecta das águas pluviais conduzidas para seu sistema de drenagens natural incluindo todos os usos da água e do solo existentes. Além disso, tendem a ser utilizadas como unidades de estudos e planeamento. E a estrutura e os arranjos espaciais dos corpos hídricos são reflexos da evolução morfogenética influenciada pela estrutura geológica da região. Dai que, o diagnóstico da dinâmica ambiental é essencial para propor mecanismos de planeamento e gestão que vão de acordo com as necessidades humanas do manejo do solo segundo às características físicas (Carvalho, 2014; Cherem *et al.*, 2018; Torres e Machado, 2012).

2.2. Erosão

A erosão é o processo de desgaste de solos e rochas — desagregação, transporte ou deslocamento das partículas do solo — provocado por agentes activos, como a água, o vento, o gelo e agentes biológicos (Carvalho, 2008). Este fenómeno ocorre em função da interacção com agentes passivos, tais como a topografia, o tipo de solo, a cobertura vegetal e a saturação do solo (Adinarayana et al., 1999).

No âmbito de uma bacia hidrográfica, o processo erosivo pode ser classificado quanto à sua origem: erosão natural e erosão antrópica.

- ✓ A **erosão natural**- inicia-se com o impacto das gotas de chuva sobre o solo, que perturba o equilíbrio das partículas superficiais. À medida que se estabelece o escoamento superficial, os grãos de sedimento da camada superior do solo são transportados — alguns ficam retidos nas depressões e vales da bacia, outros são lançados para o sistema de drenagem. Este tipo de erosão ocorre também ao longo das calhas dos rios, devido à acção do escoamento (Silva & Wilson Júnior, 2005).
- ✓ A **erosão antrópica**- resulta de práticas humanas não conservacionistas na bacia hidrográfica ou de intervenções nas calhas fluviais. Entre as principais causas encontram-se: actividades agrícolas sem métodos de conservação, urbanização com impermeabilização do solo, construção de estradas sem um sistema adequado de drenagem, exploração mineira e substituição da cobertura vegetal que altera as condições do escoamento superficial (Silva & Wilson Júnior, 2005).

2.3. Precipitação

A Precipitação é tida como todo líquido ou partículas de gelo (neve e granizo) que forma-se na atmosfera e tendo a sua queda na terra (Daniel Okamoto, 2010). O que diferencia essa forma de precipitação é o estado em que a água se encontra (Tucci, 2001). O processo de erosividade dá-se pela interacção de gotas de chuva com o solo. Portanto, o desgaste do meio ambiente, em destaque o do solo e água, mostra um crescimento alarmante devido avanço das actividades humanas. Por outro lado, a erosão hídrica atua como uma das principais formas de degradação dos solos, podendo influenciar no assoreamento de rios e reservatórios, o que pode comprometer o abastecimento de água, projectos de irrigação e reduzindo a capacidade de produção de energia hidreléctrica (Brady e Weil, 2013). Existem quatro processos importantes na erosão hídrica que são desprendimento, arraste, transporte, e depósito de partículas e nutrientes da camada superficial do solo (Ashiagbor *et al.*, 2013; Dechen *et al.*, 2015; Barros *et al.*, 2018). E ainda, a nível global, a erosão hídrica é tida como a mais importante e danosa forma de erosão do solo que ocorre pela acção das gotas de água e escoamento superficial, podendo ser agravado por factores naturais e antrópicos (Zachar, 1982).

2.4. Estimativa da erosividade da chuva

Modelos como a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) são utilizados para estimativas de perda de solo. Na análise da USLE, o factor R de erosividade da chuva é de extrema importância na determinação, pois é o mais afectado pelas variações climáticas (Martins *et al.*, 2020). A erosão das chuvas contribui para a degradação dos solos e assoreamento dos rios e reservatórios de água, e a sua identificação pode ser obtida utilizando modelos matemáticos (Batista *et al.*, 2020).

2.4.1. Factor erosividade da chuva (R)

A erosividade é considerada como sendo um índice numérico que dita a capacidade que a água da chuva tem em causar desagregação, transporte e deposição de sedimentos. De acordo com Bertoni, Lombardi Neto (2014) e Morgan (1997) este factor R pode ser considerado como sendo a base da equação universal de perdas de solo, já que a água age como um elemento de erosão dos solos através do impacto das gotas de água e escoamento superficial das águas. Além disso, existem duas características de chuva que representam as perdas de solo que são: a energia cinética total do evento (usado neste trabalho) e a intensidade máxima em 30 minutos (Wischmeier, Smith, 1958). E ainda, considera melhor relação para medir o potencial da erosividade.

Dentre os estudos feitos sobre a erosividade, um dos métodos que tem sido utilizado com mais frequência é o de índice de Wischmeier & Smith (1959), que baseia-se na intensidade e duração de chuva em 30

minutos, sendo utilizado dados pluviométricos que torna-se um desafio para algumas regiões sem dados pluviométricos. Lal & Elliot (1994), El-Swaify et al. (1982), Ulsaker & Onstad (1984), Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), Bertol (1993), Marques (1996), Silva (1997) e Bertoni & Lombardi Neto (1999) criticam a utilização do EI30 como um índice de erosão para os trópicos. Justificando-se pela escassez de informações pluviógrafos para obtenção de I30 em muitos países em via de desenvolvimento, para além disso, a demora na análise de pluviógrafos para o cálculo da energia cinética. Destacando também a complexidade no cálculo de EI30 pois requer registos detalhados da precipitação.

Dai que, autores como Fournier (1956), Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), Marques (1996), Silva (1997) e Bertoni & Lombardi Neto (1999) buscaram o estabelecimento de correlações entre o índice de erosividade (R) e características das chuvas de mais fácil mensuração e que não requeiram registos de sua intensidade. Bertoni & Lombardi Neto (1999), buscaram um modelo matemático que simplifica-se o método para calcular o factor R, e propuseram uma equação para determinação da erosividade da chuva, considerando valores de precipitação média mensal (mm) e de precipitação média anual (mm). Logo, o índice de erosividade é determinado como o somatório dos valores dos índices médios mensais de erosividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1999; Bertol, 1993). Neste trabalho, aplica-se o modelo desenvolvido por Rufino *et.al* (1993) baseada em modelo linear para determinação da erosividade de chuva sem dados pluviométricos, a mesma apresenta-se da seguinte forma: $R = 19,55 + (4,20 * Mx)$

Onde:

Rx = Representa o factor erosividade MJ mm/ (há.ano) e

Mx = é a precipitação média mensal (mm)

Capítulo III: Procedimento Metodológico

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

A bacia do rio Zambeze constitui a quarta maior de africa, com uma área aproximada de 1.385000 km, sendo apenas ultrapassada pelas bacias de Congo, Nilo e Níger (Sheila, 2013). O rio Zambeze tem a sua nasce no planalto central africano, concretamente nas montanhas Kalene no Noroeste da Zâmbia, a 1.585 m de altitude acima do nível médio do mar. a partir dai percorre diferentes formações geográficas ate desaguar no Oceano Indico (SARDC-IMERCSA, 1998). A mesma é tida como transfronteiriça e abrange Oito (8) países com diferente extensão: Zâmbia (41,9%), Angola (18,2 %), Zimbabwé (15,9 %), Moçambique (11,6 %), Malawi (7.5 %), Tanzânia (2,2 %), Botswana (1,5 %) e Namíbia (1,1 %) (Peterson, 2012).

No caso de Moçambique, a bacia Zambeze ocupa uma área aproximadamente de 220.000 Km², equivalente cerca de 28% da superfície nacional. Situa-se entre os paralelos 13° S e 19° S, prolongando se até ao ponto ocidental do país, meridiano 31° E e 35° de Greenwich. Abrange sobretudo as províncias de Manica, Sofala e Zambézia, a Norte a província de Tete e a leste desagua no oceano Indico.

