



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ALESSANDRA DA SILVA FERREIRA**

**SELEÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS REPRESENTATIVOS PARA  
AS SUBREGIÕES DO AGRESTE E ZONA DA MATA DO NORDESTE**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2023**

ALESSANDRA DA SILVA FERREIRA

**SELEÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS REPRESENTATIVOS PARA  
AS SUBREGIÕES DO NORDESTE: AGRESTE E ZONA DA MATA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos.

**Coorientador:** Msc Rivaildo da Silva Ramos Filho.

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F383s Ferreira, Alessandra da Silva.  
Seleção de modelos climáticos globais representativos para as subregiões do agreste e zona da mata do nordeste [manuscrito] / Alessandra da Silva Ferreira. - 2023.  
29 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos., Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

"Coorientação: Prof. Me. Rivaildo da Silva Ramos Filho , UFCG - Universidade Federal de Campina Grande"

1. Mudanças climáticas. 2. Tomada de decisão. 3. Agreste.  
4. Zona da mata. I. Título

21. ed. CDD 628

ALESSANDRA DA SILVA FERREIRA

OBTENÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS REPRESENTATIVOS PARA AS  
SUBREGIÕES DO NORDESTE DO AGRESTE E ZONA DA MATA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Departamento de Engenharia Sanitária e  
Ambiental da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do  
título de Graduada em Engenharia Sanitária e  
Ambiental.

Área de concentração: Modelos Globais

Aprovada em: 30/06/2023

**BANCA EXAMINADORA**

*Laércio Leal dos Santos*

Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Rivaldo da S. Ramos Filho*

Msc Rivaldo da Silva Ramos Filho (Coorientador)  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

*Whelton Brito dos Santos*

Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Ricardo de Aragão*

Prof. Dr. Ricardo de Aragão  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

## AGRADECIMENTOS

Aos coordenadores e chefes de departamento do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, por seu empenho.

Aos meus orientadores prof. Laercio Leal dos Santos e Msc. Rivaildo da Silva Ramos Filho pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação, pela dedicação, pela paciência, pela confiança, pelo incentivo e por todo suporte ao longo da formulação desse trabalho. Foi um privilégio enorme poder trabalhar com vocês. Muito obrigada!

Aos membros da banca, Prof. Whelton e Prof. Ricardo, pela contribuição com este trabalho e com minha formação.

Ao meu pai e a minha mãe, por todo apoio financeiro e emocional, para que eu conseguisse concluir esse curso. A minha mãe por me mostrar o caminho correto e por me lembrar que devemos sempre dar nosso melhor em tudo que nos propusermos a fazer. Ao meu pai por sempre incentivar meus estudos e sempre se orgulhar de cada pequena conquista minha.

Aos professores do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, em especial, João Damasceno, Whelton Brito, Neyliane Costa, que contribuíram ao longo de cinco anos, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa e por todo suporte quando os dias difíceis chegaram e com eles a desmotivação, vocês foram necessários para espantar esse sentimento.

Aos funcionários da UEPB, em especial os secretários da coordenação e departamento, pela presteza, paciência, amabilidade e atendimento quando nos foi necessário.

Aos meus colegas do GPTecA e do GGA um sincero obrigada por todo o aprendizado ao decorrer desse tempo juntos.

Aos amigos e colegas que eu encontrei durante o processo que foi a duração desse curso, em especial Danielly Abrantes, Rebeca Rhuany, Daniel Pirangi, Richard Pordeus e Júlia Câmara vocês foram o motivo dos meus risos e tornaram a jornada mais leve. E aos meus amigos que me dão suporte mesmo antes da graduação, Leandro Souto e Rodrigo Alves, que mesmo estando distantes fisicamente faziam por meio estarem presentes e me animarem da forma que conseguiam, amo todos vocês.

## RESUMO

As alterações climáticas têm se tornado cada vez mais frequentes, ocasionando desastres e dificultando a vida de milhões de pessoas. Neste sentido, os modelos climáticos globais (GCMs) surgem com a incumbência de prever tais alterações e auxiliar tomadores de decisão no planejamento e mitigação de possíveis impactos. Por outro lado, há uma grande variedade de modelos e, muitas vezes estes, não se enquadram na dinâmica climática da área de estudo. Sabendo disso, esta pesquisa propõe a seleção de GCMs mais representativos para as sub-regiões Agreste e Zona da Mata do Nordeste segundo a literatura, deste modo, esse trabalho utilizou os modelos climáticos ACCESS-ESM1-5, MIROC6 e NESM3. Utilizando o período histórico de 1990 a 2014, os dados de precipitação dos GCMs/CMIP6 foram comparados aos dados observados das estações meteorológicas, estes obtidos por meio da mediana do período histórico citado de cada estação, a partir das métricas de desempenho e, em seguida, foi realizado o ranqueamento dos modelos conforme o método TOPSIS para a tomada de decisão. Os resultados mostraram que ao comparar as métricas de NSE, PBIAS, RMSE e AIC, observamos evidências que reforçam a confiabilidade e a eficácia do modelo MIROC6 obtendo resultados superiores em relação aos demais modelos.

**Palavras-Chave:** mudanças climáticas; GCMs; precipitação; abordagem TOPSIS.

## ABSTRACT

Climate change has been becoming increasingly frequent, leading to disasters and making the lives of millions of people more difficult. In this context, Global Climate Models (GCMs) emerge with the task of predicting such changes and assisting decision-makers in planning and mitigating potential impacts. On the other hand, there is a wide variety of models, and often these do not fit into the climatic dynamics of the study area. With this in mind, this research proposes the selection of the most representative GCMs for the Agreste and Zona da Mata sub-regions of the Northeast, according to the literature. Thus, this work utilized the climate models ACCESS-ESM1-5, MIROC6, and NESM3. Using the historical period from 1990 to 2014, the precipitation data from the GCMs/CMIP6 were compared to the observed data from meteorological stations. These observed data were obtained through the median of the mentioned historical period for each station. Performance metrics were used for comparison, and then the models were ranked using the TOPSIS method for decision-making. The results showed that, when comparing the metrics NSE, PBIAS, RMSE, and AIC, there is evidence that reinforces the reliability and effectiveness of the MIROC6 model, obtaining superior results compared to the other models.

