

# ANÁLISE DE TENDÊNCIA INOVADORA (ITA) DA PRECIPITAÇÃO SAZONAL E ANUAL NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS ENTRE 1961 E 2022

*Innovative Trend Analysis (ITA) of seasonal and annual precipitation in the southern region of the Amazonas state between 1961 and 2022*

**Jonas Onis Pessoa**

Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[jonasonis@gmail.com](mailto:jonasonis@gmail.com)

**Jonatan Onis Pessoa**

Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[natanufam@gmail.com](mailto:natanufam@gmail.com)

**Ruan Oliveira Fernandes**

Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof. Água/UFPE, Brasil  
[ruan.fernandes@ufpe.br](mailto:ruan.fernandes@ufpe.br)

**Artur Paiva Coutinho**

Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[arthur.coutinho@ufpe.br](mailto:arthur.coutinho@ufpe.br)

**Anderson Luiz Ribeiro de Paiva**

Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPE, Brasil  
[anderson.paiva@ufpe.br](mailto:anderson.paiva@ufpe.br)

Recebido: 07/03/2025

Aceito: 17/10/2025

## Resumo

Em áreas de intensa expansão agrícola, como o sul do estado do Amazonas, é primordial examinar possíveis alterações nos padrões de precipitação para apoiar a sustentabilidade das atividades agropecuárias, a conservação dos ecossistemas e a gestão dos recursos hídricos. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar as tendências de precipitação sazonal e anual no sul do Amazonas entre 1961 e 2022, utilizando os métodos clássicos Mann-Kendall, Mann-Kendall Modificado, Sens' Slope e o método gráfico Análise de Tendência Inovadora (ITA), ainda não explorado na Amazônia. No período analisado, os resultados do teste ITA revelaram tendências decrescentes significativas nas chuvas anuais ( $-1,78 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) e sazonais no sul do Amazonas, exceto no verão, que apresentou tendência de aumento, sugerindo maior risco de secas e cheias. De modo geral, observou-se boa convergência entre os métodos aplicados, embora o ITA tenha se mostrado mais sensível, detectando tendências que não foram identificadas pelos métodos clássicos. As descobertas deste estudo indicam que o uso combinado dessas metodologias pode aprimorar a compreensão da dinâmica da precipitação, contribuindo para estratégias de resiliência e adaptação às mudanças climáticas na região.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Método Gráfico de Tendências, AMACRO, Fronteira Agrícola, Amazônia.

## Abstract

Southern Amazonas is undergoing rapid agricultural expansion, making it essential to assess shifts in precipitation patterns to guide sustainable farming, ecosystem conservation, and water resource management. This study examined seasonal and annual rainfall trends from 1961 to 2022 using Mann-Kendall, Modified Mann-Kendall, Sen's Slope, and Innovative Trend Analysis (ITA), the latter applied here for the first time in the Amazon. ITA results revealed significant decreases in annual ( $-1.78 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ ) and seasonal rainfall, except in summer, which showed an increasing trend. These changes suggest greater risks of both drought and flooding. While the methods generally converged, ITA proved more sensitive, capturing trends not detected by classical approaches. The combined use of traditional and innovative techniques enhances understanding of rainfall variability and supports resilience and climate adaptation strategies in the region.

**Keywords:** Climate Change, Graphical Trend Method, AMACRO, Agricultural Frontier, Amazon.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o sul do estado do Amazonas tem emergido como uma nova fronteira agrícola e um dos principais *hotspot* do desmatamento e de incêndios florestais na Amazônia brasileira (Carrero *et al.*, 2022; Chaves *et al.*, 2024). A região também apresenta alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, com eventos extremos de secas e inundações cada vez mais frequentes e intensos, que resultam em perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos de regulação climática, hídrica e do carbono, impactando diretamente o agronegócio e outras atividades humanas (Marengo *et al.*, 2023; Terassi *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024; Vinod; Mahesha, 2024).

Nesse sentido, identificar variações de precipitação com métodos eficientes de análise de tendências permite melhorar a gestão de recursos hídricos, a avaliação de riscos e a adaptação das comunidades às mudanças climáticas (Yang *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2024). Tradicionalmente, os testes não paramétricos de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e Sen's Slope (Sen, 1968) são frequentemente empregados para detectar e estimar magnitude de tendências em dados de chuva no contexto amazônico (Lira; Fernandes; Ishihara, 2022; Moreira; Santo; Sanches, 2023), nacional (Mu; Biggs; Shen, 2021; Moreira, 2024; Minaki, 2024) e internacional (Sasanya; Adesogan; Ademola, 2025; Wu *et al.*, 2025).

Embora comumente adotados, os métodos tradicionais, apresentam limitações associadas a pressupostos como a independência (ausência de autocorrelação), o tamanho amostral e/ou a normalidade dos dados na série temporal (Dong *et al.*, 2020). Visando superar essas restrições, Şen (2012) propôs o método de análise de tendência inovadora (ITA), que permite a identificação estatística e gráfica de tendências monotônicas e não monotônicas, ao contrário dos métodos clássicos, que se restringem apenas às

tendências monotônicas. Além disso, o ITA possibilita uma análise clara e intuitiva das tendências em *clusters* baixos, médios e altos de chuva, vinculando as tendências de baixa pluviosidade a secas e as de alta pluviosidade a enchentes, o que é especialmente relevante no cenário atual de mudanças climáticas (Öztopal; Şen, 2017; Wang *et al.*, 2020).

Na China, Wang *et al.* (2020) empregaram o método ITA para analisar tendências de precipitação em 14 estações no Delta do Rio Yangtze, de 1961 a 2016. Entre suas conclusões, apontaram que o ITA é eficaz na identificação de tendências em diferentes categorias de chuva (baixa, média e alta), revelando tendências que os testes tradicionais MK e SS não detectam. Resultados semelhantes foram obtidos por Harka, Jilo e Behulu (2021), que investigaram tendências de chuvas anuais e sazonais na Etiópia. Malik *et al.* (2019) avaliaram as tendências de chuvas sazonais e anuais (1966-2015) em 13 postos na Índia, utilizando o ITA e o teste de significância, e corroboraram as conclusões dos autores anteriores. Wu *et al.* (2022), em um estudo na China, confirmaram que o ITA é um método viável e eficaz para detectar tendências, mostrando consistência com outros métodos estatísticos. Contudo, mencionou-se limitações práticas do ITA, como a necessidade de que a série temporal tenha um comprimento par.

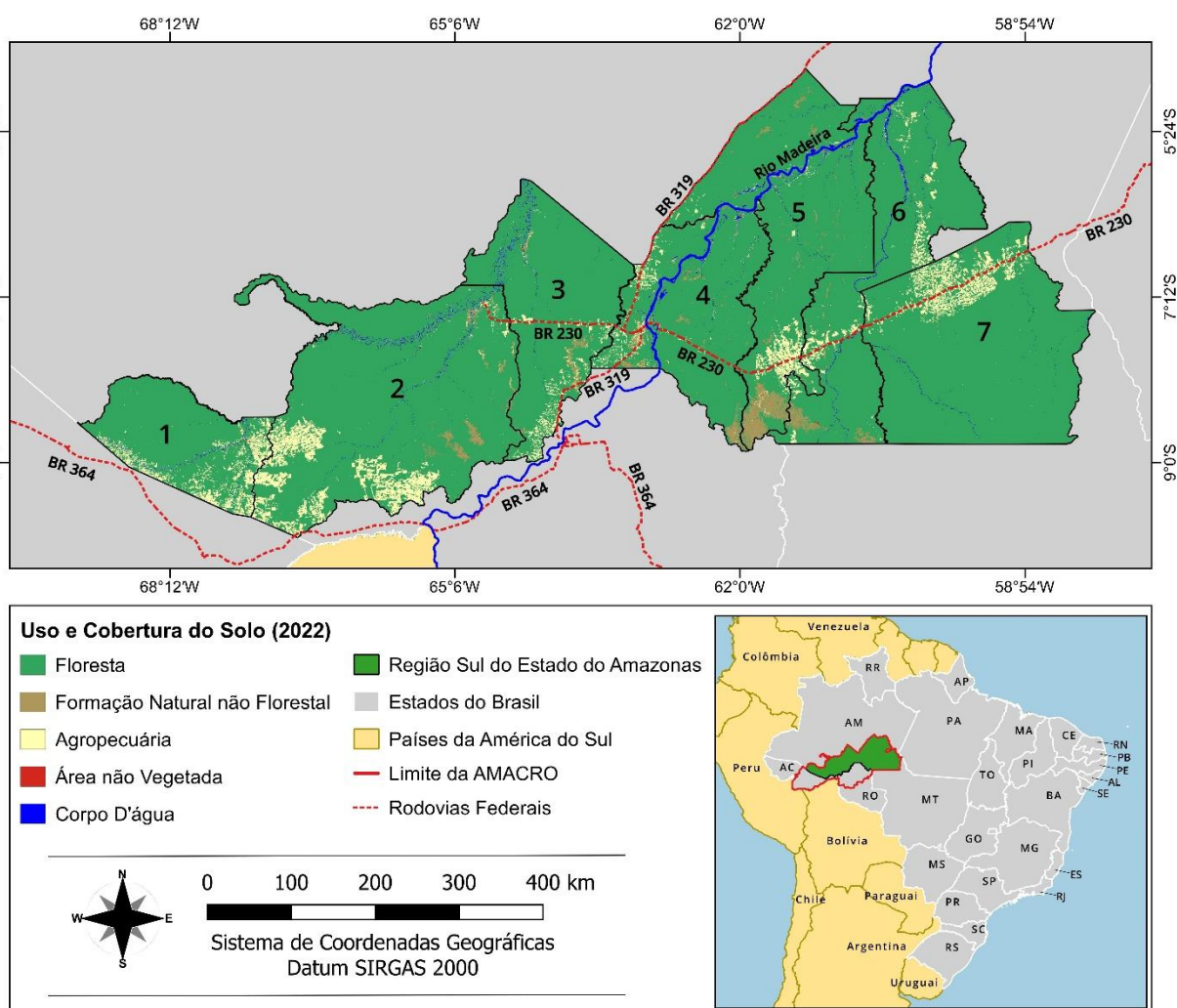
Considerando esses aspectos, o ITA tem sido utilizado e aprimorado no âmbito internacional, resultando em várias versões do método que ampliam a compreensão da análise de tendências em variáveis hidroclimáticas (Agbo; Nkajoe; Edet, 2023; Chowdari *et al.*, 2023; Esit; Çelik; Akbas, 2023; Ma *et al.*, 2024; Vinod; Mahesha, 2024, Pakhale; Khosa; Gosain, 2025). Contudo, no Brasil, o uso da abordagem ITA ainda é incipiente (Pessoa *et al.*, 2023) e, até onde temos conhecimento, este é o primeiro trabalho a utilizá-lo no contexto amazônico.

