

Modelagem Estatística e Investigação de Tendências nos Dados de Precipitação da UGRHI -17, Médio Paranapanema - SP

Statistical Modeling and Trend Investigation in Precipitation Data of UGRHI-17, Médio Paranapanema - SP

Modelado Estadístico e Investigación de Tendencias en los Datos de Precipitación de la UGRHI-17, Medio Paranapanema – SP

Rafaela Melissa Andrade Ferreira¹

RESUMO: O presente trabalho sintetiza a análise da dinâmica pluviométrica na UGRHI-17 (Médio Paranapanema) entre 1945 e 2021, integrando três abordagens metodológicas: clusterização hierárquica, regressão linear simples e teste de Pettitt para detecção de rupturas. Cada estação foi agrupada em três clusters com base em sua climatologia mensal. O primeiro, composto por postos de relevo suave (Cabrália Paulista, Rancharia e Ribeirão do Sul), indicou tendência de aumento de 1,6 mm/ano, porém sem significância estatística. O segundo cluster (Botucatu e Gália) exibiu grande oscilação entre 1000 milímetros e 1900 milímetros anuais, com viés positivo leve (~2 mm/ano) também não significativo. No terceiro grupo, formado por estações de relevo acentuado (Óleo, Ourinhos, Cândido Mota, Avaré e Ipaussu), registrou-se aumento significativo de $\approx 3,2$ mm/ano ($p \approx 0,005$) e variabilidade extrema, com totais entre <800 mm e >2000 mm. O teste de Pettitt revelou mudança de regime comum entre 1969 e 1971, marcando um salto pluviométrico que elevou ligeiramente as médias anuais sem atenuar a amplitude interanual. Os achados reforçam estudos de análise multifractal e de extremos em bacias vizinhas, demonstrando que, embora a variabilidade natural permaneça dominante, há um viés de intensificação gradual da precipitação, sobretudo em áreas de relevo mais elevado.

PALAVRAS-CHAVES: climatologia; abordagem quantitativa; chuvas.

ABSTRACT: This study synthesizes the analysis of precipitation dynamics in the UGRHI-17 (Middle Paranapanema) from 1945 to 2021, integrating three methodological approaches: hierarchical clustering, simple linear regression, and the Pettitt test for change-point detection. Initially, each station was grouped into three clusters based on its monthly climatology. The first cluster, comprising low-relief sites (Cabrália Paulista, Rancharia, and Ribeirão do Sul), showed a non-significant increasing trend of 1.6 mm yr⁻¹. The second cluster (Botucatu and Gália) exhibited large fluctuations between 1 000 mm and 1 900 mm yr⁻¹, with a slight positive bias (~2 mm yr⁻¹) that was also not significant. In the third cluster, higher-relief stations (Óleo, Ourinhos, Cândido Mota, Avaré, and Ipaussu, there was a statistically significant increase of approximately 3.2 mm yr⁻¹ ($p \approx 0.005$) and extreme variability, with

¹ Cursa o Doutorado Acadêmico em Geografia na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP/Presidente Prudente). E-mail: rafaela.andrade-ferreira@unesp.br,

annual totals ranging from under 800 mm to over 2 000 mm. The Pettitt test identified a common regime shift across all clusters between 1969 and 1971, marking a pluviometric jump that slightly raised annual means without attenuating interannual amplitude. These findings corroborate previous multifractal and extreme-event analyses in neighboring basins, demonstrating that although natural variability driven by frontal systems and convective currents remains dominant, there is a clear bias toward gradual intensification of precipitation, especially in higher-relief areas.