**Keywords:** climate change; GCMs; precipitation; TOPSIS approach.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Mudanças climáticas e impactos sobre o meio ambiente .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Modelos Climáticos Globais (GCMs).....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E METODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Dados de Modelos de Clima do CMIP6 .....</i>	<i>14</i>
<b>4.2.2</b>	<i>Dados observados.....</i>	<i>15</i>
<b>4.2.3</b>	<i>Coleta das variáveis climáticas.....</i>	<i>17</i>
<b>4.2.4</b>	<i>Comparação dados simulados x observados.....</i>	<i>17</i>
<b>4.2.5</b>	<i>Métricas utilizadas .....</i>	<i>18</i>
<b>4.2.6</b>	<i>Método TOPSIS .....</i>	<i>19</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Validação dos Modelos Climáticos Globais.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.1</b>	<i>Médias mensais históricas .....</i>	<i>22</i>
<b>5.1.2</b>	<i>Ranqueamento dos Modelos Climáticos Considerados.....</i>	<i>24</i>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>



## 1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas de origem antropogênica provocadas pelas emissões para a atmosfera de Gases de Efeito Estufa (GEE) irão acentuar-se ao longo do século XXI (IPCC, 2013). Essas alterações do clima não são homogêneas e têm impactos distintos em diferentes regiões, que também apresentam diferentes graus de vulnerabilidade. De acordo com o relatório de avaliação do 6º Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, as projeções climáticas para o século XXI indicam que o aumento da temperatura e a mudança dos regimes de precipitação estão em vias de afetar o ciclo hídrico e a disponibilidade de recursos hídricos (apud PANDEY et al., 2021). As consequências adversas das mudanças climáticas podem alterar o padrão expresso da precipitação (frequência, intensidade e duração) e aumentar a temperatura regional e a evapotranspiração (PANDEY et al., 2021). Além disso, as mudanças no uso e cobertura do solo (do inglês, *Land Use and Land Cover - LULC*) devido ao aumento da taxa populacional, ao desmatamento e à urbanização afetam a sensibilidade da captação e colocam um estresse adicional na disponibilidade da água, como déficit na umidade do solo e esgotamento das águas subterrâneas (TRANG et al., 2017).

O clima atual em todas as regiões já difere do clima do início ou meados do século 20 em relação aos vários Drivers de Impacto Climáticos (CIDs), como calor e frio, precipitação, seca e aridez, inundação de rio, tempo de incêndio, vento, neve e gelo e costeiro, considerados como condições físicas do sistema climático que afetam um elemento da sociedade ou ecossistemas, resultando em mudanças da magnitude, frequência, duração, sazonalidade e espaço extensão dos índices climáticos associados. A frequência de calor aumentou e extremos frios diminuíram. Essas mudanças são atribuídas à influência humana em quase todas as regiões. Em particular, o calor extremo excederia limiares críticos para a saúde, agricultura e outros setores mais frequentemente até meados do século 21 com 2°C de aquecimento global. Todas as regiões do mundo experimentarão, simultaneamente, mudanças em múltiplos CIDs até meados do século ou em 2°C de global aquecimento e acima. Mesmo para as frequentes mudanças climáticas induzidas nas distribuições de CID e probabilidades de eventos, alguns dos quais ocorreram nas décadas mais recentes, são relevantes para avaliações de risco (RAO et al., 2021).

As mudanças climáticas para o futuro são marcadas por eventos extremos e destoantes, desarmônicos. Ao mesmo tempo que as cidades enfrentam precipitações intensas, que ocasionalmente causam inundações e alagamentos, também são vítimas da escassez hídrica em decorrência da irregularidade das chuvas. Para enfrentar o possível impacto das

mudanças climáticas, os Modelos Climáticos Globais (GCMs) são a principal fonte de parâmetros climáticos futuristas. Foram desenvolvidos GCMs para avaliar a situação corrente, bem como para projetar as condições climáticas futuras em escala sinóptica (PANDEY et al., 2021). É praticamente certo que os que temperaturas extremamente altas (incluindo ondas de calor) se tornaram mais frequentes e mais intensos na maioria regiões terrestres desde a década de 1950, enquanto temperaturas extremamente baixas (incluindo ondas de frio) tornaram-se menos frequentes e menos severas, com alta confiança de que a mudança climática induzida pelo homem é o principal motor dessas mudanças. Algumas altas temperaturas, que foram recentemente observados ao longo da última década, teria sido extremamente improvável de ocorrer sem a influência humana no clima. No entanto, as saídas dos GCM são muito incertas devido às condições iniciais e de fronteira, estrutura do modelo e cenários de emissão (RAO et al., 2021).

Para projetar o futuro clima, é importante identificar modelos climáticos representativos para a região (PANDEY et al., 2021). Como exemplo, o autor avaliou o desempenho de 11 GCMs utilizando cinco indicadores de desempenho. A avaliação foi realizada em 73 pontos de grade de resolução 2,5m x 2,5m, que abrangem toda a região indiana. O método entropia foi utilizado para ponderar os indicadores de desempenho. Para remover o viés sistemático, foi aplicada correção de viés aninhado. Muitos estudos têm avaliado o desempenho das simulações de GCMs com o intuito de encontrar os modelos mais adequados para a reprodução de parâmetros meteorológicos para estudos hidrológicos e de impacto em escala regional ou local (PANDEY et al., 2021).

O Nordeste sofre historicamente com longos períodos de estiagem por parte de seu território se encontrar o semiárido brasileiro, o que torna precário o abastecimento de água para a população e a segurança hídrica em questão. Ironicamente, quando há um período de chuvas, os números de pontos de alagamentos são consideráveis em alguns centros urbanos, o que vêm aumentando no decorrer dos anos em decorrência do aumento da impermeabilização dos solos em um efeito do crescimento da malha urbana, causando transtornos, perdas materiais e de vidas humanas.

Deste modo o presente projeto, visa selecionar GCMs do sexto IPCC que retratem a dinâmica pluviométrica das sub-regiões do Agreste e Zona da mata, ajudando assim a melhor compreensão dos cenários climáticos futuros para garantir o desenvolvimento sustentável.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Selecionar Modelos Climáticos Globais do sexto relatório do IPCC (CMIP6) que retratem a dinâmica pluviométrica das sub-regiões do Agreste e Zona da mata.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Reunir os dados de precipitação, realizando o recorte para o período de análise e para a área de interesse;
- Comparar os dados de precipitação dos modelos climáticos globais e os dados observados das estações meteorológicas;
- Aplicar o método TOPSIS para o auxílio no processo de tomada de decisão e seleção do modelo climático mais representativo para a área de estudo.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Mudanças climáticas e impactos sobre o meio ambiente

A crise ambiental emerge como o desafio mais premente enfrentado pela humanidade na atualidade, uma vez que afeta diretamente a sobrevivência de todas as formas de vida em nosso planeta. Estudos realizados ao longo de décadas têm amplamente evidenciado que o aquecimento global é o problema mais significativo e urgente já confrontado pela humanidade. Diante disso, Qian e Lin (2005) destacam que oscilações na temperatura podem ser responsáveis pela introdução de eventos extremos e que, conseqüentemente, acabam por afetar negativamente diversos setores da sociedade. A mudança climática pode ser causada por processos naturais da própria Terra ou por forças externas, incluindo variações na intensidade da luz solar, ou ainda, mais recentemente, pela ação do homem (OLIVEIRA et al., 2018; SILVA; COLOMBO, 2019).

Paralelamente a isso, as mudanças climáticas influenciam, fortemente, nas alterações de temperatura média que, por sua vez, impactam nos valores e na variabilidade de eventos de precipitação, trazendo, portanto, implicações para o ciclo hidrológico e para os recursos hídricos (SANTOS; BRITO, 2007).