Com base no exposto, e tendo como hipótese que o ITA é mais sensível que os métodos clássicos e, quando utilizado de forma integrada, amplia a capacidade de identificar tendências de precipitação na região de interesse, o presente estudo tem como objetivos principais (1) investigar as tendências espaço-temporais de precipitação sazonal e anual entre 1961 e 2022, empregando os métodos tradicionais de Mann-Kendall (MK), Mann-Kendall Modificado (MKM) e Sens' slope (SS) e o método gráfico ITA com teste de significância, e (2) comparar os resultados do teste MK/MKM com os do método ITA.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo é composta por sete municípios (Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã) situados na porção sul do estado do Amazonas (Figura 1). Com uma área de 300.690 km<sup>2</sup>, que representa cerca de 20% do mencionado estado, essa região tem uma população estimada de 271.456 habitantes para o ano de 2024, sendo Humaitá o município mais populoso, com 57.473 habitantes (Brasil, 2025a).



**Figura 1** – Localização da área de estudo (1- Boca do Acre, 2 – Lábrea, 3 – Canutama, 4 – Humaitá, 5 – Manicoré, 5 – Novo Aripuanã e 7 – Apuí).

**Fonte:** Autores (2025).

A região em questão se destaca pela sua complexidade e diversidade territorial. As unidades de conservação localizadas nessa área cobrem cerca de 148.800 km<sup>2</sup>, sendo que 63,8% dessa extensão é destinada ao "uso sustentável". Em adição, as terras indígenas

somam aproximadamente 46.000 km<sup>2</sup>, abrigando 15 etnias e uma população superior a 11.000 pessoas. A região também conta com 33 assentamentos, tanto convencionais quanto comunitários, que ocupam uma área de aproximadamente 26.600 km<sup>2</sup> (Carrero *et al.*, 2022). Em 2020, 80,6% do novo desmatamento no Amazonas ocorreu nesses sete territórios (Brasil, 2021).

Além disso, conforme Figura 1, os municípios que integram a área de estudo estão inseridos na região denominada AMACRO, ou, mais recentemente, Zona de Desenvolvimento Sustentável Abunã-Madeira (ZDS Abunã-Madeira). Essa zona é composta por 32 municípios nos estados do Amazonas, Acre e Rondônia, sendo considerada a nova fronteira agrícola da Amazônia (Monteiro e Bernardes, 2024). Em 2022, as classes de uso e cobertura do solo no sul do Amazonas eram compostas por Floresta (90,03%), Agropecuária (6,53%), Formação Natural não Florestal (2,28%), Corpos D'Água (1,13%) e Áreas não Vegetadas (0,03%) (Brasil, 2023a).

Segundo a classificação de Köppen, na área de estudo predomina o clima do tipo tropical de monção ("Am"), com precipitação de aproximadamente 2.300 mm.ano<sup>-1</sup> (Galvão *et al.*, 2020). Em geral, o período chuvoso ocorre entre outubro e abril enquanto o período seco se concentra entre junho e agosto. Os demais meses são considerados período de transição entre os dois períodos (Pedreira Júnior *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022). A temperatura média anual varia entre 24°C e 26 °C (Alvares *et al.*, 2013) e a umidade relativa do ar é bastante elevada variando entre 85% e 90% (Vasconcelos *et al.*, 2015).

Os tipos de vegetação predominantes são Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e Savana (Vasconcelos *et al.*, 2015). Em relação aos tipos de solos, prevalece Argissolos, Latossolos, Plintossolos e Neossolos (Aquino *et al.*, 2014; Vilanova *et al.*, 2020). As altitudes médias variam de 51 a 100 metros em Canutama, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã; de 101 a 150 metros em Lábrea; e de 151 a 122 metros em Boca do Acre e Apuí, acima do nível do mar (Alves *et al.*, 2019).

O acesso à área de estudo se dá principalmente por meio de uma combinação de rodovias e hidrovias. Quanto a hidrovia, destaca-se a do rio Madeira, a qual é crucial para o escoamento de produtos e o transporte de pessoas, estabelecendo a conexão entre Porto Velho e Manaus. A Rodovia Transamazônica (BR-230), que cruza o rio Madeira e passa por municípios como Apuí, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã, facilita o acesso a essas áreas. Os municípios de Boca do Acre e Lábrea são conectados ao restante do país por

meio de diversas rodovias federais, incluindo a BR-317, BR-364, BR-319 e a BR-230 (Brasil, 2017).

## **2.2. Aquisição dos dados pluviométricos**

Nesta pesquisa, utilizou-se o grid de dados pluviométricos fornecido por Xavier *et al.* (2022), processados com a linguagem de programação Python. Essa base de dados disponibiliza, dentre outras variáveis, registros diários confiáveis de precipitação para todo o Brasil, abrangendo o período de 1961 a 2022, provenientes de aproximadamente 11.473 pluviômetros da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A resolução espacial é de 0,1° x 0,1° (cerca de 10 km) e os dados foram interpolados utilizando os métodos de ponderação da distância inversa (IDW) e ponderação pela distância angular.

Considerando o contexto amazônico, optou-se por esse conjunto de dados em razão da baixa densidade de estações meteorológicas convencionais e automáticas nessa região (Almeida *et al.*, 2015; Cavalcante *et al.*, 2020). Em adição, a confiabilidade dos dados fornecidos por Xavier *et al.* (2022) foi verificada em um estudo abrangente desenvolvido por Silva *et al.* (2023), que avaliaram o desempenho de nove bases de dados que estimam as chuvas na Amazônia Legal Brasileira. Os autores constataram que tais dados apresentam um bom desempenho no âmbito da região avaliada. Destaca-se que esta grade é atualizada de sua versão anterior (Xavier; King; Scanlon, 2016) e tem sido usado em vários estudos como uma fonte confiável para observação de superfície (Andrade *et al.*, 2022; Tomasella *et al.*, 2023; Stríkis *et al.*, 2024; Matsunaga *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2024). Mais informações sobre este conjunto de dados e o método de interpolação estão disponíveis em Xavier, King e Scanlon (2016) e Xavier *et al.* (2022).

Para obter os dados de precipitação da área total e de cada município do sul do Amazonas, calculou-se a média precipitada com base nos limites geográficos fornecidos pelo IBGE (Brasil, 2023b). Essa abordagem, similar à adotada por Singh *et al.* (2021) e Likinaw, Alemayehu e Bewket (2023), destaca os aspectos gráficos do método ITA, foco principal deste estudo. Após a obtenção dos dados diários de precipitação, procedeu-se com sua acumulação para produzir informações mensais, sazonais e anuais. Na análise de tendências sazonal, os dados foram organizados em estações do ano, conforme descrito em Mu e Jones (2022): verão (dezembro, janeiro e fevereiro - DJF), outono (março, abril e maio - MAM), inverno (junho, julho e agosto - JJA) e primavera (setembro, outubro, e novembro - SON).



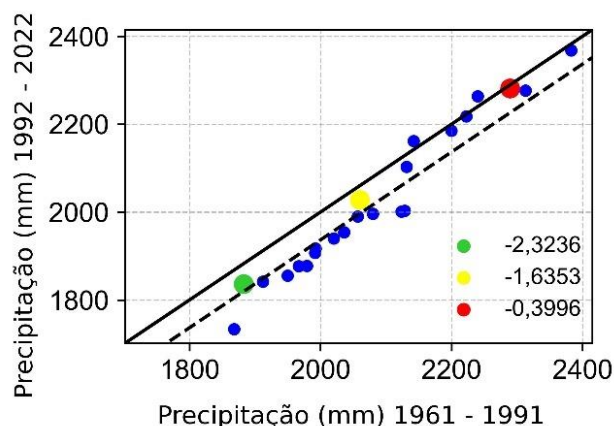
### 2.3. Variabilidade e análise de tendências

Para investigar a variabilidade da precipitação, foram calculadas estatísticas descritivas, como valores mínimos e máximos, médias, medianas, desvios-padrão e coeficientes de variação, apresentando seus resultados em tabelas e gráficos. Utilizou-se os testes não paramétricos de Mann-Kendall (MK), Mann-Kendall modificado (MKM) para detecção de tendências e o teste Sen's Slope (SS) para estimar sua magnitude. Tal abordagem teve como objetivo avaliar a validade do método gráfico Análise de Tendência Inovadora (ITA). O teste MKM foi utilizado especificamente em séries que apresentaram autocorrelação, identificada por meio do gráfico de autocorrelação (ACF), conforme metodologia adotada por estudos como o de Gao *et al.* (2020). Detalhes adicionais sobre os métodos tradicionais MK, MMK e SS podem ser consultados em Mann (1945), Kendall (1975), Sen (1968) e Hamed e Rao (1998). A implementação da metodologia, abrangendo tanto os métodos tradicionais quanto o método ITA, foi realizada em ambiente Python, utilizando a biblioteca Pymannkendall (Hussain; Mahmud, 2019) e rotinas específicas desenvolvidas para o ITA. Para os testes estatísticos, adotou-se um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

### 2.4. Método gráfico ITA com teste de significância

Para implementação do método ITA, inicialmente, divide-se uma série temporal em duas metades formando duas subséries que são classificadas de forma distinta e organizadas em ordem crescente. No sistema de coordenadas cartesianas, a primeira subsérie (x) é representada no eixo X e a segunda (y) no eixo Y (Figura 2).