KEYWORDS: *climatology; quantitative approach; rainfall.*

RESUMEN: *Este estudio sintetiza el análisis de la dinámica pluviométrica en la UGRHI-17 (Medio Paranapanema) entre 1945 y 2021, integrando tres enfoques metodológicos: agrupamiento jerárquico, regresión lineal simple y la prueba de Pettitt para la detección de puntos de cambio. Inicialmente, cada estación se clasificó en tres clústeres según su climatología mensual. El primer clúster, compuesto por sitios de relieve bajo (Cabrália Paulista, Rancharia y Ribeirão do Sul), mostró una tendencia creciente no significativa de 1,6 mm año⁻¹. El segundo clúster (Botucatu y Gália) presentó grandes fluctuaciones entre 1 000 mm y 1 900 mm año⁻¹, con un ligero sesgo positivo (~2 mm año⁻¹) también no significativo. En el tercer clúster, estaciones de relieve más pronunciado (Óleo, Ourinhos, Cândido Mota, Avaré e Ipaussu), se registró un incremento significativo de aproximadamente 3,2 mm año⁻¹ ($p \approx 0,005$) y una variabilidad extrema, con totales anuales inferiores a 800 mm y superiores a 2 000 mm. La prueba de Pettitt identificó un cambio de régimen común entre 1969 y 1971, marcando un salto pluviométrico que elevó ligeramente las medias anuales sin atenuar la amplitud interanual. Estos hallazgos corroboran estudios previos multifractales y de análisis de extremos en cuencas vecinas, demostrando que, aunque la variabilidad natural sigue dominando, existe un claro sesgo hacia la intensificación gradual de la precipitación, especialmente en áreas de relieve más elevado.*

PALABRAS-CLAVE: *climatología; enfoque cuantitativo; lluvias.*

INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é um sistema dinâmico que inclui a evaporação, condensação, precipitação, infiltração, escoamento superficial e armazenamento de água em diversos reservatórios naturais. Dentro desse ciclo, a precipitação pode variar significativamente em intensidade e frequência, resultando em períodos extremos como secas prolongadas ou eventos de chuvas intensas. Estes extremos climáticos supramencionados, frequentemente exacerbados pelas mudanças climáticas, afetam diretamente a disponibilidade de recursos hídricos, causando impactos econômicos, sociais e ambientais.

No Brasil, a frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos, como secas severas e chuvas intensas, têm aumentado nas últimas décadas, impulsionados por fenômenos nas escalas globais e regionais (Artaxo, 2022; Palharini *et al.*, 2022). No Sudeste brasileiro a intensificação desses extremos é particularmente notável devido à alta densidade populacional e à urbanização acelerada de algumas cidades (Bartolomei; Ribeiro; Reboita, 2023).

Sendo assim, a região enfrenta momentos com chuvas concentradas em curtos períodos, causando enchentes, deslizamentos de terra e prejuízos econômicos. Além disso,

episódios de estiagem prolongada têm comprometido a segurança hídrica (Custódio, 2015; Fontão; Ferreira, 2022; Marengo; Alves, 2015) e a geração de energia, como observado durante a crise hídrica de 2014-2015, por exemplo. Dessa forma, a investigação das tendências de eventos extremos em séries temporais a curto, médio e longo prazo é útil para compreender as dinâmicas climáticas, já que é possível identificar mudanças recentes nos padrões de precipitação nas variadas escalas.

Com isso, estudos de curto prazo são fundamentais para prever episódios extremos iminentes, como chuvas torrenciais ou secas, oferecendo suporte para ações rápidas de adaptação e proteção às populações afetadas. Por outro lado, no médio e longo prazo, o monitoramento das séries temporais ajuda a detectar mudanças sistemáticas e persistentes no clima, permitindo projetar cenários futuros e desenvolver políticas públicas eficazes (Ballarin *et al.*, 2024; Fowler *et al.*, 2023).

A região do Médio Paranapanema, que abrange partes do Oeste Paulista, é marcada por um regime climático tropical com estação chuvosa concentrada no verão e períodos de estiagem no inverno (Moraes; Nery, 2010; Silva; Praela-Pantano; Sant'anna Neto, 2008). Nesse sentido, estima-se que alterações no padrão de precipitação, como redução da frequência ou intensificação de eventos extremos, impactam diretamente a disponibilidade hídrica para irrigação, abastecimento humano e manutenção dos ecossistemas aquáticos, incluindo o próprio rio Paranapanema e seus afluentes.

Daí a relevância de adotar técnicas e métodos estatísticos para mensurar com precisão tais impactos. Os métodos estatísticos, como análises de tendência, modelagem de séries temporais e testes de significância, permitem identificar padrões consistentes e anomalias nos dados climáticos, possibilitando uma avaliação mais robusta das alterações no regime de precipitação.

Esses instrumentos também auxiliam na quantificação do risco associado a chuvas intensas, estiagens e outros fenômenos, fornecendo subsídios para o planejamento e a gestão de recursos naturais na região. O estudo de Santana *et al.* (2024) demonstrou que, no Semiárido, a tendência de aumento da aridez e a redução dos dias consecutivos úmidos são observadas, o que intensifica a vulnerabilidade hídrica e agrava a escassez de recursos hídricos.