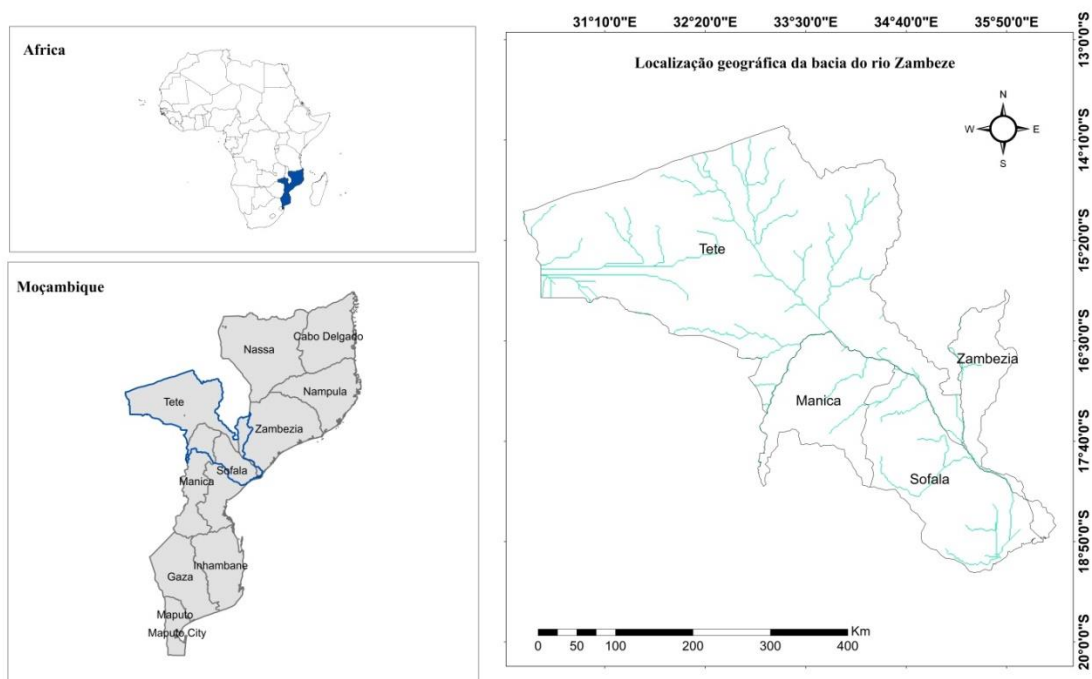


Fig.1. Delimitação da área de estudo

2.1. Clima da região

O clima da bacia do Zambeze, têm influência do sistema de ventos dominantes, de sudeste, nordeste, massa de ar de congo e a chamada zona convergência intertropical (ZCIT) (Shueila, 2013). E ainda, a albufeira de Kariba, Cahora Bassa, e o lago Niassa desempenham um papel importante na manutenção do clima da bacia (Chenje, 2000). Portanto, para o território nacional a bacia apresenta um clima diferente, onde a precipitação tem uma influência da zona de convergência intertropical e com uma precipitação anual que varia de 1000 mm á 1400 mm tendo a região norte com altos valores de precipitação e com um decréscimo para a região sul, podendo atingir a metade deste valor a sudoeste. Para regiões mais próximas da costa, o clima é influenciado por águas quentes do canal de Moçambique, visto que, os ventos são do quadrante este, logo o nível de humidade é bastante elevado (Sheila, 2013). E ainda, a estação chuvosa, tem seu início no mês de Novembro e terminando no mês de Abril, coincidindo no momento que a bacia regista temperatura mais alta. Para os valores mais baixos da temperatura, tem-se 19 °C á 21 °C na estação seca, e uma taxa de evaporação alta de 1600 mm a 2300 mm (APRCDZ,2011).

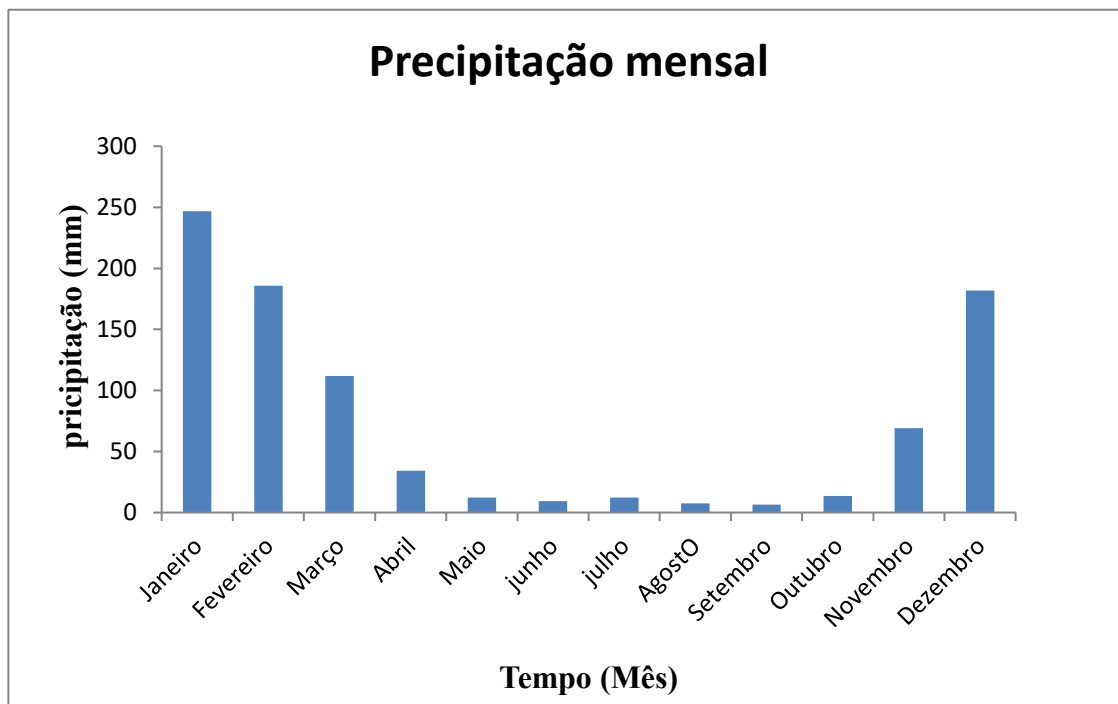


Fig.2. Variação mensal da precipitação

3.2. Descrição dos dados

No presente estudo, adquiriu-se dados históricos de precipitação infravermelha da estação CHIRPS no site: https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/africa_monthly/tifs/ no formato *TIFF*, onde fez-se o *download* de cada mês correspondente a cada ano num período de 31 anos (1991-2022), estes dados são fornecidos a nível global com uma estimativa de mais de 35 anos variando de 1981 até os dias actuais com uma resolução de imagens de satélite 0.05° e dados pontuais (*in situ*). Estudos que retracem a erosividade de chuva tem sido realizado com uma serie temporal de 20 anos no mínimo, como é o caso de Almeida e Adriano (2018) e Noronha *et al* (2023) que usaram uma serie temporal equivalente a 30 anos. Dai que justifica-se o intervalo de tempo usado. Fora disso, Edson (2021) considera dados de CHIRPS como sendo uma ótima opção para regiões com falta de dados pluviógrafos e aponta a eficácia desses dados, dai que, o mesmo recomenda a sua utilização em estudo de erosividade das chuvas.

3.3. Limitações dos Dados CHIRPS

Apesar das vantagens do uso desses dados em zonas sem pluviómetros, os dados CHIRPS apresentam algumas limitações a destacar:

- ✓ Dependência de Dados de Estações: A precisão das estimativas pode ser afectada pela disponibilidade e qualidade dos dados de estações meteorológicas, especialmente em regiões com poucos pontos de medição.
- ✓ Subestimação de Extremos: Os dados CHIRPS podem subestimar a variabilidade e os extremos de precipitação em algumas áreas, o que pode impactar análises de eventos climáticos extremos.
- ✓ Atrasos no fornecimento dos dados: Embora os dados preliminares estejam disponíveis com um atraso de cerca de 2 dias, a versão final dos dados pode ter uma diferença de aproximadamente 3 semanas, o que pode limitar sua utilidade para monitoramento em tempo real.
- ✓ Variabilidade Regional: A eficácia dos dados pode variar conforme a região geográfica, devido a diferenças na topografia, cobertura do solo e padrões climáticos locais.

1.1. Identificação das áreas vulneráveis a erosão na bacia hidrográfica do rio Zambeze

Para a identificação das áreas susceptíveis a erosão, segue-se com o que foi descrito pela Silva (2004), onde considera o factor R como sendo a erosividade das chuvas e ainda salientar que o factor R é um factor resultante da equação da USLE- Universal Soil Loss Equation (Wischmeier e Smith, 1978) ou ainda EUPS- Equação de Perdas de Solo, quando traduzido em português. A EUPS é uma equação

matemática bastante utilizada em estudos de perdas do solo ou planeamento ambiental pelo facto de envolver vários componentes que contribuem na erosão dos solos. A mesma apresenta-se da seguinte forma:

$$A=R*K*L*S*C* P \quad \text{Eq.1.}$$

Onde

A = quantidade de solo perdido por unidade de área, t/ha;

R = factor erosividade da chuva, índice de erosão pela chuva;

K = factor erodibilidade do solo, indica a resistência do solo a erosão;

L = factor comprimento da rampa;

S = factor declividade do solo;

C = factor uso e manejo, indica o efeito da vegetação;

P = factor práticas conservacionistas, indica a eficiências as práticas de manejo do solo;

3.4. Cálculo do índice de erosividade

Para a o cálculo da erosividade considera-se a equação 8 da tabela.1 descrita por Silva (2004), onde:

$$\sum R= 19.55+ (4.20*Mx) \quad \text{E.q.2.}$$

Sendo que: **R**- é o índice de erosividade e **Mx**- é a média mensal de precipitação.