A interpretação das tendências é feita comparando a dispersão dos dados de precipitação com a linha de 1:1 (45°). Pontos acima dessa linha indicam uma tendência crescente, enquanto pontos abaixo revelam uma tendência decrescente. Se os pontos se concentram ao longo da linha reta 1:1, considera-se que não há tendência (Şen, 2012; Dong *et al.*, 2020). A linha tracejada preta, que é paralela à linha contínua 1:1, é denominada linha de dados, com o centroide (x, y) localizado nessa linha. A diferença vertical entre a linha de dados e a linha 1:1 está relacionada à inclinação da tendência da variável dependente (Şen, 2017).



**Figura 2** – Ilustração do método de Análise de Tendências Inovadora (ITA). A linha sólida é a linha sem tendência 45° (1:1) e a linha tracejada é a linha de dados. Os pontos azuis representam os dados de precipitação. Os pontos verde, amarelo e vermelho denotam os pontos centrais médios das categorias baixa, média e alta, respectivamente.

**Fonte:** Autores (2025).

Uma das principais vantagens do método ITA é a capacidade de identificar tendências nas classes baixa, média e alta, com base na posição dos pontos de dados. Assim, a precipitação foi classificada em três categorias com base em percentis (Wu; Qian, 2017; Dong *et al.*, 2020): baixa ( $< 20^\circ$ ), média ( $20^\circ - 80^\circ$ ) e alta ( $> 80^\circ$ ). Tal categorização permite associar tendências de baixa pluviosidade a condições de secas e tendências de alta pluviosidade a eventos de inundações.

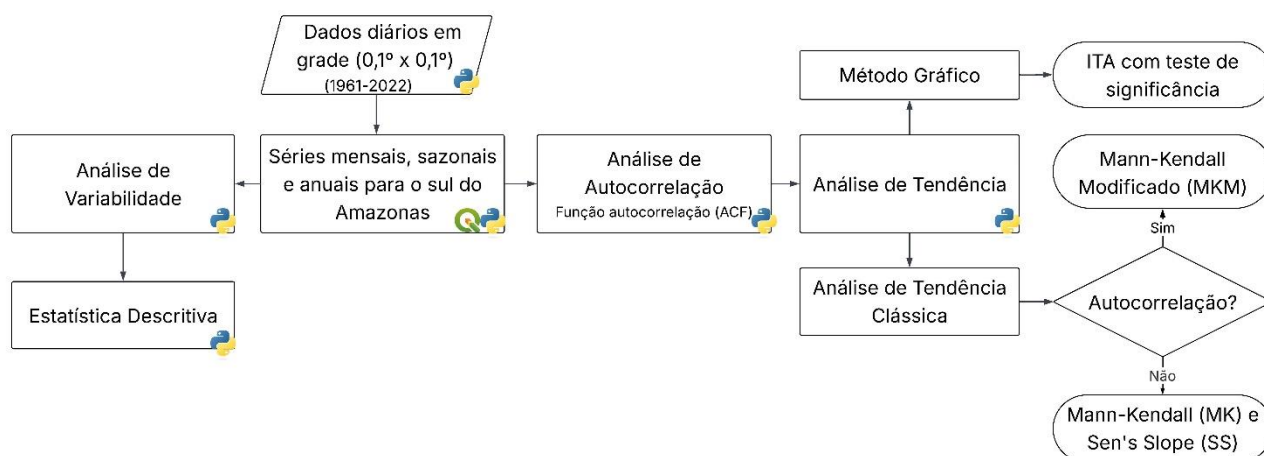
A inclinação da tendência em linha reta ( $s$ ) obtida pelo ITA indica o comportamento da série temporal: valores positivos refletem tendência crescente, enquanto valores negativos sinalizam uma tendência decrescente. Para avaliar a significância dessa tendência, compara-se a inclinação  $s$  a um intervalo de confiança determinados com base no desvio padrão da inclinação de amostragem e na correlação dos dados. Se a inclinação  $s$  da série estiver dentro dos limites de confiança (CLs), aceita-se a hipótese nula  $H_0$  – indicando que não há tendência significativa. Caso contrário, rejeita-se a hipótese nula e aceita a hipótese alternativa  $H_a$  – sugerindo que há tendência significativa.

Todas as equações e detalhes matemáticos utilizados na aplicação do ITA, incluindo o cálculo da inclinação e dos limites de confiança, estão apresentados nos Apêndices. No corpo do texto, os parâmetros principais são descritos de forma narrativa para facilitar a compreensão e permitir que os resultados sejam interpretados sem necessidade de consultar diretamente as fórmulas.

A fim de proporcionar uma visão clara e estruturada dos procedimentos adotados neste estudo, a Figura 3 apresenta o fluxograma metodológico que orientou a análise da variabilidade e tendência das séries temporais de dados meteorológicos para o sul do



Amazonas. O uso de ferramentas como Python e QGIS foi essencial para o processamento e análise dos dados, garantindo rigor técnico e reprodutibilidade aos resultados obtidos.



**Figura 3** – Fluxograma metodológico adotado no estudo.

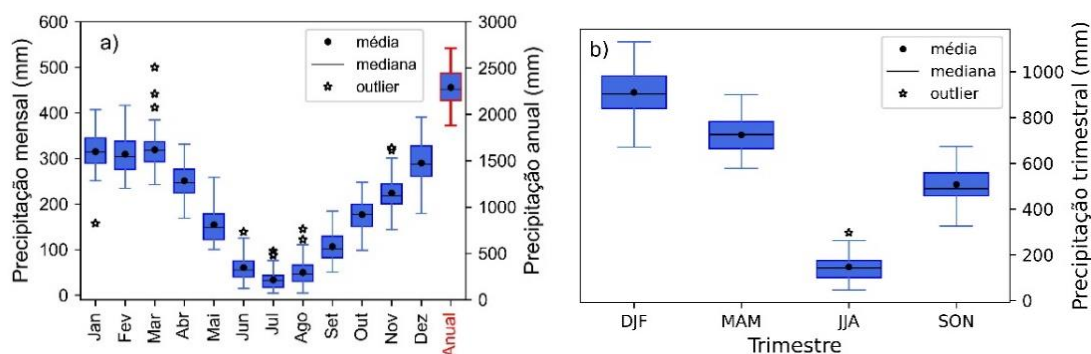
**Fonte:** Autores (2025).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Variabilidade da precipitação

A Figura 4 apresenta a precipitação mensal, anual e sazonal na área de estudo entre 1961 e 2022, evidenciando a ampla variabilidade dos dados. Os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro, fevereiro e março, enquanto junho, julho e agosto registram os menores volumes. Sazonalmente, o verão (DJF) apresenta a maior média de precipitação, e o inverno (JJA) tem a média mais baixa. No período analisado, a precipitação anual média foi de 2291,61 mm, variando de 1878,16 mm a 2710,64 mm. Esses resultados corroboram pesquisas anteriores que abrangem a região (Pedreira Júnior *et al.*, 2018; Mu; Jones, 2022; Lira; Fernandes; Ishihara, 2022; Silva; Lopes; Santos, 2023).

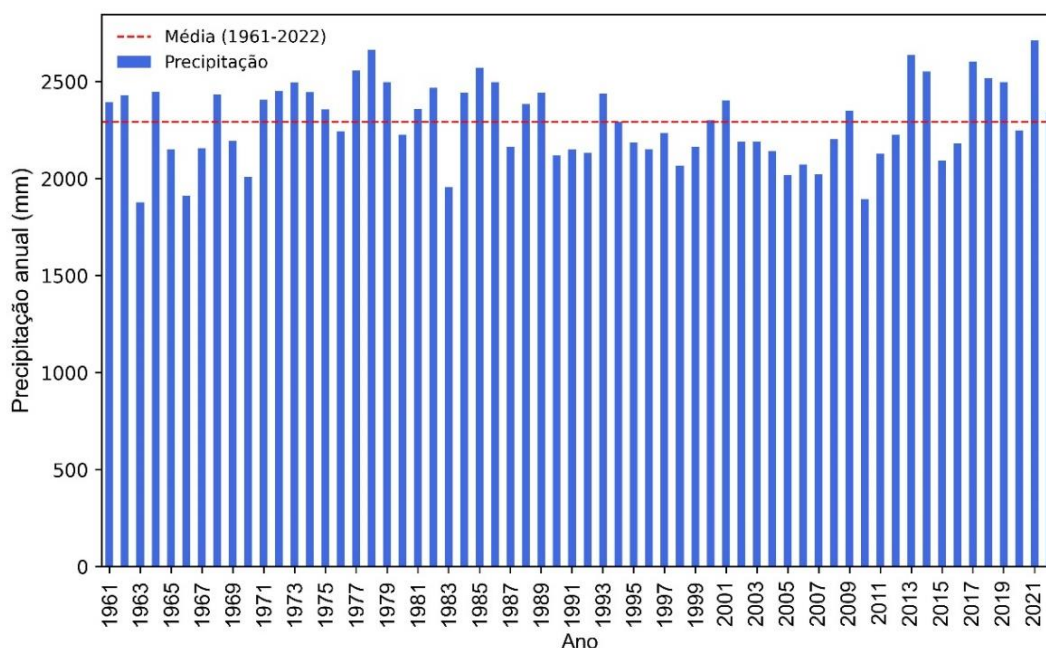
A variabilidade observada nas séries sazonais (Figura 4) reflete a influência de diferentes sistemas meteorológicos atuantes na porção sul do estado Amazonas, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistemas frontais e a Alta da Bolívia (BH). A atuação da ZCAS se destaca como o principal mecanismo responsável pelos elevados volumes de precipitação entre o final da primavera e o verão. A ZCIT, por sua vez, contribui para o aumento das chuvas do final do verão e início do outono, com seu deslocamento para o hemisfério sul entre os meses de março e abril (Pedreira Junior *et al.*, 2018; Lucas *et al.*, 2021; Moreira *et al.*, 2024).