O clima exerce influência direta sobre os processos naturais, e, como resultado, as mudanças climáticas têm o potencial de causar impactos significativos no meio ambiente.

Além disso, é importante destacar que fomos países intitulados desenvolvidos os protagonistas do desastre, que, em nome de um desenvolvimento absoluto a qualquer preço, exploráramos recursos naturais desenfreadamente, espoliando os países periféricos, primeiro a partir da colonização dessas regiões já habitadas por outros povos se, na contemporaneidade, através das “relações produtivas instituídas no contexto do mercado mundial” marcadas pela desigualdade (WOLKMER; FERRAZZO, 2018, p.175).

Os impactos climáticos que atingem todas as regiões do planeta não são apenas graves, como podem piorar. Sabe-se que desastres naturais e ocorrência de eventos climáticos é natural do ecossistema terrestre, o problema está no desequilíbrio ambiental e no aumento da intensidade e da probabilidade de ocorrência, que é o chamado “whiplash do clima”, causando a quebra dos padrões naturais do ecossistema e ocasionando oscilações violentas entre extremos quentes e frios, secos e úmidos (MILLER, 2021).

Conforme definição do IPCC (2021), as mudanças climáticas são uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste

por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. Essas mudanças podem ocorrer devido a processos internos de origem natural ou antropogênica.

### **3.2 Modelos Climáticos Globais (GCMs)**

Os GCMs são ferramentas complexas e poderosas utilizadas para simular e prever o comportamento do clima em escala global. Eles são construídos com base em equações matemáticas que representam os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na atmosfera, nos oceanos, na superfície terrestre e no gelo marinho.

Os GCMs são amplamente empregados globalmente com o objetivo de abordar os processos físicos da atmosfera, utilizando parametrizações matemáticas avançadas para caracterizar os principais sistemas meteorológicos de grande escala que influenciam o clima global. Entretanto, devido à necessidade de cobrir todo o planeta, esses modelos geralmente possuem uma resolução espacial relativamente baixa, dividindo a superfície terrestre em quadrículas ou pontos de grade com dimensões em torno de 250 km ou até maiores.

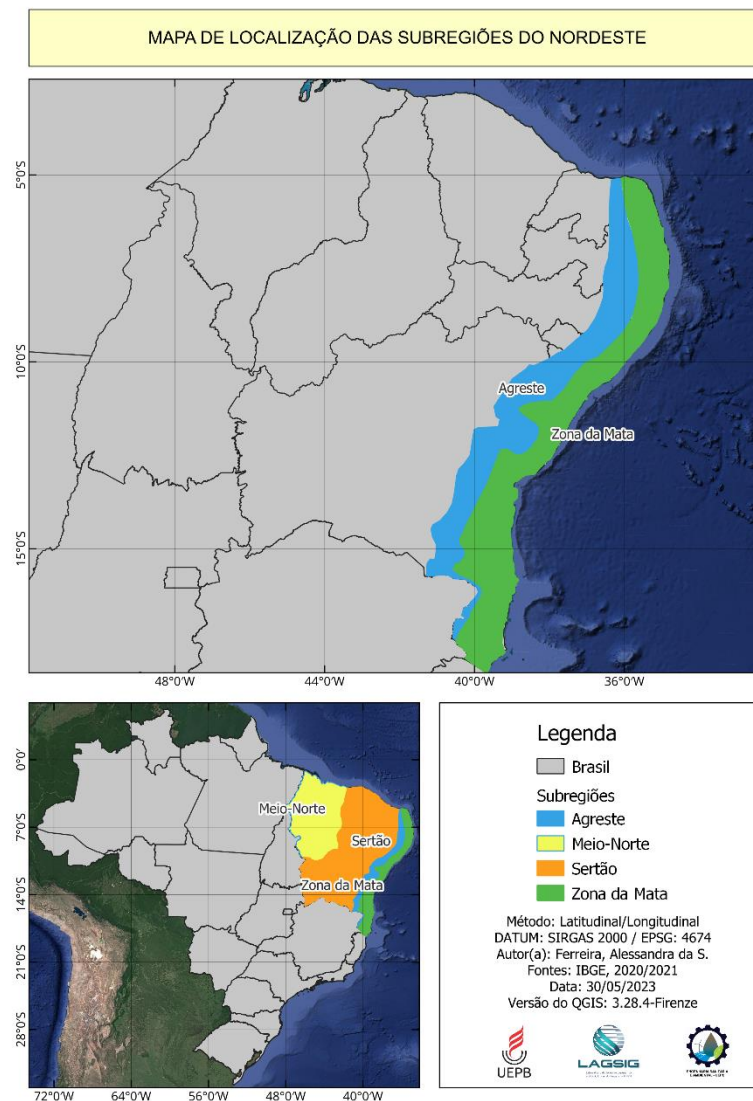
Diante de tal situação, os GCMs passaram a ser utilizados, também, para simular o clima futuro, em um horizonte que alcança o final do século XXI, no ano de 2100. Em tais modelos são incorporadas todas as taxas de gases de efeito estufa adicionadas recentemente na atmosfera, caracterizando o chamado período de controle, cujas simulações do estado atual do clima permitem a comparação com as condições de superfície observadas no que diz respeito, por exemplo, a temperatura e taxas de precipitação observadas. Após essa etapa de calibração e validação dos GCMs quanto a sua sensibilidade às forçantes climáticas, esses são usados para simular o horizonte futuro, dessa vez com a adição de taxas esperadas de gases que serão depositados na atmosfera por meio de diferentes cenários climáticos futuros de emissões de CO<sub>2</sub> relativos as atividades humanas (COSTA, 2020).

## 4 MATERIAIS E METODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O Agreste e Zona da Mata (Figura 1) são duas das quatro sub-regiões do nordeste brasileiro, estendendo-se por grande parte do território nordestino cobrindo uma área da costa até o interior. São nestas sub-regiões onde concentra-se maior parte das atividades econômicas e agrícolas da região, estão localizadas entre as coordenadas  $-5,042^{\circ}$  N e  $-18,349^{\circ}$  S de latitude e  $-34,793^{\circ}$  L e  $-41,293^{\circ}$  O de longitude, com aproximadamente 445 municípios no Agreste e 478 municípios na Zona da Mata, inseridos em seu território.