As médias mensais foram calculadas no software Arcgis 10.1, que possibilitou o processamento e análise espacial dos dados de precipitação. Os mapas foram gerados considerando a serie temporal de 31 anos, onde, foram calculadas as média mensais de precipitação de cada ano para cada mês que vai de Janeiro até Dezembro. Para compreender a variação mensal da estação chuvosa, considerou-se as médias mensais do total cumulativo de cada mês considerando o intervalo de estudo, ou seja, para cada mês foram agrupados os dados de cada mês considerando o período de estudo. A posterior aplicou-se o factor R para cada mês. Em suma, Na extracção da erosividade mensal e na erosividade anual considerou-se o somatório das médias mensais.

Table.1. Equações propostas por Silva (2004)

Numero	Equação	Autores
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right) + 42.72$	Oliveira Jr. E Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right)^{1.0952}$	Morais <i>et.al</i> (1991)
3	$R_x = (0.66 * Mx) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right) + 69.763$	Silva (2001)
5	$R_x = 0.13 * (Mx)^{1.24}$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right)^{0.6030}$	Val <i>et. al</i> (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right)^{0.841}$	Lombardi e Neto Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * Mx)$	Rufino <i>et.al</i> (1993)

Onde:

Mx- médias mensais; P- médias anuais; Rx-Erosividade

Table. 2. Classes de interpretação do índice de erosividade média anual do factor R

Fonte: carvalho (1994)

Erosividade (MJ.mm/há/h/ano)	Classificação de erosividade
$EI_{30} \leq 2452$	Baixa erosividade
$2452 < EI_{30} \leq 4905$	Media erosividade
$4905 < EI_{30} \leq 7357$	Erosividade de média forte
$7357 < EI_{30} \leq 9810$	Forte erosividade
$EI_{30} > 9810$	Erosividade muito forte

2.1. Período de retorno e a sua probabilidade de ocorrência

A estimativa do período de retorno e probabilidade de ocorrência foi baseada no que Villela e Matos (1975) consideram ser o período de retorno, onde os mesmos consideram o período de retorno como sendo o tempo necessário no qual o índice de erosividade pode ser igualado ou excedido. E a probabilidade de ocorrência representa as chances para um evento erosivo acontecer de novo. Para tal foi aplicada a fórmula descrita abaixo:

$$T = (N+1) / M \quad \text{Eq.3.}$$

T= período de retorno por anos;

N= numero de anos da serie de dados e

M= número de ordem do índice de erosividade

$$Pr = 100/T \quad \text{Eq.4.}$$

Onde:

Pr= é a probabilidade de ocorrência em percentagem e

T= é o período de retorno em anos

O cálculo do período de retorno e probabilidade de ocorrência foi efectivado apos a manipulação dos dados no Arcgis tendo sido extraído a quantidade total de chuva para cada mês e a posterior fez-se cálculo das médias mensais e médias anuais de erosividade ou factor R no Microsoft Excel e a sua devida a pilotagem dos gráficos

2.2. Correlação da erosividade com Relevo, Vegetação e Precipitação

Durante a análise, foi realizada uma correlação entre o índice de erosividade e as características do relevo, vegetação e precipitação. Essa correlação foi feita tendo em conta o papel que a topografia, precipitação e a cobertura vegetal têm na erosão dos solos. Onde, as regiões com declividades acentuadas e vegetação escassa tendem a apresentar maior erosividade e ainda regiões com alta precipitação tendem apresentar o mesmo comportamento. Importa realçar que o mapa de relevo, vegetação e precipitação não foi o foco principal deste estudo, sua consideração é vital para entender a dinâmica da erosão na bacia. A análise

dos resultados de erosividade com a topografia, cobertura vegetal e precipitação, permitirá identificar áreas mais críticas da bacia, o que vai ajudar a propor medidas que reduzem o impacto deste fenómeno.

Capítulo IV: Resultados

4.1. Distribuição espacial da erosividade anual

A bacia do rio Zambeze apresenta diferentes níveis de erosividade anual, tendo seus índices elevados no montante e na jusante da bacia, o que torna essas regiões mais vulneráveis a erosão das chuvas. No entanto, a região nordeste, apresenta uma média erosividade, tal como acontece a sudeste. Por outro lado, percebe-se que a região centro é caracterizada por uma baixa erosividade. Os valores anuais variam entre 1467.2 MJ.mm/(ha.ano) e 4473 MJ.mm/(ha.ano) com uma amplitude de 3006.65 MJ.mm/(ha.ano), sendo que, os maiores valores são encontrados no montante e jusante da bacia, e que classifica essas áreas como sendo de média erosividade. Contudo, a bacia revela um potencial de erosividade média com maior extensão a sul nas províncias de Sofala, Zambézia e norte em Tete. A província de Manica, ainda que apresente sub-regiões com potencial de erosão média, a maior parte dessa região apresenta um potencial baixo.

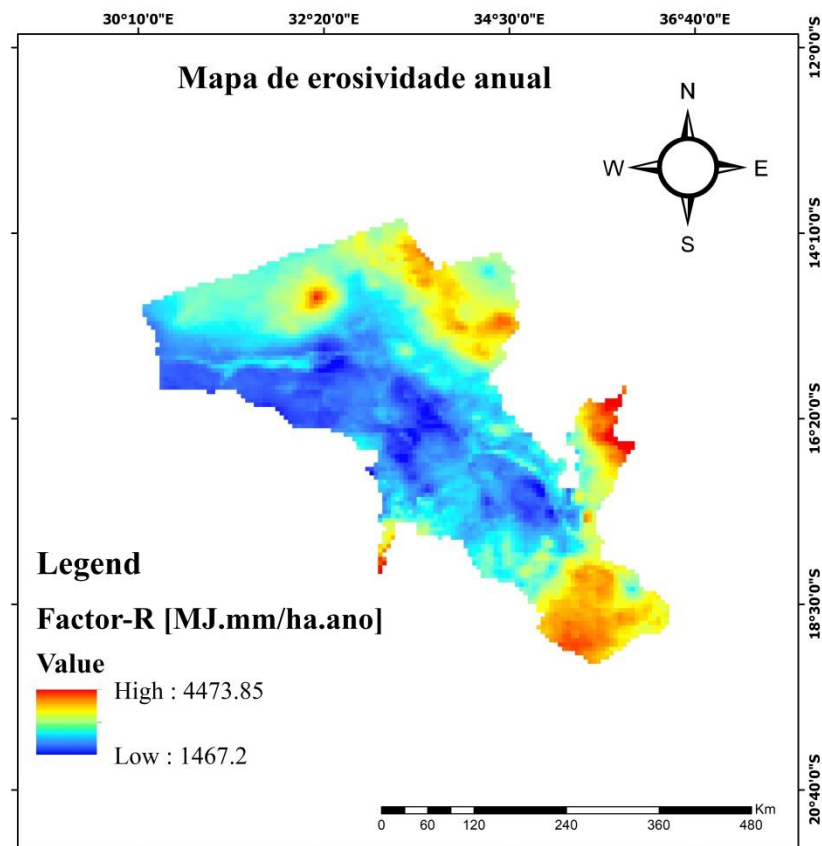


Figura.3. Distribuição anual da erosividade

4.2. Distribuição mensal da estação chuvosa do índice de erosividade

A figura 4, apresenta distribuição mensal do índice de erosividade ao longo da estação chuvosa, o que permiti identificar os meses de maior e menor intensidade erosiva. O mês de Novembro tem seu pico máximo de 689.423 MJ.mm/(ha.mês) e para Abril 580.261 MJ.mm/(ha. mês). Em oposição, nos meses de Dezembro e Janeiro, verifica-se um aumento acentuado do índice de erosividade que alcança 1645.9 MJ.mm/(ha. mês) para o mês de Dezembro e 1770.07 MJ.mm/(ha. mês) para Janeiro. O mês de Fevereiro e Março, apresentam uma pequena queda no seu valor de erosividade com 1239.92 MJ.mm/(ha. mês) para o mês de Fevereiro e 1264.27 MJ.mm/(ha. mês) para o mês de Março, estes valores revelam erosividade mais baixa. Verifica-se também que há uma tendência crescente de erosividade nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro e apresentando altos valores espaciais a montante, e ainda, no mês de Janeiro a uma tendência de valores mais altos na jusante. Por outro lado, o mês de Fevereiro, Março e Abril, apresenta uma redução progressiva no índice de erosividade e os meses de Março e Abril têm uma tendência de erosividade na jusante comparativamente a montante. Por ultimo, o mês de Novembro apresenta alto índice de erosividade a montante e com uma tendência de diminuição de valores de erosividade na jusante.