**Figura 4** – Gráfico *boxplot* da precipitação a) mensal e anual e; b) sazonal na área estudo (1961 a 2022).

**Fonte:** Autores (2025).

Além disso, os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENSO) desempenham um papel determinante na variabilidade interanual da precipitação. Em geral, anos mais chuvosos, como 1989 e 2009 (Figura 5), estão associados à La Niña e/ou ao aquecimento do Atlântico Sul Tropical, que intensificam o transporte de umidade para a região (Marengo; Espinoza, 2016; Marengo *et al.*, 2024). Por outro lado, eventos de El Niño, combinados ao aquecimento do Atlântico Norte, reduzem a convecção sobre a Amazônia e deslocam a ZCIT para o norte, favorecendo secas como as de 2005, 2010 e 2015 (Marengo *et al.*, 2018; Michot; Corpetti; Ronchail, 2024). Já o alto volume de chuva observado em 2014, que causou a cheia histórica do Rio Madeira, reflete a influência de anomalias de temperaturas no Indo-Pacífico e no Atlântico Sul tropical e subtropical (Espinoza *et al.*, 2014).



**Figura 5** – Precipitação anual média no sul do Amazonas no período de 1961 a 2022.

**Fonte:** Autores (2025).

Ademais, a expansão das áreas desmatadas tem sido identificada como uma possível causa de mudanças importantes na dinâmica das precipitações na Amazônia, incluindo o prolongamento da estação seca e o encurtamento da estação chuvosa (Marengo *et al.*, 2024). Essa questão é especialmente relevante para a nossa área de estudo, considerada um *hotspot* de desmatamento.

3.2. Tendências anuais e sazonais da precipitação

Na Tabela 1 tem-se as tendências de precipitação anual e sazonal utilizando os métodos MK/MKM e SS. Observa-se que nenhuma série anual apresentou tendências significativas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ), possivelmente devido à alta variabilidade pluviométrica, marcada por eventos extremos de secas e cheias intercalados.

**Tabela 1:** Resultados dos testes de Mann-Kendall (MK), Mann-Kendall Modificado (MKM) e Sen's Slope (SS), na precipitação anual total (1961 a 2022) no sul do Estado do Amazonas.

| Área                 | Tendência | Anual        | DJF          | MAM          | JJA          | SON          |
|----------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Apuí                 | Z         | <u>1,36</u>  | <u>2,63*</u> | <u>0,81</u>  | <u>0,53</u>  | -0,99        |
|                      | SS        | 3,71         | 5,17         | 0,72         | 0,18         | -0,76        |
| Boca do Acre         | Z         | -0,53        | <u>0,27</u>  | <u>-0,30</u> | <u>0,22</u>  | <u>-1,23</u> |
|                      | SS        | <u>-0,78</u> | 0,22         | -0,18        | 0,06         | -0,80        |
| Canutama             | Z         | 0,77         | <u>1,60</u>  | <u>0,82</u>  | -0,20        | -0,86        |
|                      | SS        | 1,64         | 2,36         | 0,83         | -0,12        | -0,65        |
| Humaitá              | Z         | <u>-1,88</u> | <u>0,25</u>  | <u>-1,94</u> | -1,54        | -1,96        |
|                      | SS        | -5,43        | 0,30         | -2,34        | -0,94        | -1,53        |
| Lábrea               | Z         | <u>0,66</u>  | <u>2,27*</u> | 0,52         | <u>-0,40</u> | <u>-0,60</u> |
|                      | SS        | 1,48         | 2,22         | 0,43         | -0,11        | -0,41        |
| Manicoré             | Z         | <u>-1,32</u> | <u>0,36</u>  | <u>-1,20</u> | <u>-1,23</u> | <u>-1,83</u> |
|                      | SS        | -4,01        | 0,29         | -1,27        | -0,83        | -1,39        |
| Novo Aripuanã        | Z         | <u>1,19</u>  | <u>3,74*</u> | <u>-0,28</u> | <u>-0,39</u> | -0,33        |
|                      | SS        | 2,08         | 3,29         | -0,21        | -0,15        | -0,31        |
| SA (Sul do Amazonas) | Z         | <u>-0,11</u> | <u>2,30*</u> | <u>-0,43</u> | <u>-0,95</u> | -1,56        |
|                      | SS        | -0,21        | 2,17         | -0,33        | -0,42        | -0,88        |

\*Estatisticamente significativa a  $\alpha = 5\%$ . Valores de Z sublinhados indicam séries com indícios de autocorrelação, para as quais aplicou-se o teste MKM. Legenda: DJF = dezembro, janeiro e fevereiro, MAM = março, abril e maio, JJA = junho, julho e agosto, SON = setembro, outubro e novembro.

**Fonte:** Autores (2025).

Sazonalmente, as precipitações no outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) não mostraram tendências significativas. No entanto, no verão (DJF), todos os municípios mostraram tendências positivas, sendo que essas tendências são significativas apenas em Apuí, Lábrea, Novo Aripuanã e para toda a área total do sul do Amazonas (SA) (Tabela 1).

Diferentemente deste estudo, que abrange 1961-2022, Silva Junior *et al.* (2018) e Lira, Fernandes e Ishihara (2022), ao analisarem séries iniciadas em 1980, identificaram tendências significativas de chuvas anuais no sul do Amazonas, sugerindo que tendências significativas na precipitação podem ser recentes e ligadas a mudanças climáticas e ao uso

do solo nas últimas décadas. Portanto, apesar da ausência de significância nas tendências de chuvas anuais aqui avaliadas, é crucial um monitoramento contínuo para entender melhor a dinâmica climática e seus efeitos na região.

A ausência de tendências significativas na escala anual, associada à sua detecção no verão (DJF), indica as mudanças nas chuvas regionais podem estar ocorrendo de forma mais concentrada nesse período. Se confirmadas, essas tendências podem aumentar a disponibilidade hídrica para a agricultura e a pecuária, mas também elevam os riscos de inundações e erosão do solo, afetando a segurança das comunidades e a produtividade econômica (Silva *et al.*, 2023, Reygadas; Spera; Salisbury, 2023).

Embora o desmatamento seja comumente associado à redução das chuvas (Leite-Filho *et al.*, 2021; Moreira, 2024), nossa análise com os métodos MK/MKM e SS não revelou tendências significativas de queda na precipitação anual ou sazonal na nova fronteira agrícola amazônica. Paradoxalmente, como já mencionado, observamos tendências significativas de aumento da precipitação no verão (DJF) nos municípios com as maiores taxas de desmatamento, nomeadamente Apuí, Lábrea e Novo Aripuanã. Esses resultados evidenciam a dificuldade de isolar o efeito do desmatamento sobre a chuva e ressaltam a importância de considerar outras variáveis, como as teleconexões oceano-atmosfera, para uma compreensão mais aprofundada acerca do comportamento das chuvas na região estudada (Cavalcanti *et al.*, 2016; Lucas *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024). Além disso, Mu e Jones (2022) ressaltam que a idade do desmatamento afeta seu impacto na precipitação, com áreas desmatadas há mais tempo exibindo reduções pluviométricas mais acentuadas, sobretudo na estação seca. Como grande parte do desmatamento no sul do Amazonas é relativamente recente, é esperado que sua continuidade resulte em diminuições significativas da chuva no médio e longo prazo. Assim, é vital controlar a perda de cobertura vegetal para garantir a manutenção do ciclo hidrológico e a estabilidade climática da região.

As tendências de chuvas anuais identificadas pelo método ITA estão resumidas na Tabela 2. Com exceção de Lábrea, todos os demais municípios do sul do Amazonas e a região como um todo, exibiram tendências significativas na precipitação anual. Para a área total do sul do Amazonas, observou-se uma diminuição média de  $1,78 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Em particular, Humaitá e Manicoré apresentaram quedas acentuadas, com  $-6,95 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $-6,28 \text{ mm.ano}^{-1}$ , respectivamente, enquanto Boca do Acre teve uma redução moderada de  $-2,15 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Em contrapartida, Apuí, Canutama e Novo Aripuanã registraram aumentos significativos de  $1,13 \text{ mm.ano}^{-1}$ ,  $1,16 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $0,98 \text{ mm.ano}^{-1}$ , respectivamente. De maneira geral, esses resultados concordam com as descobertas de Lira, Fernandes e

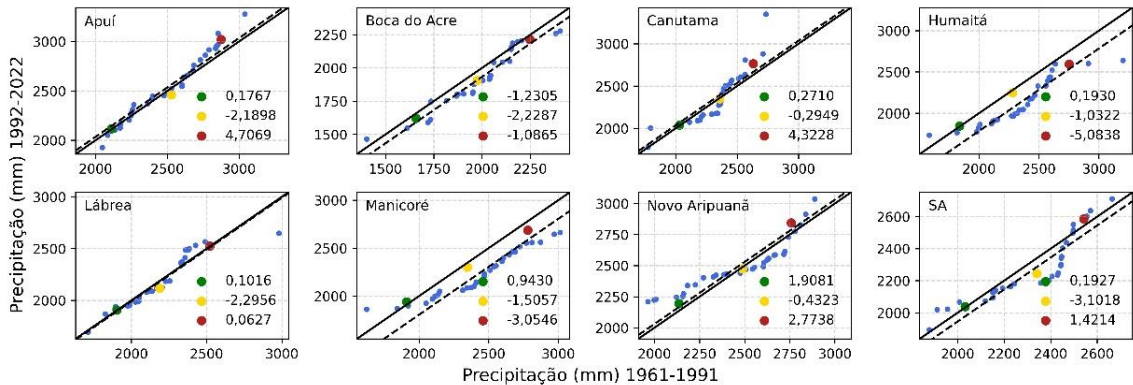
Ishihara (2022) e Dias *et al.* (2025) que, empregando os métodos MK e SS, reportaram tendências similares para os municípios da porção sul do Amazonas, embora com maiores magnitudes de tendências.