Figura 1 – Mapa de Localização Geográfica das sub-regiões do Agreste e Zona da Mata



Fonte: Elaborado pela autora, 2023

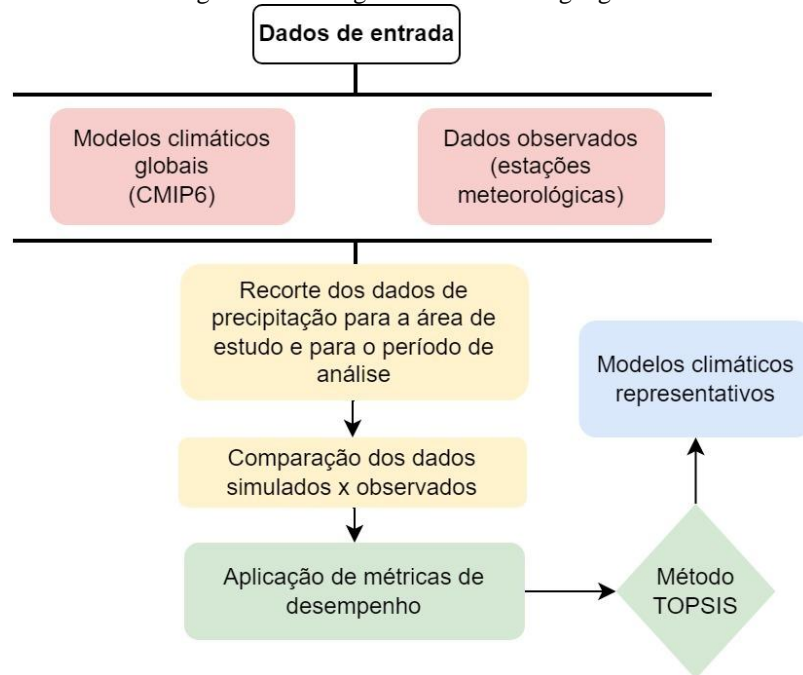
O Agreste é uma sub-região que abrange uma área considerável, situada entre a Zona da Mata e o Sertão. Sua extensão se estende por grande parte dos estados do Nordeste, cobrindo uma área significativa entre a costa e o interior. Em alguns estados, como Pernambuco e Paraíba, o Agreste ocupa uma faixa considerável de território. O clima é caracterizado por ser semiárido tendo média anual variando entre 24°C e 28°C, com a umidade relativa do ar estando entre 60% e 80%, com chuvas irregulares e concentração de precipitação durante um período específico do ano, com média anual variando entre 800 e 1.200 mm.

A Zona da Mata é uma sub-região que abrange a faixa litorânea do Nordeste brasileiro. Ela estende-se ao longo do litoral dos nove estados da região Nordeste, sendo mais estreita do que o Agreste. Sua largura pode variar dependendo do estado, mas geralmente compreende uma faixa costeira que se estende desde o litoral até algumas dezenas de quilômetros para o interior. A região possui um clima tropical úmido, com temperaturas elevadas e alta umidade durante todo o ano, obtendo a média de 24°C e 28°C por ano. Sua proximidade com o oceano Atlântico influencia no clima, deixando-o mais úmido em relação às áreas do interior, atingindo uma média anual de umidade relativa com valores frequentemente superiores a 80%. A vegetação predominante é a Mata Atlântica, com rica biodiversidade. A precipitação média anual pode variar de 1.200 a 2.000 mm ou mais.

## **4.2 Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho encontra-se esquematizado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia geral



Fonte: Elaborado pela autora, 2023

A pesquisa propõe a seleção de modelos climáticos globais representativos para as sub-regiões do Agreste e Zona da Mata, coletando variáveis climáticas para o período de 1990-2014 análise. Em seguida fez-se um recorte dos dados para a área de estudo e posterior aplicação de métricas de desempenho.

#### 4.2.1 Dados de Modelos de Clima do CMIP6

O Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP - *Coupled Model Intercomparison Project*) foi estabelecido como um protocolo padrão dentro do Programa de Pesquisa Climática Mundial (WCRP - *World Climate Research Programme*) para o estudo das saídas de modelos acoplados atmosfera-oceano. Seu objetivo principal é fornecer uma infraestrutura que permita a comparação direta dos resultados dos modelos globais entre si, garantindo que todas as simulações sejam padronizadas. Dessa forma, o CMIP desempenha um papel crucial ao promover a colaboração e o intercâmbio de informações entre pesquisadores e instituições, contribuindo para o avanço do conhecimento científico sobre o clima global.

Considerando a ampla gama de GCMs disponíveis, que frequentemente apresentam projeções divergentes, o modelo utilizado neste trabalho foi selecionado de acordo com: (i) a disponibilidade de dados na plataforma do CMIP6 e (ii) a habilidade do modelo em representar as mudanças das variáveis selecionadas na região.



Sendo assim, esse trabalho utilizou os modelos climáticos ACCESS-ESM1-5, MIROC6 e NESM3 para fins de comparação e seguindo os critérios que mais frequentemente foram mencionados na literatura para os mesmos fins.

Tabela 1 – Tabela de Modelos climáticos globais e suas especificações

<b>Modelo</b>	<b>Instituição Responsável</b>	<b>País de origem</b>	<b>Simulação</b>	<b>Resolução</b>
<b>ACCESS-ESM1-5</b>	CSIRO	Austrália	r1i1p1f1	1,9° x 1,3°
<b>MIROC6</b>	MIROC	Japão	r1i1p1f1	1,4 °x1,4°
<b>NESM3</b>	NUIST	China	r1i1p1f1	1,9° x 1,9°

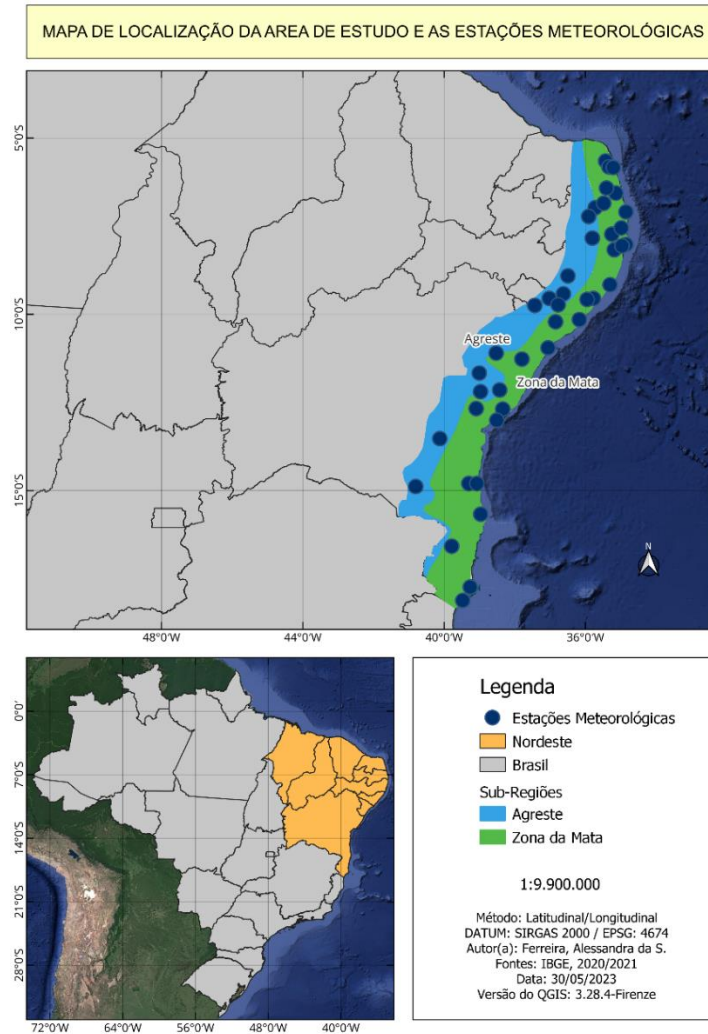
Fonte: Elaborado pela autora, 2023

A "r1i1p1f1" é uma nomenclatura comumente utilizada em estudos e pesquisas que envolvem GCMs e faz referência a uma simulação específica realizada com esses modelos. No contexto de estudos climáticos, essa nomenclatura é útil para identificar e diferenciar diferentes simulações realizadas com os modelos climáticos, permitindo comparar seus resultados e analisar a incerteza associada às projeções climáticas.