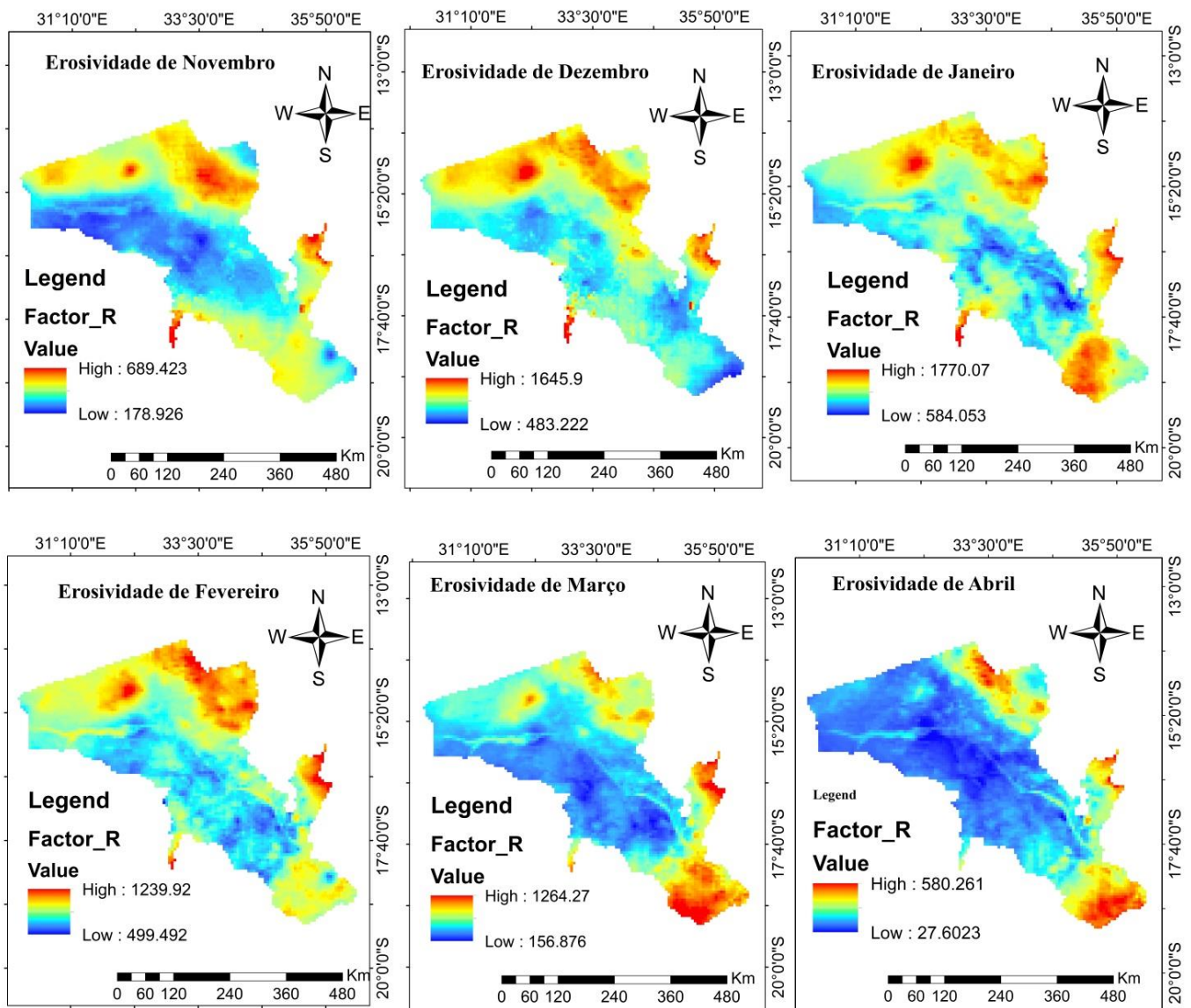


Figura.4. Análise da variação mensal da estação chuvosa do índice de erosividade

4.3. Mapeamento do relevo

A figura 5, revela variações significativas do relevo da região em estudo, sendo que, os maiores valores são encontrados no montante com uma variação de 900 m até 1900 m de altitude e os valores mais baixo são encontrados na jusante com uma variação de 2 m até 260 m de altitude. Ainda, na região sul, a província de Sofala apresenta um relevo mias suave, em contrapartida a províncias de Manica que apresenta maior extensão de relevo ingreme na ordem de 270 m até 1900 m de altitude e por ultimo a província da Zambézia apresenta um relevo que vária de 2 m até 1900 m com maior predominância de relevo suave. A região norte revela maior extensão de relevo ingreme na ordem de 560 m até 1900 m de altitude.

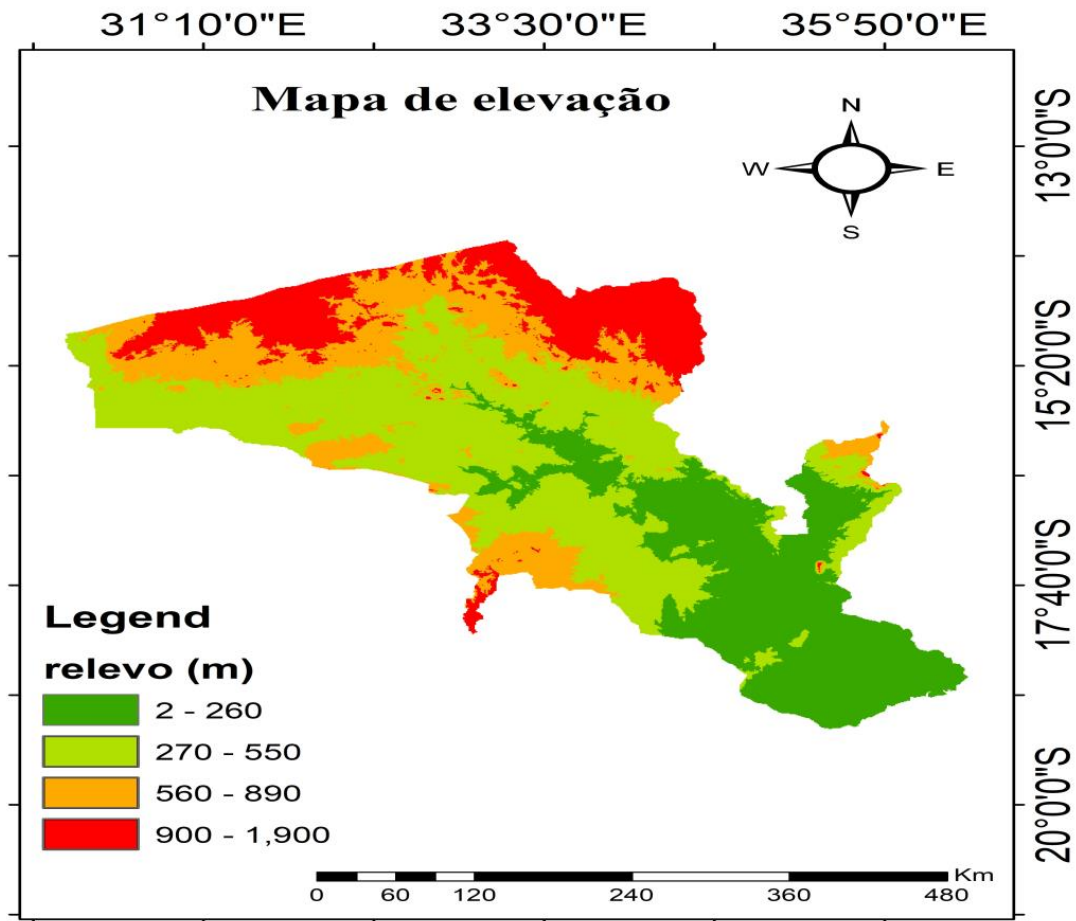


Fig.5. Mapeamento do relevo

4.4. Distribuição da cobertura vegetal

De acordo com a figura 6, a cobertura vegetal da bacia do Zambeze, é classificada como alta, média e baixa vegetação, onde o alto índice de vegetação é encontrado em maiores proporções na jusante (região sudeste da bacia) e a região centro apresenta uma forte tendência de vegetação baixa, comparativamente a montante (região nordeste) que apresenta uma tendência de média vegetação principalmente nas regiões com um relevo ingreme. No entanto, a bacia apresenta maiores regiões de baixa e média vegetação.