**Tabela 2:** Estatística da análise de tendência inovadora (ITA) na precipitação total anual (1961 a 2022) de municípios do sul do Estado do Amazonas.

| Área                 | Inclinação S | $\sigma$ | $\rho_{Y1\ Y2}$ | $\sigma_s$ | IC    |
|----------------------|--------------|----------|-----------------|------------|-------|
| Apuí                 | 1,13*        | 303,89   | 0,9874          | 0,198      | 0,388 |
| Boca do Acre         | -2,15*       | 212,36   | 0,9645          | 0,232      | 0,454 |
| Canutama             | 1,16*        | 262,91   | 0,9012          | 0,479      | 0,939 |
| Humaitá              | -6,95*       | 312,75   | 0,9304          | 0,478      | 0,937 |
| Lábrea               | -0,31        | 236,75   | 0,9370          | 0,344      | 0,675 |
| Manicoré             | -6,28*       | 304,12   | 0,9649          | 0,330      | 0,647 |
| Novo Aripuanã        | 0,98*        | 233,70   | 0,9286          | 0,362      | 0,709 |
| SA (Sul do Amazonas) | -1,77*       | 200,00   | 0,8950          | 0,375      | 0,736 |

Legenda:  $\sigma$ : desvio-padrão da série;  $\rho_{Y1\ Y2}$ : correlação entre as duas metades da série;  $\sigma_s$ : desvio da inclinação; IC: intervalo de confiança; \*Estatisticamente significativa a  $\alpha = 5\%$  (Z crítico =  $\pm 1,96$ ).  
**Fonte:** Autores (2025).

Na Figura 6 estão ilustradas as tendências monotônicas e não monotônicas de chuva anual identificadas pelo método gráfico ITA.



**Figura 6 –** Resultados da análise de tendência inovadora (ITA) para a precipitação anual total (1961 a 2022) de municípios do sul do Estado do Amazonas.  
**Fonte:** Autores (2025).

Em termos gerais, uma tendência monotônica é caracterizada por um padrão uniforme, onde os dados apresentam um aumento constante, uma diminuição constante ou nenhuma tendência. Por outro lado, uma tendência não monotônica mostra que os dados não seguem um padrão uniforme; com alguns pontos apresentando queda, enquanto outros mostram crescimento no mesmo gráfico, e vice-versa (Demirel *et al.*, 2024). Nesse sentido, na região sul do Amazonas (SA), nota-se uma tendência não monotônica, pois os pontos de dispersão (pontos azuis) estão distribuídos acima e abaixo da linha 1:1 no sistema de coordenadas cartesianas (Figura 6). A capacidade de identificar essas diferentes

tendências é uma das principais vantagens do método ITA (Şen, 2012), revelando detalhes características específicas sobre os eventos de precipitação ao longo do tempo.

Os resultados do método ITA para os *clusters* de baixa, média e alta precipitação na escala anual também estão ilustrados na Figura 6. Nesta figura, os pontos verde, amarelo e vermelho indicam os centros médios dos *clusters* de chuva baixa, média e alta, respectivamente. Em Boca do Acre as tendências nas três categorias de chuva (baixa, média e alta) são decrescentes. No entanto, nas demais localidades observa-se que as tendências dos *clusters* de chuva podem variar bastante na mesma área. Por exemplo, em Apuí, Canutama e Novo Aripuanã, assim como no SA, os aglomerados baixa e alta precipitação mostram tendências crescentes. Em contraste, o *cluster* de média precipitação apresenta, em geral, uma clara tendência decrescente em todas as áreas. É primordial examinar esses dados com atenção, pois as tendências da categoria alta precipitação estão ligadas a inundações, enquanto as de baixa precipitação estão associadas a secas (Öztopal; Şen, 2017; Vinod; Mahesha, 2024). Nesse contexto, a análise anual indica que o risco de inundações em Apuí e Canutama pode ser agravado pela forte tendência de aumento das chuvas no *cluster* de alta precipitação, superior a  $4,3 \text{ mm.ano}^{-1}$  em ambos os casos. Em contrapartida, novos desafios relacionados à seca podem surgir em Boca do Acre, decorrentes da tendência de diminuição no *cluster* baixa precipitação ( $-1,23 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), além do considerável aumento de suas atividades agropecuárias. Essas informações são valiosas para a formulação de políticas de gestão de recursos hídricos e agricultura, bem como mitigação dos riscos associados a eventos hidrológicos extremos.

Os resultados estatísticos do teste de tendência para a precipitação sazonal com a abordagem ITA são apresentados Tabela 3 e na Figura 7. Em todas as quatro estações do ano, a maioria das tendências é estatisticamente significativa.

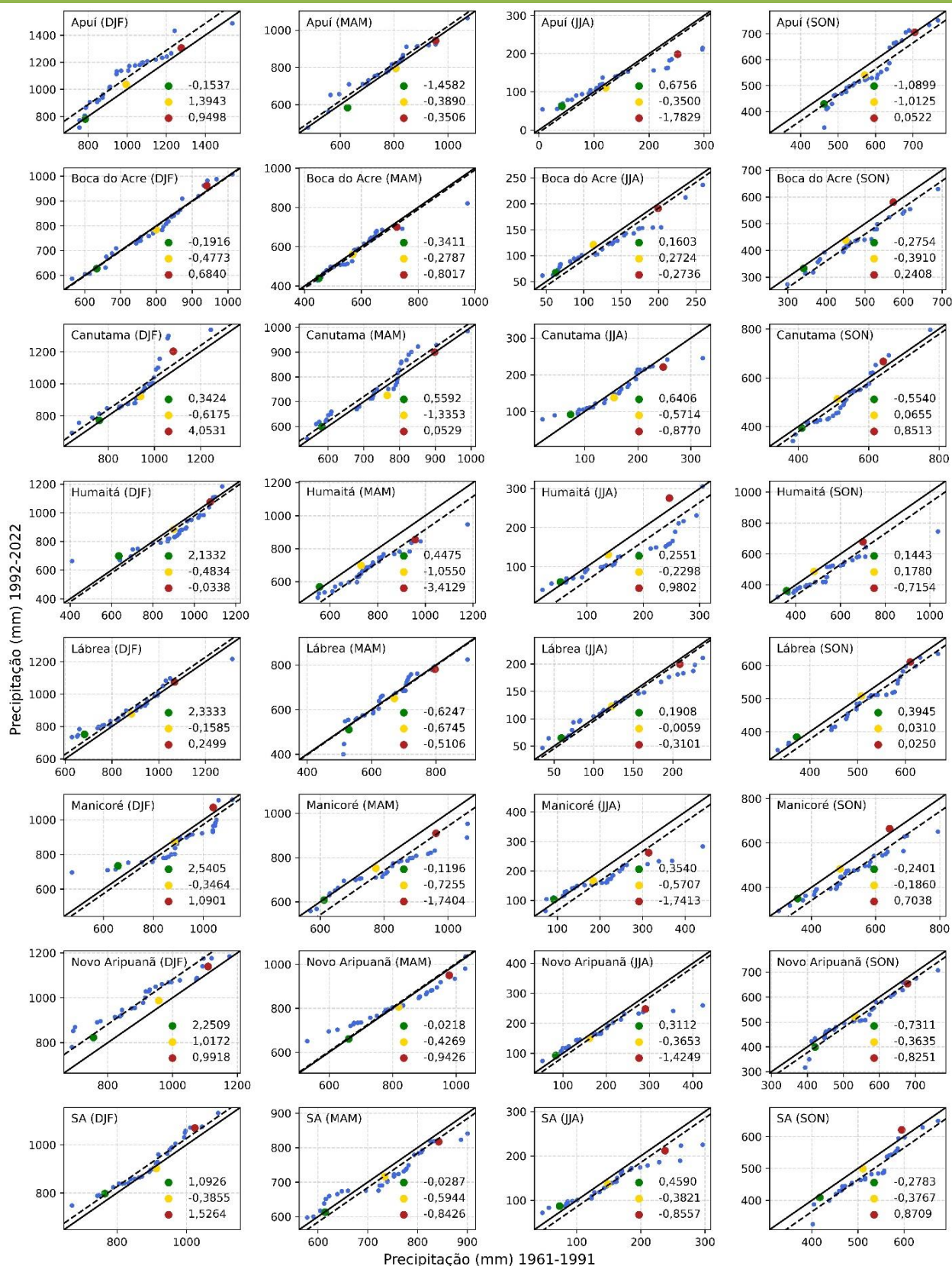
**Tabela 3:** Resultados do método ITA (inclinação s) da precipitação sazonal (1961 a 2022) de municípios do sul do Estado do Amazonas.

| Área                 | DJF    | MAM    | JJA    | SON    |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Apuí                 | 2,90*  | 0,67*  | -0,22* | -1,18* |
| Boca do Acre         | -0,08  | -0,35* | -0,29* | -1,32* |
| Canutama             | 1,31*  | 0,69*  | 0,002  | -0,71* |
| Humaitá              | -0,72* | -2,79* | -1,18* | -2,28* |
| Lábrea               | 0,93*  | -0,09  | -0,16* | -0,76* |
| Manicoré             | -0,90* | -1,95* | -1,14* | -1,96* |
| Novo Aripuanã        | 2,73*  | 0,14   | -0,46* | -0,77* |
| SA (Sul do Amazonas) | 0,88*  | -0,52* | -0,49* | -1,18* |

Legenda:  $\sigma$ : desvio-padrão da série;  $\rho_{\tilde{Y}1 \tilde{Y}2}$ : correlação entre as duas metades da série;  $\sigma_s$ : desvio da inclinação; IC: intervalo de confiança; \*Estatisticamente significativa a  $\alpha = 5\%$  ( $Z$  crítico =  $\pm 1,96$ ).