#### **4.2.2 Dados observados**

Para esta pesquisa, foram coletados dados de precipitação de 44 estações meteorológicas localizadas dentro da área de estudo monitoradas pelo INMET. Essas estações foram escolhidas com base em sua proximidade e representatividade em relação ao perímetro da área de interesse. O período de coleta dos dados abrangeu o intervalo de tempo de 1990 a 2014, permitindo uma análise abrangente das variações de precipitação ao longo de um período significativo.

Figura 3 – Mapa de Localização Geográfica e estações meteorológicas utilizadas



Fonte: Elaborado pela autora, 2023

As estações meteorológicas selecionadas forneceram informações valiosas sobre os dados climatológicos na área de estudo. Ao considerar um período de 25 anos, foi possível capturar tanto as variações sazonais quanto as tendências de longo prazo nas chuvas. Esses dados foram essenciais para a compreensão do comportamento climático da região.

A coleta dos dados de precipitação foi realizada por meio de banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Foram considerados registros diários ou mensais, dependendo da disponibilidade dos dados em cada estação.

A utilização de dados de múltiplas estações meteorológicas aumentou a representatividade espacial da pesquisa, permitindo uma visão mais abrangente das variações de precipitação na área de estudo. Isso proporcionou uma base sólida para a análise e interpretação dos resultados, contribuindo para uma compreensão mais precisa dos padrões climáticos locais e sua evolução ao longo do tempo.

### **4.2.3 Coleta das variáveis climáticas**

A coleta das variáveis climáticas foi realizada com o auxílio da ferramenta Python. Utilizando um script específico, foi possível recortar os dados no período de estudo, compreendendo o intervalo de 1990 a 2014. Além disso, foi delimitada a área de interesse, que abrange as sub-regiões do Agreste e da zona da mata.

O uso da linguagem de programação Python permitiu uma automação eficiente na extração dos dados climáticos desejados. O script utilizado foi capaz de filtrar as informações pertinentes a variável de interesse, no caso a precipitação, para o período e localização específicos.

Com os dados climáticos coletados por meio do script Python, foi possível realizar análises mais detalhadas e específicas, contribuindo para a compreensão dos padrões climáticos nessa região específica. Essas informações foram utilizadas como base para os estudos relacionados à variabilidade climática, mudanças ambientais e suas consequências nas sub-regiões do Agreste e da zona da mata.

### **4.2.4 Comparação de dados simulados x observados**

Na presente pesquisa, foram empregados os valores médios anuais, referentes ao período de análise de 1990 a 2014, provenientes de cada uma das grades dos três modelos climáticos globais utilizados: ACCESS-ESM1-5, MIROC6 e NESM3. Para cada estação meteorológica, realizou-se a soma das precipitações mensais ao longo de cada ano e, em seguida, obteve-se a média desses valores ao longo dos 25 anos do intervalo estudado. Após essa etapa, verificou-se quais e quantas estações se encontravam dentro de cada grade do modelo e calculou-se a média das estações em cada uma dessas grades. Dessa forma, obtiveram-se os dados observados.

Os dados simulados foram adquiridos por meio da ferramenta QGIS e uma imagem raster. Utilizando uma função específica da ferramenta, obtiveram-se os valores correspondentes a cada grade dos três modelos climáticos mencionados. Com esses conjuntos de dados em mãos, tornou-se possível realizar a comparação entre eles, utilizando métricas relevantes, como o RMSE (*Root Mean Square Error*), o NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*), o Pbias (*Percent Bias*) e o AIC (*Akaike Information Criterion*).

#### 4.2.5 Métricas utilizadas

As métricas são amplamente utilizadas para avaliar a qualidade e a adequação dos modelos climáticos, permitindo uma análise comparativa entre os dados observados e os dados simulados. Foram quatro as métricas utilizadas nesse estudo: O RMSE, o NSE, o Pbias e o AIC.

O erro quadrático médio (*Root Mean Square Error*, RMSE) é uma forma padrão de medir o erro de um modelo na previsão de dados quantitativos, determinada pela Equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Onde,  $\hat{y}_i$  = valores previstos;  $y_i$  = valores observados;  $n$  = número de observações.

A eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) é uma estatística normalizada que compara a magnitude da variância residual (o "ruído") com a variância dos dados observados (a "informação"), calculado conforme a Equação 2. NSE indica o quão bem os dados observados em relação aos dados simulados se ajustam à linha 1:1. A fórmula matemática para NSE é a seguinte:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{\sum_{i=1}^n (OBS_i - \overline{OBS})^2} \quad (2)$$

Onde,  $OBS_i$  = valores observados;  $SIM_i$  = valores simulados;  $\overline{OBS}$  = média dos dados observados;  $n$  = número total de observações.

Os valores de NSE estão compreendidos entre  $-\infty$  e 1,0 (inclusive).  $NSE = 1$  é o valor ideal. Valores positivos de NSE são considerados níveis aceitáveis de desempenho. Por outro lado, valores negativos são considerados como desempenho inaceitável e também indicam que o valor médio observado tem melhor capacidade de previsão do que o valor simulado.

O percentual de viés (percent bias) avalia a tendência que a média dos valores simulados tem em relação aos valores observados. O valor ideal para o percentual de viés é 0 (zero). Valores positivos indicam uma subestimação do modelo, enquanto valores negativos indicam superestimação. O percentual de viés é determinado pela Equação 3.

$$Pbias = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})} \right] * 100 \quad (3)$$

Para a seleção de modelos, Akaike (1973) desenvolveu o Critério de Informação de Akaike (AIC), Equação 4, que se baseia na minimização da informação (ou distância) de Kullback-Leibler (K-L) como método de seleção de modelos.

$$AIC = \eta * \ln(\hat{\sigma}_p^2) + 2(1 + 1) \quad (4)$$

Onde,  $\eta$  = número de observações;  $>$  = número de parâmetros;  $\hat{\sigma}_p^2$  = estimador de máxima verossimilhança da variância do erro.

O estimador de máxima verossimilhança da variância do erro determinado através da Equação 5.