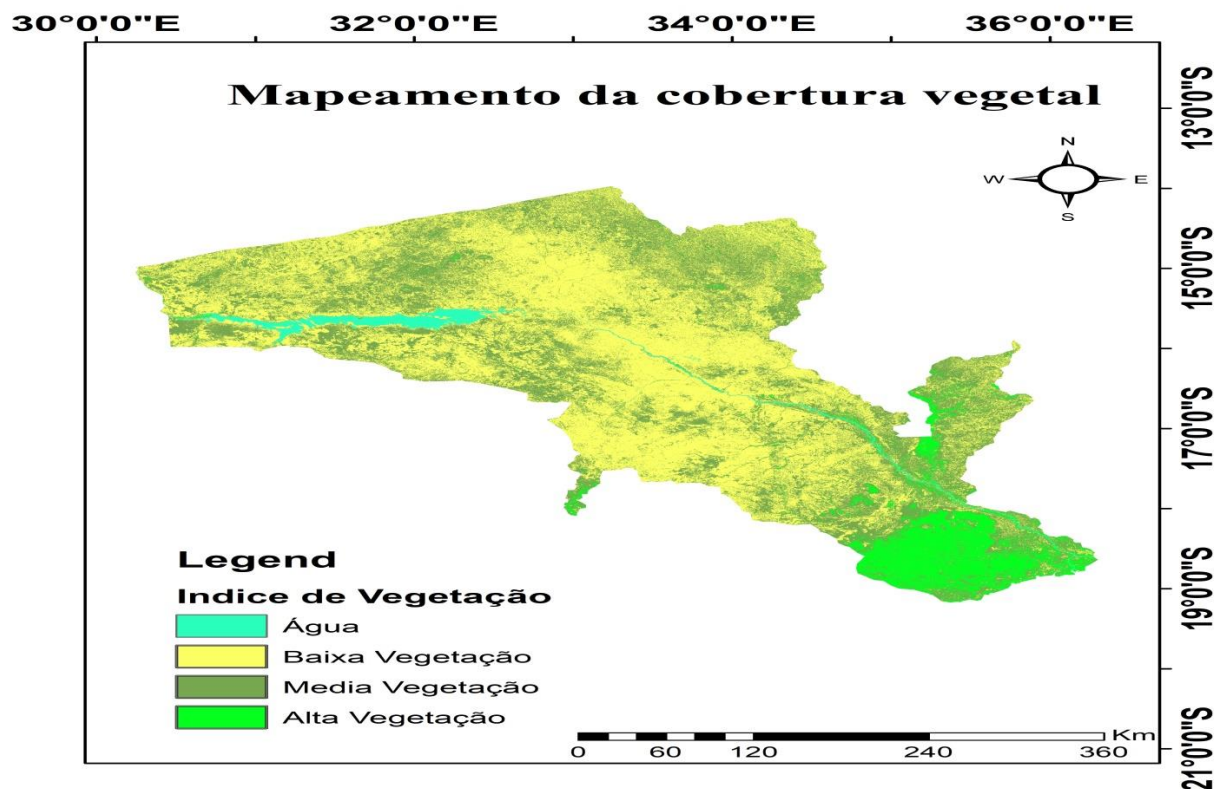


Fig.6. Mapeamento da cobertura vegetal

4.5. Distribuição espacial da precipitação

O padrão de distribuição da precipitação na bacia do Zambeze é bastante diferente, tendo a montante e jusante com maiores índices de precipitação e mais para a zona centro observa-se uma tendência de níveis baixos de precipitação chegando a atingir quase a metade dos valores da montante e jusante, com valores mínimo de 45.2391 mm e valores máximos de 139.197 m. A província de Zambézia, Sofala e Tete apresentam maior extensão de altos valores de precipitação e a província de Manica apresenta pequenas regiões de alta precipitação e com maior extensão de precipitação baixa. Percebe-se também que as regiões mais próxima da costa tendem a apresentar valores de precipitação alto.

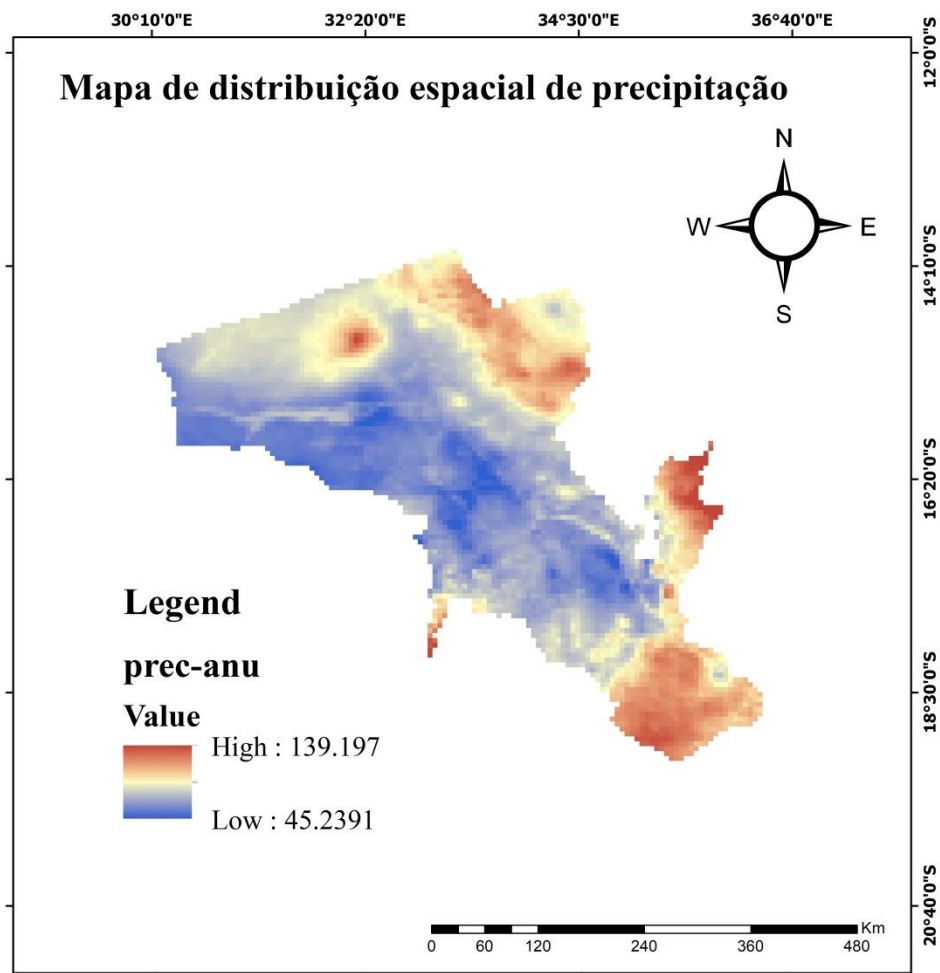


Fig.7. A figura ilustra a variação espacial da precipitação

4.5. Período de retorno e Probabilidade de ocorrência do índice de erosividade

Os resultados de período de retorno e probabilidade de ocorrência para o intervalo de 31 anos em estudo revelam uma erosividade máxima de 5366.578 MJ.mm/(ha.ano), em 1997 com uma probabilidade de ocorrência de 3.125% para um período de 32 anos. Por outro lado, a erosividade mais baixa de 2584.758 MJ.mm/(ha.ano) em 1992 apresenta uma probabilidade de 96.87% e um período de retorno de 1 ano.