**Fonte:** Autores (2025).





**Figura 7** – Resultados da análise de tendência inovadora (ITA) para a precipitação sazonal (1961 a 2022) de municípios do sul do Estado do Amazonas.

**Fonte:** Autores (2025).

Durante o verão (DJF), observa-se uma tendência moderada de aumento para a área total do sul do Amazonas, com um aumento mais acentuado em Apuí e Novo Aripuanã,

enquanto Humaitá e Manicoré mostram tendências de queda. No outono (MAM), a área total de estudo, assim como Boca do Acre, Humaitá e Manicoré, apresenta tendências decrescentes na precipitação, enquanto os demais municípios exibem tendências de aumento. No tocante ao inverno (JJA) e à primavera (SON), os trimestres mais secos, todas as séries temporais, com exceção de Canutama no inverno, revelam tendências decrescentes. Assim, no contexto geral, o método ITA indica que, na região sul do Amazonas, a época chuvosa (DFJ) está tornando-se mais chuvosa, ao passo que as épocas secas (JJA e SON) ainda mais secas, o que pode se traduzir em eventos extremos cada vez mais intensos e frequentes (Marengo; Espinoza, 2016; Lucas *et al.*, 2021; Marengo *et al.*, 2024; Qin *et al.*, 2025).

Na Figura 7 é apresentada as tendências para os diferentes *clusters* de precipitação na escala sazonal. A análise mostra que, nos municípios de Canutama, Humaitá e Lábrea, que têm as atividades agropecuárias mais expressivas da região, existem comportamento distintos nas tendências de precipitação baixa, média e alta nas estações do ano. Por exemplo, no verão, Humaitá apresenta tendência negativa para a baixa e média precipitação, porém tendência positiva para a alta precipitação. Por outro lado, no outono, as categorias média e alta chuva indicam tendências negativas, enquanto há tendência positiva para o *cluster* de baixa pluviosidade. Essas variações podem impactar diretamente a produtividade agrícola, uma vez que a agricultura depende fortemente da disponibilidade de água (Moreira; Santos; Sanches, 2023; Das; Kothari; Pandey, 2024).

### **3.3. Comparação de métodos de análise de tendências**

Na Tabela 4 estão resumidas as tendências de precipitação anual e sazonal observadas no sul do estado do Amazonas, no período de 1961 a 2022, utilizando os métodos MK/MKM e ITA, ao nível de significância de 5%. Entre as 40 séries temporais analisadas por ambas as abordagens, o MK/MKM identificou 4 tendências significativas, todas positivas no verão (DJF), que foram confirmadas pelo ITA. Este último método ainda detectou 31 outras tendências significativas, totalizando 35, em comparação às quatro do MK. Portanto, a abordagem ITA mostrou-se mais sensível na detecção de tendências, revelando tendências significativas que não foram capturadas pelo MK. Esses achados são consistentes com pesquisas internacionais (Wang *et al.*, 2020; Mallick *et al.*, 2021; Chowdari *et al.*, 2023; Esit; Çelik; Akbas, 2023; Muthiah *et al.*, 2024) e nacionais (Souza; Nascimento, 2021; Pessoa *et al.*, 2023).

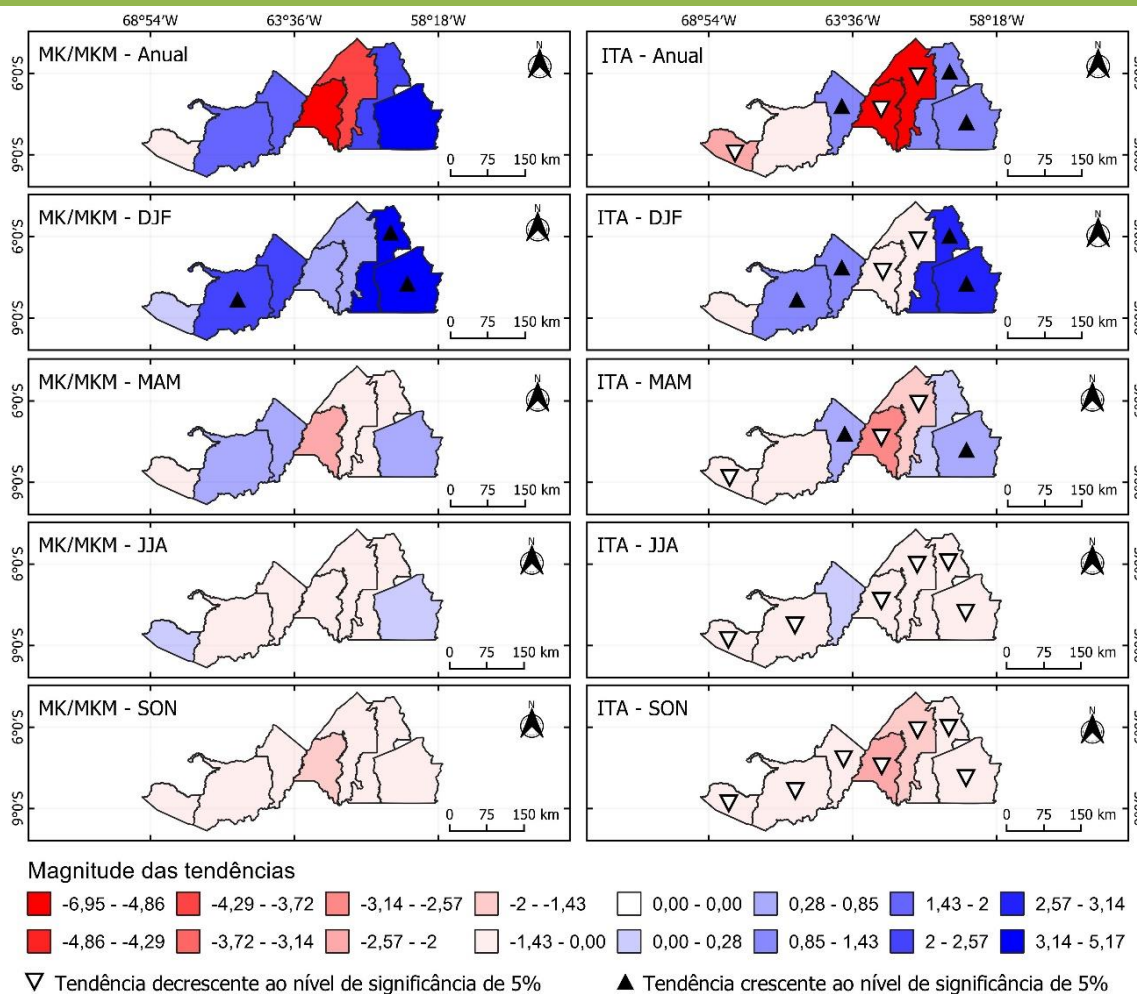
**Tabela 4:** Comparação dos resultados dos métodos MK/MKM e ITA, ao nível de significância de 5%, para séries de precipitação anual e sazonal (1961-2022), na região sul do estado do Amazonas.

| ID | Anual |         | DJF     |         | MAM |         | JJA |         | SON |         |
|----|-------|---------|---------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
|    | MK    | ITA     | MK      | ITA     | MK  | ITA     | MK  | ITA     | MK  | ITA     |
| 1  | Não   | Sim (+) | Sim (+) | Sim (+) | Não | Sim (+) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 2  | Não   | Sim (-) | Não     | Não     | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 3  | Não   | Sim (+) | Não     | Sim (+) | Não | Sim (+) | Não | Não     | Não | Sim (-) |
| 4  | Não   | Sim (-) | Não     | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 5  | Não   | Não     | Sim (+) | Sim (+) | Não | Não     | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 6  | Não   | Sim (-) | Não     | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 7  | Não   | Sim (+) | Sim (+) | Sim (+) | Não | Não     | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |
| 8  | Não   | Sim (-) | Sim (+) | Sim (+) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) | Não | Sim (-) |

Legenda: 1: Apuí; 2: Boca do Acre; 3: Canutama; 4: Humaitá; 5: Lábrea; 6: Manicoré; 7: Novo Aripuanã; 8: SA (Sul do Amazonas); DJF = dezembro, janeiro e fevereiro, MAM = março, abril e maio, JJA = junho, julho e agosto, SON = setembro, outubro e novembro. “Sim” (±): aumento ou diminuição significativa e “Não”: tendências não significativas a nível de significância de 5%.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 8 ilustra a distribuição espacial das tendências, mostrando que os métodos (MK/MKM, SS e ITA) apresentaram, de forma geral, boa convergência na identificação das tendências nos municípios do sul do Amazonas, embora existam algumas divergências. Em DJF, por exemplo, o ITA detectou tendências negativas significativas em Humaitá e Manicoré (centro-leste), enquanto MK/MKM identificou tendências positivas não significativas para esses locais. Em seguida, no trimestre MAM, as tendências negativas foram confirmadas por ambos os métodos. Padrão semelhante foi observado em Boca do Acre (extremo oeste), onde o ITA apontou tendências negativa em JJA, posteriormente confirmadas pelo MK/MKM em SON. Essas observações sugerem uma maior sensibilidade do ITA na detecção de mudanças, com a direção (aumento ou redução) de suas tendências significativas geralmente confirmadas pelos métodos convencionais nos trimestres seguintes, embora com variação na magnitude. A boa concordância entre as metodologias indica que o seu uso combinado pode contribuir para aprimorar a compreensão da dinâmica da precipitação, subsidiando estratégias de resiliência e adaptação às mudanças climáticas na região.



**Figura 8** – Distribuição espacial das tendências da precipitação anual e sazonal nos municípios do sul do estado do Amazonas, utilizando os métodos MK/MKM, SS e ITA.