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\eta} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\eta} \quad (5)$$

Onde:  $\eta$  = número de observações;  $y_i$  = valores observados;  $\hat{y}_i$  = valores estimados.

#### 4.2.6 Método TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) é uma técnica de apoio à decisão multicritério utilizada para avaliar e classificar alternativas com base em múltiplos critérios. Foi proposto por Hwang e Yoon em 1981 e tem sido amplamente aplicado em diferentes áreas, como gestão, engenharia, economia e pesquisa operacional.

A lógica subjacente desse método é que a alternativa de solução comprometida deve simultaneamente ter a menor distância multidimensional-geométrica em relação à solução ideal positiva (PIS) e a maior distância em relação à solução ideal negativa (NIS). A solução ideal positiva representa uma alternativa hipotética que possui os valores padronizados mais desejáveis para cada critério de avaliação. Da mesma forma, a solução ideal negativa representa uma alternativa hipotética com valores de desempenho piores em cada critério.

A premissa fundamental do TOPSIS é que os valores dos critérios de avaliação aumentam ou diminuem de forma monótona. Portanto, é fácil determinar as soluções ideais positivas e negativas para cada critério, identificando os valores máximos e mínimos de um

conjunto de valores dos critérios. O TOPSIS combina as duas distâncias, tanto em relação à solução ideal positiva quanto à solução ideal negativa, para medir a proximidade relativa de cada alternativa em relação à solução ideal positiva. As alternativas são então classificadas com base nessa medida combinada.

Durante um processo de tomada de decisão espacial, o método TOPSIS é composto pelos seguintes passos: (i) Construção de uma matriz de decisão normalizada, em que as dimensões de cada camada de mapa de critério, representadas por  $a_{ij}$ , são padronizadas em valores unitários adimensionais, denotados como  $v_{ij}$ , para permitir a comparação dos diferentes atributos. Os valores normalizados dos critérios,  $v_{ij}$ , são calculados utilizando a função de normalização vetorial (Equação 6).

$$v_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (6)$$

(ii) Determinar os vetores de solução ideal positiva e solução ideal negativa,  $V^+$  (PIS) e  $V^-$  (NIS), Equações 7 e 8:

$$V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{(max_i v_{ij} | j \in J), ((max_i v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (7)$$

$$V^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(min_i v_{ij} | j \in J), ((max_i v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (8)$$

Onde,  $J$  está associado aos critérios de benefício, maximização ou avaliação direta, e  $J'$  está associado aos critérios de custo, minimização ou avaliação inversa.

(iii) Calcular a medida de separação (distância geométrica) entre a solução ideal positiva e cada alternativa,  $S_i^+$ , e a medida de separação entre a solução ideal negativa e cada alternativa,  $S_i^-$ , de acordo com as equações 9 e 10.

$$S_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^{\eta} w_j^p \cdot (|v_{ij} - v_{ij}^+|)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (9)$$

$$S_i^- = \left[ \sum_{j=1}^{\eta} w_j^p \cdot (|v_{ij} - v_{ij}^-|)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (10)$$

Aqui e ao longo deste artigo,  $w_j$  indica o peso baseado em entropia para o  $j$ -ésimo critério. As medidas de separação serão então:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{\eta} w_j^2 \cdot (|v_{ij} - v_{ij}^+|)^2} \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{\eta} w_j^2 \cdot (|v_{ij} - v_{ij}^-|)^2} \quad (12)$$

(iv) Calcular a proximidade relativa em relação à solução ideal positiva,  $C_i^+$ , para cada alternativa, utilizando a seguinte equação:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (13)$$

Na equação, onde  $0 < C_i^+ < 1$ , uma alternativa está mais próxima da solução ideal positiva quando o valor da proximidade relativa,  $C_i^+$ , se aproxima de 1.

(v) As alternativas são classificadas em ordem decrescente com base nos valores de  $C_i^+$ ; a alternativa com o maior valor de  $C_i^+$  é considerada a melhor (ótima) alternativa.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Validação dos Modelos Climáticos Globais

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os resultados das médias mensais históricas (1990 a 2014) simuladas e observadas para o Agreste e a Zona da Mata e o ranqueamento dos modelos climáticos considerados.

#### 5.1.1 Médias mensais históricas

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram coletados e analisados dados simulados e observados referentes à variável climática de precipitação nas regiões do Agreste e da Zona da Mata. Esses dados foram obtidos a partir dos modelos climáticos ACCESS-ESM1-5, MIROC6 e NESM3.

Os resultados dessa análise estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, correspondentes aos dados simulados e observados para cada um dos modelos mencionados, respectivamente. As tabelas fornecem uma visão abrangente e detalhada dos valores de precipitação, permitindo uma comparação direta entre os dados simulados e os observados.

Tabela 2 – Tabela de dados de precipitação do modelo climático ACCESS-ESM1-5

<b>GRADE</b>	<b>VALOR SIMULADO (KG/M<sup>2</sup>)</b>	<b>VALOR SIMULADO CONVERTIDO (mm)</b>	<b>DADOS OBSERVADOS</b>
GRADE 1	1,15E-05	3,64E+02	1,46 E+03
GRADE 2	1,32E-05	4,16 E+02	1,31 E+03
GRADE 3	1,16E-05	3,65 E+02	1,92 E+03
GRADE 4	2,36E-06	7,4 E+01	5,13 E+02
GRADE 5	5,37E-06	1,69 E+02	1,12 E+03
GRADE 6	5,48E-06	1,72 E+02	1,20 E+03
GRADE 7	6,12E-06	1,93 E+02	6,39 E+02
GRADE 8	1,37E-05	4,32 E+02	1,07 E+03
GRADE 9	6,35E-06	2,00 E+02	1,16 E+03
GRADE 10	1,23E-05	3,87 E+02	1,60 E+03
GRADE 11	1,18E-05	3,70 E+02	7,01 E+02
GRADE 12	2,18E-05	6,88 E+02	1,083 E+03
GRADE 13	6,54E-05	2,06 E+03	1,41 E+03
GRADE 14	6,15E-05	1,93 E+03	1,49 E+03
<b>NSE</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>	<b>AIC</b>
-4,33	5,32742198	811,0643202	191,5537261

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Tabela 3 – Tabela de dados de precipitação do modelo climático MIROC6

<b>GRADE</b>	<b>VALOR SIMULADO (KG/M<sup>2</sup>)</b>	<b>VALOR SIMULADO CONVERTIDO (mm)</b>	<b>DADOS OBSERVADOS</b>
GRADE 1	5,96E-05	1,88 E+03	1,39 E+03