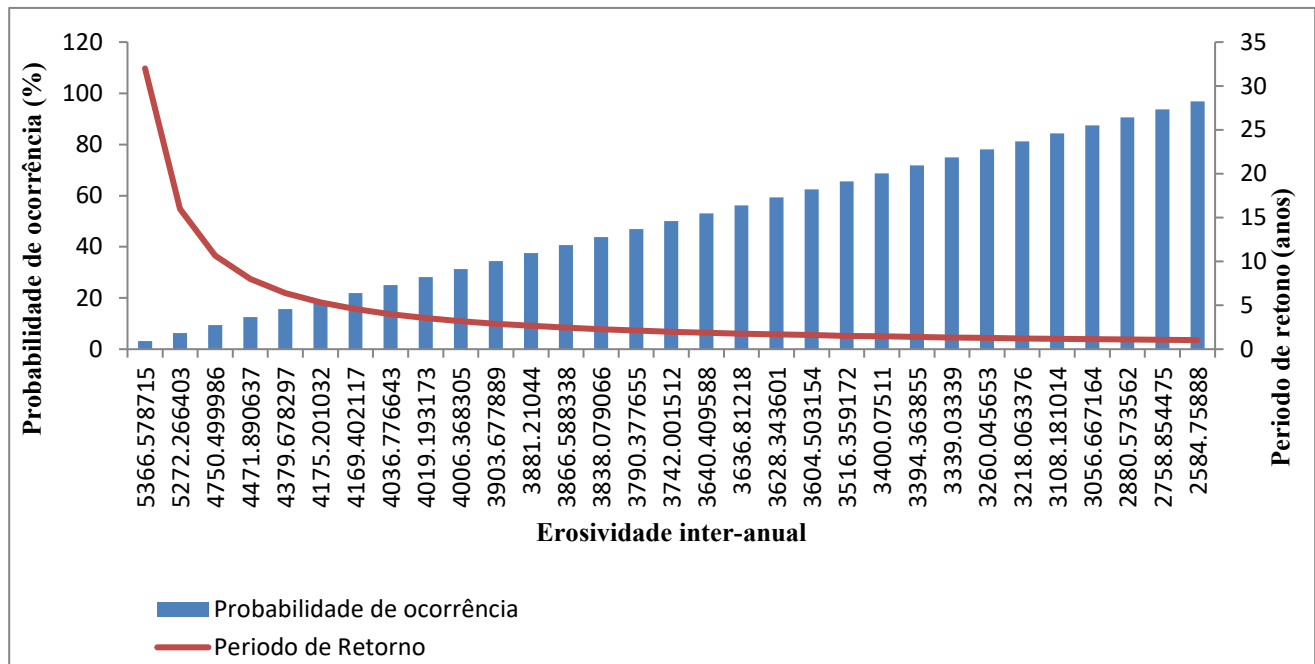


Fig.8. Correlação entre o período de retorno e a probabilidade de ocorrência

4.6. Erosividade inter-aul em função dos anos

A erosividade inter-anual em função dos anos, mostra flutuações no índice de erosividade, onde para o ano de 1992 registou-se um baixo índice de erosividade com cerca de 2584.758 MJ.mm/(ha.ano) e o mais alto verificado foi no ano de 1997 com 5366.578 MJ.mm/(ha.ano). O ano de 2001 apresenta um comportamento igual do ano 1997 diferenciando-se em pequena margem. Bom, esses valores revelam a distribuição da erosividade em função dos anos para uma melhor compreensão da variação anual. Sua análise nos permite compreender a relação erosividade inter-anual com o período de retorno e probabilidade de ocorrência em função dos anos. Por outra, este gráfico complementa o gráfico anterior.

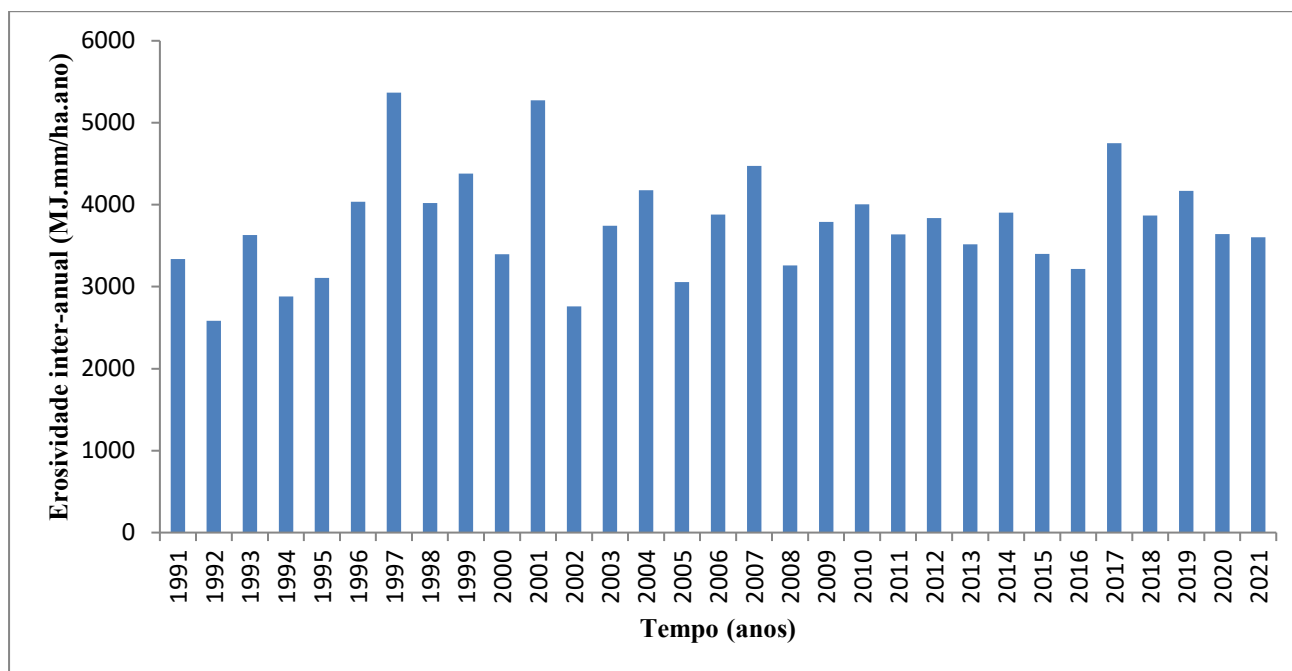


Fig. 9. Variação da erosividade inter-anual

CAPITULO V: DISCUSSÃO

Característica anual do factor R

A figura 3 apresenta uma distribuição espacial da erosividade diferente na bacia do Zambeze, revelando uma distribuição espacial da precipitação diferente. Ainda, as regiões de média erosividade no montante, coincidem com regiões de baixa e média vegetação e com um relevo elevado, o que torna essas zonas mais vulneráveis a erosão das chuvas, visto que os solos encontram-se sem uma protecção vegetal densa para proteger contra acção da precipitação. Ao contrário da jusante que apresenta uma média erosividade que é associado a um relevo suave e alta vegetação, o que torna essas zonas de baixa vulnerabilidade, pois a alta vegetação e a presença de um relevo suave contribuem para atenuar acção das chuvas. A variação da topografia no montante da bacia revela um papel crucial na erosão, visto que, as regiões de alta altitude apresentam alta erosividade e as áreas que apresentam um relevo mais íngreme ou elevado resultam num maior escoamento das águas de chuva, o que consequentemente resultará num aumento da energia cinética no impacto com o solo (Silva *et al.*, 2021). Os resultados achados alinham com os de Back e Poleto (2018), que evidencia a forma como a inclinação da superfície afecta os processos erosivos, especialmente em áreas com baixa cobertura vegetal. Ademais, Xavier *et al.* (2019) destacam que a erosividade das chuvas é particularmente alta em regiões de baixa cobertura vegetal, reflectindo zonas de intensa actividade agrícola, onde a vegetação é frequentemente reduzida. E ainda, Almeida *et al.* (2016) reforçam esta ideia, classificando essas áreas como vulneráveis a acção das chuvas.

A distribuição espacial da erosividade encontrado combina com a distribuição espacial da precipitação da região o que reforça ainda as flutuações espaciais de erosividade encontrado. Com destaque dessa relação a região nordeste e sudeste que apresentaram mesma tendência de distribuição espacial. E ainda, percebe-se que as regiões de baixa erosividade combinam com as regiões de baixa precipitação, justificando-se dessa forma a baixa erosividade encontrado nessas regiões.