**Fonte:** Autores (2025).

É importante notar que o MK/MKM e o ITA indicam que as tendências não são homogêneas no sul do Amazonas, enfatizando a necessidade de uma análise abrangente e sistemática para elucidar as causas e impactos das alterações no regime de chuvas em diferentes escalas temporais. Fatores como clima, circulação atmosférica e uso do solo devem ser considerados (Terassi *et al.*, 2023; Moreira, 2024; Santos *et al.*, 2024). Compreender a relação entre esses elementos e a precipitação pluviométrica é essencial para garantir o desenvolvimento socioeconômico e garantir a sustentabilidade ambiental nessa área de grande relevância.

#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo investigou as tendências de precipitação anual e sazonal de longo prazo (1961–2022) no sul do Amazonas, aplicando os métodos clássicos Mann-Kendall, Mann-Kendall Modificado, Sen's Slope e do método gráfico ITA, com nível de significância de 5%.



O ITA indicou uma tendência significativa de redução média de  $-1,78 \text{ mm.ano}^{-1}$  na chuva anual para o sul do Amazonas, com quedas em todas as estações do ano, exceto no verão (época mais chuvosa do ano), que mostrou tendência significativa de aumento, sugerindo um agravamento dos riscos de secas e cheias. Em geral, observou-se boa consistência entre os métodos aplicados, embora o ITA tenha se mostrado mais sensível, detectando tendências que não foram identificadas pelos métodos clássicos. As descobertas deste estudo sugerem que o uso integrado dessas metodologias pode aprimorar a análise das tendências de precipitação.

Em particular, o ITA fornece representações gráficas que podem aproximar o conhecimento científico da sociedade, ilustrando de forma clara e intuitiva tendências que permitem identificar eventos extremos, como enchentes, associadas a alta precipitação, e secas, ligadas a baixa precipitação. As possíveis mudanças nos padrões pluviométricos observados nesta pesquisa impactam não apenas o setor agropecuário, mas também outras atividades humanas e os ecossistemas locais. Portanto, nossos achados oferecem informações que podem contribuir para o desenvolvimento socioeconômico e a promoção da sustentabilidade ambiental na região.

Contudo, o estudo apresenta limitações, como o uso de médias de precipitação por localidade e a descontinuidade temporal do conjunto de dados, que restringem a análise de períodos mais recentes. Para pesquisas futuras, recomenda-se uma abordagem mais detalhada, com análises pixel a pixel baseadas em dados de maior resolução espacial e atualizados continuamente, como o CHIRPS, validados por observações de estações meteorológicas. Além disso, sugere-se a inclusão de variáveis adicionais (temperatura, evapotranspiração, umidade relativa do ar e velocidade do vento), a fim ampliar a compreensão das tendências e dos impactos das mudanças climáticas na região.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) tanto pelo apoio geral à pesquisa quanto pelo financiamento do projeto “Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (ONSEADapta)”; e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPE) pelo suporte institucional.

---

## REFERÊNCIAS

AGBO, E. P.; NKAJOE, U.; EDET, C. O. Comparison of Mann–Kendall and Şen’s innovative trend method for climatic parameters over Nigeria’s climatic zones. **Climate Dynamics**, v. 60, p. 3385-3401, 2023.

ALMEIDA, C. T. D.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F. D.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279-286, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, R. C.; TRES, A.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; TETTO, A. F. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p.1-12, 2019.

ANDRADE, J. M.; RIBEIRO NETO, A.; BEZERRA, U. A.; MORAES, A. C. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L. A comprehensive assessment of precipitation products: temporal and spatial analyses over terrestrial biomes in Northeastern Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 28, p. 100842, 2022.

AQUINO, R. E. D.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A. D.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 397-406, 2014.

BRASIL. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais**. 2023b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 6 dez. 2024.

BRASIL. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Amazonas**. 2025a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/panorama>. Acesso em: 11 jan. 2025.

BRASIL. INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite (PRODES)**. 2021. Disponível em: <http://www.terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2023a. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 03 de set. 2024.

BRASIL. WWF-BRASIL. **Perfil socioeconômico e ambiental do sul do estado do Amazonas: subsídios para análise da paisagem**. Brasília, 2017. Disponível em: [https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/perfil\\_sul\\_amazonas.pdf](https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/perfil_sul_amazonas.pdf). Acesso em: 17 set. 2024.



CARRERO, G. C.; WALKER, R. T.; SIMMONS, C. S.; FEARNSIDE, P. M. Land grabbing in the Brazilian Amazon: Stealing public land with government approval. **Land Use Policy**, v. 120, p. 106-133, 2022.

CAVALCANTE, R. B. L.; FERREIRA, D. B. S.; PONTES, P. R. M.; TEDESCHI, R. G.; COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020.

CAVALCANTI, I. F. D. A.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; COSTA, D. F. On the opposite relation between extreme precipitation over west Amazon and southeastern Brazil: observations and model simulations. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 9, p. 3606-3618, 2016.

CHAVES, M. E. D.; MATAVELI, G.; CONCEIÇÃO, K. V.; ADAMI, M.; PETRONE, F. G.; SANCHES, I. D. AMACRO: the newer Amazonia deforestation hotspot and a potential setback for Brazilian agriculture. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 22, p. 93-100, 2024.

CHOWDARI, K. K.; DEB BARMA, S.; BHAT, N.; GIRISHA, R.; GOUDA, K. C.; MAHESHA, A. Trends of seasonal and annual rainfall of semiarid districts of Karnataka, India: application of innovative trend analysis approach. **Theor Appl Climatol**, v. 152, p. 241-264, 2023.

DAS, D. P.; KOTHARI, K.; PANDEY, A. Comprehensive analysis of spatiotemporal variability of rainfall-based extremes and their implications on agriculture in the Upper Ganga Command Area. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, p. 111, 2024.

DEMIREL, İ. H.; KESGIN, E.; GÜÇLÜ, Y. S.; TAN, R. İ.; BAŞARAN, B. Trend Stability Assessment for Hydrological Drought in Euphrates Basin (Türkiye) Using TripleWilcoxon Test and Innovative Trend Analysis Methods. **Water**, v. 16, n. 19, p. 2823, 2024.

DIAS, L. C.; FERNANDES, L. L.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; LIRA, B. R. P.; VASCO, P. A. Trend analysis of streamflow and rainfall of Amazon River. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 156, n. 4, p. 1-14, 2025.

DONG, Z.; JIA, W.; SARUKKALIGE, R.; FU, G.; MENG, Q.; WANG, Q. Innovative trend analysis of air temperature and precipitation in the Jinsha River basin, China. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3293, 2020.

ESIT, M.; ÇELİK, R.; AKBAS, E. Long-term meteorological and hydrological drought characteristics on the lower Tigris-Euphrates basin, Türkiye: relation, impact and trend. **Environmental Earth Sciences**, v. 82, n. 21, p. 491, 2023.

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J.; CARPIO, J. M.; FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, n.12, p. 124007, 2014.

GALVÃO, J. M.; DUARTE, M. L.; CASTRO, A. L.; SILVA, T. A.; VALENTE, K. S. Statistical evaluation between the estimates of precipitation of the TRMM satellite and surface stations:

---

An analysis to the Mesoregion sul Amazonense. **Journal of Hyperspectral RemoteSensing**, v. 10, n. 2, p. 108-116, 2020.

GAO, F.; WANG, F.; CHEN, X.; YANG, W. Trend analysis of rainfall time series in Shanxi Province, Northern China (1957–2019). **Water**, v. 12, n. 9, p. 2335, 2020.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **J. Hydrol.** V. 204, p. 182–196, 1998.

HARKA, A. E.; JILO, N. B.; BEHULU, F. Spatial-temporal rainfall trend and variability assessment in the Upper Wabe Shebelle River Basin, Ethiopia: Application of innovative trend analysis method. **Journal of Hydrology**, v. 37, p. 100915, 2021.

HUSSAIN, M. M.; MAHMUD, I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 39, p. 1556, 2019.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. London: Charles Griffin & Company Ltd, 1975. 272p.

LEITE-FILHO, A. T.; SOARES-FILHO, B. S; DAVIS, J. L.; ABRAHÃO, G. M.; BÖRNER, J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nat Commun**, v. 12, p. 2591, 2021.

LIKINAW, A.; ALEMAYEHU, A.; BEWKET, W. Trends in Extreme Precipitation Indices in Northwest Ethiopia: Comparative Analysis Using the Mann–Kendall and Innovative Trend Analysis Methods. **Climate**, v. 11, n. 8, p. 164, 2023.

LIRA, B. R. P.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. Pluviometric behavior and trends in the Legal Amazon from 1986 to 2015. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 150, p. 1353-1367, 2022.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. D. A. S.; SILVA, F. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; PINTO, D. D. C.; SILVA, V. D. P. R. Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu river basin-Brazilian Amazon. **Weather and Climate Extremes**, v. 31, p. 100306, 2021.

MA, C.; PEI, W.; LIU, J.; FU, G. Long-Term Trends and Variability of Hydroclimate Variables and Their Linkages with Climate Indices in the Songhua River. **Atmosphere**, v. 15, n. 2, p. 174, 2024.

MALIK, A.; KUMAR, A.; GUHATHAKURTA, P.; KISI, O. Spatial-temporal trend analysis of seasonal and annual rainfall (1966–2015) using innovative trend analysis method with significance test. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, p. 1-23, 2019.

MALLICK, J.; TALUKDAR, S.; ALSUBIH, M.; SALAM, R.; AHMED, M.; KAHLA, N. B.; SHAMIMUZZAMAN, M. Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 143, p. 823-841, 2021.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13. n. 3, p. 245–259, 1945.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS, M.; DIAS, L. A.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather Clim Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ESPINOZA, J. C.; FU, R.; SCHÖNGART, J.; JIMENEZ, J. C.; COSTA, M. C.; RIBEIRO, J. M.; WONGCHUIG, S.; ZHAO, S. The drought of Amazonia in 2023-2024. **American Journal of Climate Change**, v. 13, n. 3, p. 567-597, 2024.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **Internacional J. Climatol**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR., C. M.; THONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Front Earth Sci**, v. 6, p. 228, 2018.