GRADE 2	5,50E-05	1,73 E+03	1,54 E+03
GRADE 3	4,69E-05	1,47 E+03	7,34 E+02
GRADE 4	5,91E-05	1,86 E+03	1,54 E+03
GRADE 5	3,15E-05	9,94 E+02	5,13 E+02
GRADE 6	4,38E-05	1,38 E+03	1,59 E+03
GRADE 7	2,96E-05	9,33 E+02	1,07 E+03
GRADE 8	2,82E-05	8,88 E+02	5,41 E+02
GRADE 9	2,50E-05	7,88 E+02	6,75 E+02
GRADE 10	2,99E-05	9,42 E+02	1,11 E+03
GRADE 11	2,78E-05	8,78 E+02	1,73 E+03
GRADE 12	2,28E-05	7,20 E+02	7,01 E+02
GRADE 13	5,80E-05	1,82 E+03	7,50 E+02
GRADE 14	5,73E-05	1,80 E+03	1,41 E+03
GRADE 15	3,74E-05	1,17 E+03	1,41 E+03
GRADE 16	5,73E-05	1,80 E+03	1,49 E+03
<b>NSE</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>	<b>AIC</b>
<b>-0,31949207</b>	<b>-15,57989671</b>	<b>473,3401146</b>	<b>201,114054</b>

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Tabela 4 – Tabela de dados de precipitação do modelo climático NESM3

<b>GRADE</b>	<b>VALOR SIMULADO (KG/M<sup>2</sup>)</b>	<b>VALOR SIMULADO CONVERTIDO (mm)</b>	<b>DADOS OBSERVADOS</b>
GRADE 1	1,10E-04	3,46 E+03	1,36 E+03
GRADE 2	1,51E-04	4,75 E+03	1,66 E+03
GRADE 3	1,24E-04	3,92 E+03	8,79 E+02
GRADE 4	2,26E-04	7,12 E+03	1,58 E+03
GRADE 5	1,51E-04	4,77 E+03	1,08 E+03
GRADE 6	2,33E-04	7,33 E+03	1,24 E+03
GRADE 7	1,87E-04	5,89 E+03	1,05 E+03
GRADE 8	1,86E-04	5,86 E+03	7,50 E+02
GRADE 9	1,66E-04	5,23 E+03	1,41 E+03
GRADE 10	1,52E-04	4,80 E+03	1,49 E+03
<b>NSE</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>	<b>AIC</b>
<b>-213,7917435</b>	<b>-323,8817951</b>	<b>3350,202718</b>	<b>166,3355227</b>

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Durante a coleta dos dados simulados, observou-se que eles estavam originalmente expressos na unidade de Kg/m<sup>2</sup>.s. Para facilitar a compreensão e a análise desses dados, foi necessário convertê-los para a unidade de milímetros (mm), que é mais comumente utilizada para medir a precipitação.

Essa conversão se deu pelo fato de que 1 mm de chuva é equivalente a 1 Kg/m<sup>2</sup>.s. Portanto, multiplicamos o valor observado em Kg/m<sup>2</sup>.s por 3156000, que representa a quantidade de segundos em um ano.

Dessa forma, obtivemos o valor da precipitação expresso em milímetros (mm), o que nos permite uma interpretação mais intuitiva e facilita a comparação com outras medições e padrões climáticos estabelecidos. Alguns valores discrepantes foram observados devido à falta de correções de viés para os modelos climáticos.

### 5.1.2 *Ranqueamento dos Modelos Climáticos Considerados*

O ranqueamento dos modelos climáticos para a variável climática de precipitação em toda a área de interesse pode ser visualizado na Tabela 5. Nessa tabela, os modelos são apresentados em ordem de desempenho para cada uma das métricas consideradas no estudo.

Tabela 5 – Tabela de procedimento TOPSIS usando pesos baseado em entropia

Modelos	<i>vi1</i>	<i>vi2</i>	<i>vi3</i>	<i>vi4</i>	<i>Si+</i>	<i>Si-</i>	<i>CI+</i>	Rank
MIROC6	-6,99E-06	-1,44E-04	3,91E-05	1,92E-03	7,19E-04	1,18E-03	6,21E-01	1
ACCESS-ESM1-5	-9,47E-05	4,92E-04	6,70E-05	1,83E-03	8,75E-04	1,15E-03	5,67E-01	2
NESM3	-4,68E-03	-3,00E-03	2,77E-04	1,59E-03	1,17E-03	8,77E-04	4,29E-01	3
<b>Vi+</b>	-6,99E-06	-3,00E-03	3,91E-05	1,59E-03				
<b>Vi-</b>	-4,68E-03	4,92E-04	2,77E-04	1,92E-03				

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Ao analisarmos os resultados apresentados na planilha, podemos observar algumas tendências significativas. Para a métrica NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*), quanto mais próximo o valor estiver de 1, melhor será o desempenho do modelo. Isso significa que um valor próximo de 1 indica que o modelo está mais próximo dos dados observados, refletindo uma maior precisão e acurácia na representação da variável climática de interesse. Os coeficientes de Nash-Sutcliffe Efficiency variam entre  $-\infty$  e 1. Se NSE for 1, significa que os valores reais e simulados combinam perfeitamente. Um NSE de 0 indica que as descobertas simuladas são idênticas à média do conjunto de dados real. Se estiver entre 0,65 a 0,75 e 0,5 a 0,65, o desempenho do modelo é bom e satisfatório, e se o NSE for inferior a 0,5, o modelo é insatisfatório (Moriassi et al., 2007).

Por outro lado, para as métricas PBIAS (*Percent Bias*), RMSE (*Root Mean Square Error*) e AIC (*Akaike Information Criterion*), o inverso é verdadeiro. Quanto menor o valor obtido para essas métricas, melhor será o desempenho do modelo. Isso implica em uma menor tendência de viés (PBIAS), uma menor dispersão dos erros (RMSE) e uma melhor capacidade de ajuste do modelo (AIC), respectivamente.

Assim, pode-se constatar que, dentre os três modelos avaliados, o MIROC6 se destaca como o mais adequado para a área estudada. Essa conclusão é baseada em uma análise abrangente das métricas de desempenho utilizadas neste estudo.

Ao considerar as métricas NSE, PBIAS, RMSE e AIC, podemos observar que o modelo MIROC6 apresenta resultados superiores em comparação aos demais modelos. Ele apresenta um valor mais próximo de 1 para o NSE, indicando uma maior proximidade com os dados observados. Além disso, obteve valores menores para as métricas PBIAS, RMSE e

AIC, o que demonstra uma menor tendência de viés, uma menor dispersão dos erros e uma melhor capacidade de ajuste em relação aos outros modelos.

Essa evidência reforça a confiabilidade e a eficácia do modelo MIROC6 em reproduzir os padrões de precipitação na nossa área de estudo. Portanto, ao realizar análises e previsões futuras relacionadas à variável climática de precipitação, recomenda-se o uso do modelo MIROC6 como a melhor opção entre os três modelos avaliados.