Análise do factor R na estação chuvosa

Os resultados apresentados revelam variações espaciais de erosividade, que provavelmente estejam associados a distribuição espacial da precipitação (Mello *et.al.*, 2007). Fora disso, estudos anteriores, como os de Back & Poleto (2018) e Martins *et al.* (2020), confirmam a observação de que as chuvas intensas estão associadas a altos índices de erosividade. Conforme destacado por Silva *et al.* (2021), essa erosividade, pode causar desagregação significativa do solo devido ao impacto das águas da chuva. Observa-se também que, a época chuvosa demonstra ter um potencial no transporte de sedimentos, o que

evidencia a erosão das chuvas (Carvalho, 1994). Verifica-se ainda, um período crítico de erosividade nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, sendo que, o mês de Janeiro apresenta maior índice de erosividade com valor equivalente a 1777.07 (MJ.mm/ha.mês) e este valor classifica como de baixa erosividade, com região sul e norte apresentando maiores valores de flutuações. Essa observação sugere uma relação com a distribuição espacial da precipitação visto que coincide com os meses mais chuvosos do ano. Por outro lado, observa-se um índice muito baixo nos meses de Novembro e Abril que provavelmente esteja associado ao início e fim da época chuvosa. E ainda, a região centro mostra tendências de erosividade baixa o que revela pouca influência da precipitação no processo erosivo. Apesar de se esperar que regiões de alta intensidade de chuva coincidam com alta erosividade, nem sempre a quantidade de chuva resultará em alto índice de erosividade, uma vez que este factor relaciona-se também com as características do clima local (Temperatura, Evaporação, Precipitação, Humidade) e factores de circulação atmosférica (EL-Nino e LA- Nina, ciclones) (Mello *et al*, 2007).

Correlação entre a erosividade com relevo e cobertura vegetal

Os resultados apresentados na figura 5, mostram variações significativas do relevo da bacia, com valores altos no montante associados a altos índices de erosividade, o que resulta numa maior influência na erosão dos solos. Portanto, as áreas que apresentam um relevo mais íngreme ou elevado são caracterizadas por maior escoamento das águas de chuva e que consequentemente resultam num aumento da energia cinética no impacto com o solo (Silva *et al.*, 2021). Essa relação é confirmada por estudos que indicam que a topografia acentuada amplifica os efeitos erosivos das chuvas (Back & Poleto, 2018). Assim sendo, as áreas de relevo baixo associados a erosividade baixa não apresentam maior vulnerabilidade a erosão, visto que essas coincidem com as áreas de baixo escoamento das águas. Por outro lado, a presença de alta vegetação na jusante revela um padrão típico de áreas húmidas, que apresentam maior índice de vegetação. Segundo, Ashiagbor *et al.*, (2013) & Silva *et al.*, (2020), a vegetação actua como amortecedor em regiões onde há presença da mesma, pois, reduz a energia do impacto das gotas de chuva e permitindo a infiltração da água no solo, o que diminui a erosão. Dai que, relacionado o índice de erosividade com vegetação, percebe-se que no montante da bacia há maior risco de erosão dos solos devendo-se a maior extensão de baixa e media vegetação. Observa-se também que na jusante há maior presença de alta vegetação o que resulta numa baixa vulnerabilidade a erosão. Entende-se também que as áreas sem a cobertura vegetal têm um potencial de erosão principalmente em regiões de alto índice de erosividade (Noranha *et al.*, 2023).

Probabilidade de ocorrência e período de retorno

Assim, para bacia do Zambeze, estima-se que um evento erosivo de 5366.578 MJ.mm/(há.ano) tenha uma probabilidade de ocorrência de apenas 3.125%, que corresponde um período de retorno de 32 anos para que se verifique igual ou superior a este evento erosivo. Em contraste, um evento erosivo de 2584.758 MJ.mm/(há.ano) apresenta uma probabilidade de 96.87%, equivalente a um período de retorno de 1 ano. Esses dados demonstram que, à medida que a intensidade dos eventos erosivos aumentam sua frequência baixa, o que resulta num período de retorno longo. Inversamente, eventos de menor erosividade apresentam maior probabilidade de ocorrência e, consequentemente períodos de retorno mais curtos. Esta relação também é evidenciada em estudo de Silva *et al*, (2021) e Almeida & Adriano (2018), que apresentaram esse mesmo comportamento noutras bacias hidrográficas. Entende-se também, que período de retorno longo está associado a chuvas intensas geralmente raras e os períodos curtos relacionam-se à chuvas de baixa frequência. Por fim, os valores observados de erosividade anual, classificam a área da bacia de média erosividade com valor mínimo de 2584.758 MJ.mm/(há/ano) e valor máximo 5366.578 MJ.mm/(há/ano).

Capítulo VI: Conclusões e Recomendações

1. Conclusões

- Os resultados obtidos na estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Zambeze revelam níveis baixos e médios de erosividade, com variações espaciais acentuadas. As regiões a montante e jusante são as mais vulneráveis devido a associação de factores como relevo, vegetação e precipitação.
- O índice de erosividade anual mostra flutuações significativas, com um valor de erosividade alto 4473 MJ.mm/(ha.ano) que classifica essas regiões de media erosividade, o mais baixo observado foi de 1467.2 MJ.mm/(ha.ano) que corresponde regiões de baixa erosividade e observa-se uma amplitude de 3006.65 MJ.mm/(ha.ano).
- A estação chuvosa apresentou valores de baixa erosividade, com valor mais baixo de 580.261 MJ.mm/há.ano para o mês de Abril e o mais alto 1777.07 MJ.mm/há.ano no mês de Janeiro. O padrão de erosividade encontrado, combina com a variação da precipitação na estação chuvosa, revelando a influência da precipitação na erosão.
- A probabilidade de ocorrência e período de retorno baseado na variação inter-anual de erosividade, demonstra uma relação inversa, onde para um evento erosivo de 2.584,76 MJ.mm/(ha.ano) a chance deste evento acontecer de novo é de 96.87% e o tempo necessário para termos um evento da mesma magnitude é de 1 ano e para 5.366,58 MJ.mm/(ha.ano) há poucas chances de acontecer com 3.125% e com um período de retorno de 32 anos, valor este que indica como é raro de acontecer eventos do género.
- A correlação entre relevo e vegetação, evidencia a maneira como este fenómeno pode ser danoso em regiões com relevo elevado e sem cobertura vegetal, e de salientar que apesar de algumas regiões apresentarem relevo acentuado e vegetação densa, este fenómeno ainda pode ser danoso nessas regiões, já que estes factores apenas reduzem a intensidade da chuva a erosão.

2. Recomendações

Levando em consideração a relação precipitação e erosividade e ainda a forma como este fenómeno pode interferir na erosão dos solos, vê-se uma necessidade de aprofundar mais este estudo. Como e o caso de:

- Utilizar outros modelos que fazem a previsão da erosão das chuvas com uma serie temporal idêntica com duração de 30 minutos;

- Correlacionar o índice de erosividade com a variação espacial da precipitação e classificação supervisionada.

4. Referência bibliográficas

- Adinarayana, J.; Rão, K. G.; Krishna, N. R.; Venkatachalam, P; Suri, J. K. **A rule-based soil erosion model for a hilly catchment**. *Catena*, v.37, p309-318. 1999.
- Almeida, W. S. D., Carvalho, D. F. D., Panachuki, E., Valim, W. C., Rodrigues, S. A., & Varella, C. A. A. (2016). Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1110-1119. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>
- Almeida e Adriano (2018) erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação em óbidos-pa (brasil). *Revista GeoAmazônia Belém* v. 6, n. 11 p. 256–272 2018 Página 263. <http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/index>
- Atlas para Preparação e Resposta Contra Desastres na Bacia do Zambeze (2011). INGC, UEM – Departamento de Geografia e FEWS NET, MiND. (APRCDBZ).
- Araújo, G.H.S., Almeida, J.R., Guerra, A.J.T. *Gestão ambiental de áreas degradadas*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- Ashiagbor, G., Forkuo, e. K., Laari, P., & Abeyir, R. (2013). Modeling Soil Erosion Using RUSLE and GIS Tools. *International Journal Of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG)*, 2, 7-17. [\[Google Scholar\]](#)
- Back, A. J., & Poletto, C. (2018). Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 1-23. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56914>
- Barbosa, A. F., Oliveira, e. F., Miotto, C. L., Filho, P., & A C, (2015). Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ* [online] 38. Disponível: Http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179. Acesso, 26, [\[Google Scholar\]](#)
- Barros, E.N.S., Viola, M.R., Rodrigues, J.A.M., Mello, C.R., Avanzi, J. C., Giongo, M. (2018). Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 13, p. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5509>.
- Bertol, I. 1993. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.515–521.
- Bertoni, J., Lombardi neto, F. (2014). *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, 9º edição.