Já Gomes *et al.* (2021) identificaram que a análise estatística, incluindo o uso de métodos como o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), a modelagem de séries temporais e o teste de Mann-Kendall, permite examinar as variações pluviométricas ao longo do tempo, evidenciando a ocorrência de anomalias e tendências. No caso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, como descrito no estudo, a variabilidade espacial e temporal da precipitação revelou a presença de períodos com pluviometria significativamente elevada ou reduzida,

como os anos de 2008 e 2014, que apresentam eventos extremos de chuva e seca, respectivamente.

Em Ferreira e Valverde (2022), com base nas simulações dos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, a pesquisa revelou que para o futuro próximo (2006-2040), há uma tendência de aumento nos dias consecutivos secos (CDD) e uma diminuição na intensidade da precipitação, especialmente nos índices de chuva extrema como R95p e Rx1day. Segundo a autora, os resultados sugerem um aumento nas secas e uma menor intensidade de chuvas pesadas, o que pode ter impactos significativos na gestão de recursos hídricos, com implicações diretas para o abastecimento de água, especialmente em regiões urbanas como a Grande São Paulo.

Vê-se que todos esses estudos são compatíveis com a importância de utilizar dados quantitativos e técnicas estatísticas para identificar e compreender os problemas reais associados às questões climáticas e seus impactos no regime de precipitação.

Através da modelagem de séries temporais, análise de tendência e aplicação de testes de significância, é possível não apenas monitorar as variações pluviométricas ao longo do tempo, mas também antecipar fenômenos extremos, como secas e chuvas intensas, que afetam diretamente as bacias hidrográficas e a disponibilidade de recursos hídricos. Outras abordagens incluem técnicas baseadas em modelagem, como análise de regressão linear, que é útil para detectar tendências lineares em séries temporais e avaliar a relação entre variáveis climáticas.

Recentemente, algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais, também têm sido explorados para identificar tendências não lineares e prever cenários futuros. A combinação dessas técnicas com análises estatísticas tradicionais oferece uma abordagem para investigar séries contínuas e descontínuas e guiar estratégias de adaptação (Ashan, 2024; Cabral Júnior; Lucena, 2020; Madane; Bankey; Sharda, 2024). Logo, o objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica pluviométrica da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17) no período de 1945 a 2021, utilizando técnicas de clusterização hierárquica, regressão linear simples e detecção de rupturas com o teste de Pettitt.