Essas observações ressaltam a importância de considerar várias métricas de desempenho ao avaliar modelos climáticos. Cada métrica fornece uma perspectiva única sobre o quão bem um modelo está representando os dados observados. Portanto, é essencial considerar todas essas métricas em conjunto para obter uma compreensão abrangente do desempenho dos modelos e tomar decisões informadas com relação à escolha do melhor modelo para as análises e previsões futuras.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nas informações expostas, o modelo MIROC6 se destaca como a opção mais adequada para a área de estudo. Ao comparar as métricas de NSE, PBIAS, RMSE e AIC, observamos que o MIROC6 obteve resultados superiores em relação aos demais modelos. Seu valor de NSE mais próximo de 1 indica uma maior proximidade com os dados observados. Além disso, apresentou valores menores de PBIAS, RMSE e AIC, o que indica menor viés, menor dispersão de erros e melhor capacidade de ajuste em comparação com os outros modelos.

Essas evidências reforçam a confiabilidade e eficácia do modelo MIROC6 na reprodução dos padrões de precipitação na área de estudo. Portanto, recomenda-se o uso do modelo MIROC6 para análises e previsões futuras relacionadas à precipitação, considerando sua superioridade em relação aos modelos avaliados.

A obtenção de modelos climáticos globais representativos para as sub-regiões do Agreste e Zona da Mata do Nordeste desempenha um papel fundamental em várias áreas importantes. Esses modelos proporcionam uma compreensão mais aprofundada do clima regional, permitindo previsões mais precisas e informadas sobre as condições climáticas futuras nessas áreas específicas. Além disso, eles oferecem um suporte valioso para a tomada de decisões, auxiliando gestores e tomadores de decisão na elaboração de estratégias de adaptação e mitigação adequadas aos desafios climáticos enfrentados pelas sub-regiões.

A disponibilidade de modelos climáticos globais representativos também contribui para o desenvolvimento de uma base científica sólida, fornecendo dados e informações confiáveis para pesquisadores, cientistas e acadêmicos. Isso é particularmente importante nas sub-regiões do Agreste e Zona da Mata do Nordeste, onde pode haver uma escassez de literatura e estudos abrangentes sobre o assunto.

Além disso, a obtenção desses modelos permite uma gestão mais eficaz dos recursos naturais, como a água e a agricultura, pois fornece informações precisas sobre as condições climáticas locais. Também facilita um planejamento adequado, tanto em nível público como privado, para o desenvolvimento sustentável dessas áreas. Além disso, ao aumentar a resiliência diante dos desafios climáticos, os modelos climáticos globais representativos ajudam a minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas e a promover a sustentabilidade ambiental e socioeconômica nas sub-regiões do Agreste e Zona da Mata do Nordeste.

Portanto, diante da escassez de literatura disponível sobre o assunto, é crucial investir em estudos e pesquisas que busquem obter modelos climáticos globais representativos para essas sub-regiões específicas. Essa iniciativa proporcionará uma base sólida de conhecimento científico e contribuirá para uma gestão mais informada e eficiente dos recursos naturais, além de fortalecer a capacidade de adaptação e resiliência diante dos desafios climáticos.

Ao abordar as limitações encontradas durante o desenvolvimento da pesquisa, é importante mencionar algumas questões relevantes. Uma das limitações identificadas refere-se à discrepância de escalas entre os modelos simulados selecionados e a região de interesse em estudo. Essa discrepância pode afetar a precisão e a representatividade dos resultados obtidos. Além disso, outro desafio enfrentado foi o número reduzido de estações meteorológicas disponíveis na região de interesse, o que pode limitar a abrangência espacial e a representatividade dos dados utilizados na análise. Tais limitações são importantes de serem consideradas e podem impactar a generalização dos resultados obtidos nesta pesquisa.

Recomenda-se que futuros estudos sejam conduzidos com a aplicação de uma técnica de correção de viés, com o propósito de mitigar quaisquer distorções sistemáticas ou erros sistemáticos presentes nos dados. É também recomendável que seja utilizada uma escala mensal para as análises, visando obter maior precisão e acurácia nos resultados. Além disso, é importante incluir estações pluviométricas na análise, a fim de aprimorar a confiabilidade e a qualidade dos dados utilizados.

## REFERÊNCIAS

**Climate Change 2021 Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf). Acesso em: 23 jun. 2022.

**Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

FAPESP. **Novo Relatório do IPCC WG1-AR6: Implicações para o Brasil e o planeta.** Disponível em: <https://fapesp.br/15027/novo-relatorio-do-ipcc-wg1-ar6-implicacoes-para-o-brasil-e-o-planeta>. Acesso em: 18 jun. 2022.

HAUSFATHER, Z. **Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change. Carbon Brief: Clear on Climate.** 2018. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>. Acesso em: 18 jun. 2022.

IBGE. **Cidades.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em: 18 jun. 2022.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Cambridge: Cambridge University, 2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf). Acesso em: 23 jun. 2022.

MILLER, Brandon. **Veja as principais conclusões do relatório do IPCC sobre a crise climática.** Jornal CNN Brasil, Brasília, 09 ago. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/2021/08/09/veja-as-principais-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-a-crise-climatica>. Acesso em: 09 ago. 2022.

MORIASI, Daniel N. et al. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. Acesso em: 09 jul. 2023

N.T.T. Trang, S. Shrestha, M. Shrestha, A. Datta, A. Kawasaki. **Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok)** Sci. Total Environ., 576 (2017), pp. 586-598, 10.1016/j.scitotenv.2016.10.138. Acesso em: 19 jun. 2022.

P54/WGI-14 -**Changes to the underlying scientific-technical assessment to ensure consistency with the approved SPM** These trickle backs will be implemented in the Chapter during copy-editing. [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_TS.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf). Acesso em: 23 jun. 2022.

PEREIRA, S. M. **Previsão climática sazonal para a região hidrográfica dos sertões de Crateús utilizando regressão linear múltipla.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará,

Crateús, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/63969>. Acesso em: 19 jun. 2022.

QIAN, W., LIN, X. “**Regional trends in recent precipitation indices in China**”. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 90, p. 193-207, 2005.

SANTOS FIRMINO, P. C. **OS ALICERCES DA FORMAÇÃO ECONÔMICA NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA SUB-REGIÃO AGRESTE**. Revista Contexto Geográfico, [S. l.], v. 4, n. 7, p. 42–53, 2019. DOI: 10.28998/contegeo.v4i7.7165. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/7165>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. (2009) “**Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará**”. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 1, p. 39-47.

SILVA, K. Z.; COLOMBO, R. (2019) “**Mudanças Climáticas: influência antrópica, impactos e perspectivas: Influência Antrópica, Impactos e Perspectivas**”. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. v. 8, n. 3, p. 47-68. doi: 10.21664/2238- 8869.2019v8i3.p47-68.

US. **National Centers for Environmental Prediction**. Disponível em: <https://www.weather.gov/ncep/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

WOLKMER, Maria de Fatima Schumacher; FERRAZZO, Débora. **O paradoxo do desenvolvimento: direito ambiental e bens comuns no capitalismo**. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 15, n. 33, p. 163-189, set./dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18623/rvd.v15i33.1269>. Acesso em: 24 jun. 2023.