- Batista, R. A. W., Nery, L. M., Matus, G. N., Simonetti, V. C., Cunha, D. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. *Formação (Online)*, v. 28, n. 53, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8015>>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.
- Bertoni, J., Lombardi neto, F. (1999). *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone.
- Brady, N. C., Weil, R. R. (2013). *Elementos da Natureza e Propriedades dos solos*. Bookman, Porto Alegre, 716p.
- Carvalho, R.G. (2014). As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 36, p. 26-43.
- Carvalho, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª. Ed. Rio e Janeiro: Interciência.
- Carvalho, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*. CPRM, Rio de Janeiro, 600p. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1980. *Drenagem urbana: manual de projeto*. DAEE/CETESB, São Paulo, 452.
- Chenje, M. (2000). Estado do Ambiente na Bacia do Zambeze 2000. SADC/ IUCN/ ZRA/ SARDC, Maseru/ Lusaka/ Harare.
- Cherem, L.F.S. *et al.* (2018). Controle Litoestrutural Na morfologia holocênica de planície e canal no alto curso do Rio Meia Ponte (Goiás). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 4, p. 837-847. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1456>
- CNDS. (2002). Relatório sobre a avaliação do grau de implementação da agenda 21 em Moçambique.
- Daniel. O. M (2010). Erosividade das chuvas e erosão hídrica em bacia hidrográfica do bioma Pantanal (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Centro de Ciências Exactas e Tecnologia.
- Dechen, S. C. F., Telles, T. S., Guimarães, M. F., Maria, I. C. (2015). Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia* 74, 224-233. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>
- Edson. O.S. (2021) Estimativa e espacialização da erosividade no estado de alagoas.
- El-Swaify, S. A., Dangler, E.W., Armstrong, C. L. (1982). *Soil erosion by water in the tropics*. Honolulu: University of Hawaii, (Research extension service nº 24)

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Diretrizes voluntárias para a gestão sustentável dos solos. Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i6874pt/I6874PT.pdf>. Acesso em: 17 abril de 2020.
- Fournier, F. (1956). The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. Association Hydrologic Int. public, v.38.
- Hudson, N. (1981). Soil conservation. Iowa State University Press. Iowa.
- Ildegradis Bertol. (1993). Índice de erosividade (EI30) para LAGES (SC)- 1ª aproximação, pesq. agropec. Brasília, v.28, n.4, p.515-521, abr.
- Lal, R., Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity. In: LAL, R. Soil erosion: research methods. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.180–208.
- Lal, R. (1976). Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics. Geoderma, Amsterdam, v.16, n.15, p.389 – 401.
- Lombardi Neto, F., Moldenhauer, W. (1992). C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas. SP. Bragantia, Campinas, v.51, n.2, p.189-196.
- Marques, J. J. G. de S. M. (1996). Estimativas e comparações dos factores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Martins, W. L. D., Blanco, C. J. C., Melo, A. M. Q. (2023). Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade. Geoambiente. On-line, n.36, p. 1-18, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5216/revgeoamb.vi36.60668>>. Acesso em: 11 de fev.
- Mello, C.R., SÁ, M.A.C., CURI, N., Mello, J.M., Viola, M.R., Silva, A.M. da. (2007). Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária **Brasileira**, v.42, p.537-545, DOI: 10.1590/S0100-204X2007000400012.
- Noronha, A. B., Nascimento, M. R., Brandão, L. J. A., Paulino, S. S., Oliveira, J. F., & Santos, C. G. (2023). Estimativa do potencial erosivo das chuvas do município de Atalaia-AL. *Revista Ambientale*, 15(1), 41-60. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v15i1.439>
- Oliveira, F. G., Seraphim, O. J., & Borja, M. E. L. (2015). Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. Energia na Agricultura [online] 30. Disponível. *Acesso*, 26, 10-17224. [Google Scholar]

- Peterson, G. (2012). Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique: Tema 5: Água. Maputo: INGC.
- Pinto, P. G. S., Servidoni, L. E., Lense, H. E., Moreira, R. S., Mincato, R. L. (2020). Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. Revista do Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo www.revistas.usp.br/rdg-ISSN 2236-2878, Volume 39, DOI: 10.11606/rdg.v39i0.160233.
- Polidoro, J. C., de Freitas, P. L., Hernani, L. C., dos Anjos, L. H. C., Rodrigues, R. D. A. R., Cesário, F. V., Ribeiro, J. L. (2020). The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. Authorea Preprints. Disponível em: https://d197for5662m48.cloudfront.net/documents/publicationstatus/33998/preprint_pdf/e2e9d99ec69cb70e4f6001e76a7affab.pdf. Acesso em: 03 de Setembro de 2021.
- Queiroz, A.T., Barbosa, G.R., Zanzarini, R.M., Albino, K.A., Mendes, P.C. (2009). Caracterização da distribuição pluviométrica do rio Tijuco. In: XIII simpósio Brasileiro Geografia Física Aplicada, Viçosa.
- Raimo, L. A. D. L. D., Amorim, R. S. S., Couto, E. G., Nóbrega, R. L. B., Torres, G. N., Bocuti, E. D., Almeida, C. O. S., & Rodrigues, R. V. (2018). Variabilidade espaço-temporal da erosividade em Mato Grosso, Brasil. Revista Ambiente & Água, 13(6), e2276. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2276>.
- Rufino, R. L., Biscaia, R. C. M., Merten, G. H. (1993). Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, n. 1, p. 439-444. Disponível em: < <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=4048896> >. Acesso em: 14 de jan. 2023.
- Saath, K. C. O., Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. Rev. Econ. Sociol. Rural, vol.56 no.2 Brasília Apr./June. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.
- SARCD – IMERCSA. (1998). Zambezi River Basin Series Factsheet. SARDC, Harare.
- Sheila.O.T. (2013). Aplicação do modelo de apoio a decisão na bacia do zambeze na análise da variabilidade da precipitação.

- Silva, L. S., Ferraz, L. L., Santos, C. A. S., Rocha, F. A., Sousa, L. F. D., Daltro, U. S. (2021). Estimativa de Erosividade das chuvas (R) em uma bacia tropical do oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(5), 3044-3056.
- Silva, R. C. V.; Wilson Júnior, G. W. Hidráulica Fluvial. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.
- Silva, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57, 251-259. DOI: 10.1016 / j.catena.2003.11.006
- Silva, M. L. N. (1997). Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros. 1997. f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Torres, F.T.P., Machado, P.J.O. (2012). Introdução à hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning.
- Trindade, A. L. F., Oliveira, P. T. S., Anache, J. A. A., Wendland, E. (2016). Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.12, p.1918-1928. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200002>.
- Ulsaker, L. G., Onstad. C. A. (1984). Relating rainfall erosivity factors to soil loss in Kenya. *Journal Soil Science Society American*. v.48, n.24, p.25-39.
- Villela, S. M., Matos, A. (1975). Hidrologia aplicada. McGraw-Hill, São Paulo, 245p.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. In: *Transactions American Geophysical Union*. v. 39. p. 285-291.
- Wischmeier, W. H. A. (1959). Rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.23, n.30, p.246-249.
- Xavier, D. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., AC-CIOLY, L. D. O., Marques, F. A., de Araújo Filho, J. C., & da Silva, A. B. (2019). Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. *Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Zachar, D. (1982). *Soil erosion: developments in soil science*. Elsevier Scientific, New York, 547p.

ANEXO I

A tabela apresenta abaixo, complementa a análise gráfica dos dados referentes a probabilidade de ocorrência e período de retorno de eventos erosivos identificados na bacia em estudo. Nela, são listados diferentes valores de erosividade em, probabilidade de ocorrência e período de retorno em anos.

Tabela 3: Probabilidade de ocorrência e periodo de retorno

Ano	Erosividade (MJ.mm/ha.ano)	Ordem	Probabilidade de ocorrência (%)	Período de retorno (anos)
2001	4569.938	1	3.125	32
1997	4532.224	2	6.25	16
2007	4333.473	3	9.375	10.66667
2017	4300.866	4	12.5	8
2022	4025.925	5	15.625	6.4
2004	3873.66	6	18.75	5.33333
1999	3868.781	7	21.875	4.57143
2010	3749.8	8	25	4
2006	3731.675	9	28.125	3.55556
2009	3729.329	10	31.25	3.2
1996	3714.867	11	34.375	2.90909
1998	3605.1	12	37.5	2.66667

2012	3552.811	13	40.625	2.461538
2019	3539.413	14	43.75	2.285714
2003	3433.251	15	46.875	2.13333
2021	3414.373	16	50	2
2014	3402.746	17	53.125	1.882353
2018	3367.192	18	56.25	1.777778
1993	3336.849	19	59.375	1.684211
2020	3328.395	20	62.5	1.6
2011	3319.383	21	65.625	1.52381
2008	3285.145	22	68.75	1.454545
2013	3211.88	23	71.875	1.391304
2000	3126.699	24	75	1.33333
2016	3077.139	25	78.125	1.28
2015	3059.115	26	81.25	1.230769
1995	2883.953	27	84.375	1.185185
2005	2845.86	28	87.5	1.142857

2002	2745.384	29	90.625	1.103448
1994	2736.778	30	93.75	1.066667
1992	2463.446	31	96.875	1.032258