MARTINS, P. A. S.; QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. da S.; BENTOLILA, L. B. V.; SILVA, P. C dos S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de thornthwaite e mather (1955) para o município de Manicoré, na mesorregião sul do Amazonas. **Irriga**, v. 25, n. 3, p. 641-655, 2020.

MATSUNAGA, W. K.; SALES, E. S. G.; ASSIS JÚNIOR, G. C.; SILVA, M. T.; LACERDA, F. F.; LIMA, E. de P.; SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. Application of ERA5-Land reanalysis data in zoning of climate risk for corn in the state of Bahia—Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, p. 945-963, 2024.

MICHOT, V.; CORPETTI, T.; RONCHAIL, J. Seasonal types in homogeneous rainfall regions of the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 44, n. 4, pp.1224-1244, 2024.

MINAKI, C. Análise de tendência de elementos climáticos de Maringá-PR. **Caminhos de Geografia**, v. 25, n. 98, p. 01-16, 2024.

MONTEIRO, D. M. L. V.; BERNARDES, J. A. Avanço do agronegócio na Amazônia: antecipação espacial, processos de espoliação na tentativa de criação da AMACRO e expansão da fronteira agrícola. **Revista NERA**, v. 27, n. 2, p. 1-16, 2024.

MOREIRA, R. M. Trends and correlation between deforestation and precipitation in the Brazilian Amazon Biome. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, p. 3683-3692, 2024.

MOREIRA, R. M.; SANTOS, B. C. dos; BIGGS, T.; SALES, F. de; SIEBER, S. Identifying clusters of precipitation for the Brazilian Legal Amazon based on magnitude of trends and its correlation with sea surface temperature. **Sci Rep**, v. 14, p. 14067, 2024.

MOREIRA, R. M.; SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G. Trend analysis of precipitation for protected areas and pasturelands in southwest Amazônia between 1998 and 2019. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 29, p. 100901, 2023.

MU, Y.; BIGGS, T.; SHEN, S. S. P. Satellite-based precipitation estimates using a dense rain gauge network over the Southwestern Brazilian Amazon: Implication for identifying trends in dry season rainfall. **Atmospheric Research**, v. 261, p. 105741, 2021.

MU, Y.; JONES, C. An observational analysis of precipitation and deforestation age in the Brazilian Legal Amazon. **Atmospheric Research**, v. 271, p. 106122, 2022.

MUTHIAH, M.; SIVARAJAN, S.; MADASAMY, N.; NATARAJAN, A.; AYYAVOO, R. Analyzing rainfall trends using statistical methods across Vaippar Basin, Tamil Nadu, India: A comprehensive study. **Sustainability**, v. 16, n. 5, p. 1957, 2024.

ÖZTOPAL, A.; ŞEN, Z. Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey. **Water Resour Manage**, v. 31, p. 727-737, 2017.

PAKHALE, G.; KHOSA, R.; GOSAIN, A. K. Trends and periodicities in Krishna Basin rainfall/extremes found via hierarchical analysis. **HydroResearch**, v. 8, p. 316-331, 2025.

PEDREIRA JÚNIOR, A. L. P.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. da S.; SANTOS, L. O. F. dos; MOURA, A. R. de M.; MACHADO, N. G.; BIURDES, M. S. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá – Am. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 463-475, 2018.

PESSOA, J. O.; LIMA, A. M. de S.; RODRIGUES JUNIOR, J. C.; SANTOS, E. M. dos; PESSOA, J. O.; OLIVEIRA, L. M. M.; SANTOS, S. M. dos; PAIVA, A. L. R. de. Aplicação de método Análise de Tendência Inovadora (ITA) para detecção de tendências da precipitação anual e sazonal na Região Metropolitana do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 2958-2977, 2023.

QIN, Y.; WANG, D.; ZIEGLER, A. D.; FU, B.; ZENG, Z. Impact of Amazonian deforestation on precipitation reverses between seasons. **Nature**, v. 639, n. 8053, p. 102-108, 2025.

REYGADAS, Y.; SPERA, S. A.; SALISBURY, D. S. Effects of deforestation and forest degradation on ecosystem service indicators across the Southwestern Amazon. **Ecological Indicators**, v. 147, p. 109996, 2023.

SANTOS, C. A. G.; SANTOS, D. C.; BRASIL NETO, R. M.; OLIVEIRA, G.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, R. M. Analyzing the impact of ocean-atmosphere teleconnections on rainfall variability in the Brazilian Legal Amazon via the Rainfall Anomaly Index (RAI). **Atmospheric Research**, v. 307, p. 107483, 2024.

SASANYA, B. F.; ADESOGAN, S. O.; ADEMOLA, A. A. Spatio-temporal analysis of rainfall over Chad River Basin, Nigeria. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 156, n. 2, p. 118, 2025.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

ŞEN, Z. Innovative trend analysis methodology. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 9, p. 1042-1046, 2012.

ŞEN, Z. Innovative trend significance test and applications. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 127, p. 939-947, 2017.

SILVA JUNIOR, C. H.; ALMEIDA, C. T.; SANTOS, J. R.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E.; SILVA, F. B. Spatiotemporal rainfall trends in the Brazilian legal Amazon between the years 1998 and 2015. **Water**, v. 10, n. 9, p. 1220, 2018.

SILVA, F. D. dos S.; COSTA, C. P. W. da; FRANCO, V. dos S.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L. da; VANDERLEI, M. H. G. dos S.; COSTA, R. L.; ROCHA JÚNIOR, R. L. da; CABRAL JÚNIOR, J. B.; REIS, J. S. dos; CAVALCANTE, R. B. L.; TEDESCHI, R. G.; BARRETO, N. de J. da C.; NOGUEIRA NETO, A. V.; JESUS, E. dos S.; FERREIRA, D. B. da S. Intercomparison of Different Sources of Precipitation Data in the Brazilian Legal Amazon. **Climate**, v. 11, n. 12, p. 241, 2023.

SILVA, Q. P.; MOREIRA, D. S.; FREITAS, H. C. de; DOMINGUES, L. M. Discrepancies between observation and ERA5 reanalysis in the Amazon deforestation context: A case study. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 106, p. 101442, 2024.

SILVA, R. M.; LOPES, A. G.; SANTOS, C. A. G. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116664, 2023.

SINGH, R. N.; SAH, S.; DAS, B.; POTEKAR, S.; CHAUDHARY, A.; PATHAK, H. Innovative trend analysis of spatio-temporal variations of rainfall in India during 1901–2019. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 145, n. 1, p. 821-838, 2021.

SOUZA, S. A. S.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. da S.; MARTINS, P. A. da S.; VAZ, M. A. B. Variabilidade da precipitação na mesorregião sul do Amazonas em decorrência de eventos de El Niño. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 54, p. 23-36, 2022.

SOUZA, T. S. de; NASCIMENTO, P. dos S. Trends in Pluviometric Precipitation and Climatic Water Balance in the hydrographic region of Paraguaçu - BA. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 67, p. 952-974, 2021.

STRÍKIS, N. M.; BUARQUE, P. F. S. M.; CRUZ, F. W.; BERNAL, J. P.; VUILLE, M.; TEJEDOR, E.; SANTOS, M. S.; SHIMIZU, M. H.; AMPUERO, A.; DU, W.; SAMPAIO, G.; SALES, H. dos R.; CAMPOS, J. L.; KAYANO, M. T.; APAËSTEGUI, J.; FU, R. R.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; MAYTA, V. C.; FRANCISCHINI, D. da S.; ARRUDA, M. A. Z.; NOVELLO, V. F. Modern anthropogenic drought in Central Brazil unprecedented during last 700 years. **Nature Communications**, v. 15, p. 1728, 2024.

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E.; GOBO, J. P. A.; OSCAR-JÚNIOR, A. C. S.; LUIZ-SILVA, W.; SOBRAL, B. S.; GOIS, G. de; BIFFI, V. H. R. Exploring climate extremes in Brazil's Legal Amazon. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 38, n. 4, p. 1403-1422, 2023.

TOMASELLA, J.; CUNHA, A. P. M.; SIMÕES, P. A.; ZERI, M. Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019. **Natural Hazards**, v. 116, p. 2173-2190, 2023.

VASCONCELOS, S. S. D.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; SILVA, P. R. T. D.; DIAS, D. V. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições



meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 134-144, 2015.

VILANOVA, R. S.; DELGADO, R. C.; ABEL, E. L. S.; TEODORO, P. E.; SILVA JUNIOR, C. A.; WANDERLEY, H. S.; CAPRISTO-SILVA, G. F. Past and future assessment of vegetation activity for the state of Amazonas-Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 17, p. 100278, 2020.

VINOD, D.; MAHESHA, A. Large-scale atmospheric teleconnections and spatiotemporal variability of extreme rainfall indices across India. **Journal of Hydrology**, v. 628, p. 130584, 2024.

WANG, Y.; XU, Y.; TABARI, H.; WANG, J.; WANG, Q.; SONG, S.; HU, Z. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall in the Yangtze River Delta, eastern China. **Atmospheric Research**, v. 231, p. 104673, 2020.

WU, H.; QIAN, H. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2582-2592, 2017.

WU, L.; YE, A.; WANG, Y.; LI, Q.; ZHAN, S. Urbanization influence on changes of extreme precipitation in mainland China. **Global and Planetary Change**, v. 246, p. 104720, 2025.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, 2016.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022.

YANG, H.; XIAO, H.; GUO, C.; SUN, Y. Spatial-temporal analysis of precipitation variability in Qinghai Province, China. **Atmospheric Research**, v. 228, p. 242-260, 2019.

## **APÊNDICES – TABELAS, GRÁFICOS E EQUAÇÕES**

<https://drive.google.com/file/d/18UXjM5mqFVQ4fW2Dx6oF-T-4C2BZgGzU/view?usp=sharing>

Recebido: 07/03/2025

Aceito: 17/10/2025