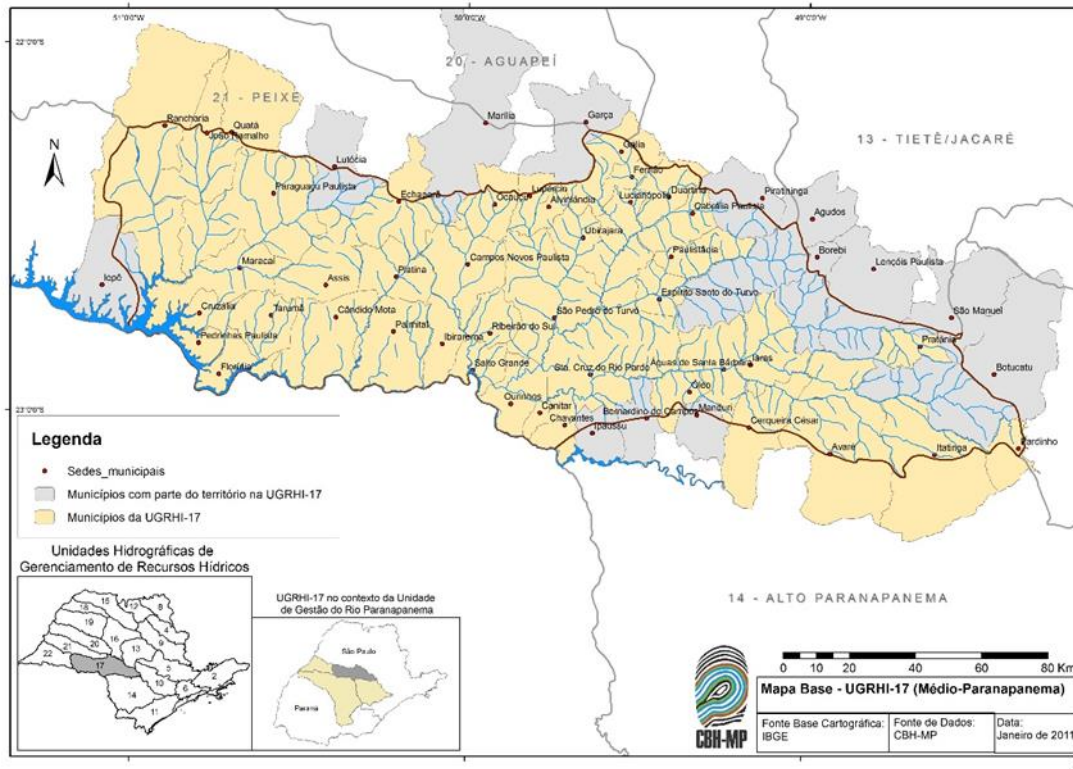
ÁREA DE ESTUDO

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17) compreende uma área de 16.749 quilômetros quadrados, abrangendo os afluentes situados na margem direita do trecho médio do Rio Paranapanema. Dentre os principais

cursos d'água presentes na UGRHI-17, destacam-se o Rio Pardo, o Rio Turvo, o Rio Capivara, o Rio Novo e o Rio Pari.

A Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo, instituída pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (São Paulo, 1994), determinou que fazem parte da UGRHI-17 os municípios cujas sedes estão localizadas dentro (e parcialmente dentro) de sua área de abrangência (que são demonstrados na figura 1).

Figura 1 – Localização da UGRHI – 17 com municípios integrantes



Fonte: CBH – MP (2011).

A rede de drenagem é densa e de padrão dendrítico, com o rio Paranapanema correndo longitudinalmente no sopé dos escarpamentos, recebendo dezenas de tributários de pequenos e médios porte, como o rio Óleo, rio Aguapeí (na porção norte) e afluentes vindos do planalto, que formam um mosaico de drenagem bem distribuído. Essa organização hidrográfica, aliada ao relevo acentuado, dá origem a quedas e corredeiras em trechos mais inclinados e a meandros suaves nos trechos de menor declividade.

No que concerne à geomorfologia, toda a área situa-se no Planalto Ocidental Paulista, uma das principais cumeeiras da Bacia Sedimentar do Paraná, que ocupa quase metade do território estadual com altitudes variando entre cerca de 300 e 100 metros. Conforme Ross (2011), esses planaltos apresentam-se como “formas residuais”, pois estão rodeados por vastas depressões que evidenciam os relevos mais elevados. O autor também destaca que,

em bacias sedimentares, esses topos costumam ser margeados por depressões periféricas, e o encontro entre os dois dá origem aos escarpamentos típicos das frentes em cuestras.

O clima local é de transição entre tropical e subtropical, classificado principalmente como Aw (verão chuvoso e inverno seco) ou Cwa/Cfa, com médias anuais de precipitação entre 1 200 e 1 800 milímetros e marcadas concentrações nos meses de dezembro a março (Dubreuil *et al.*, 2019). Essa estação chuvosa coincide com o período mais quente do ano, quando a umidade advinda da Amazônia e do Pantanal interage com frentes frias de origem polar, produzindo chuvas intensas, muitas vezes orográficas, nas encostas do planalto.

Quanto ao uso do solo, prevalecem áreas agrícolas, cana-de-açúcar, soja, milho e culturas rotativas, intercaladas com remanescentes de cerrado e matas de galeria ao longo dos rios. Nos topos e encostas, solos latossólicos profundos, de coloração avermelhada, sustentam lavouras extensivas, enquanto nos vales de inundação ocorrem neossolos aluviais mais férteis (Trombeta *et al.*, 2014). Essa combinação de relevo, drenagem e clima explica tanto a grande variabilidade anual de precipitação, com secas de inverno bem definidas e picos de chuva no verão, quanto a sensibilidade da região a regimes de chuva prolongada ou de eventos convectivos localizados.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados secundários de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos a partir do portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2025), que disponibiliza informações hidrometeorológicas detalhadas e confiáveis para análise e pesquisa. O recorte espacial dos dados foi realizado com base nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI).

Após a coleta, os dados foram tabulados e organizados em planilhas Excel para facilitar o processamento e a análise. O recorte temporal adotado para todos os postos pluviométricos foi de 1945 a 2021, o que permitiu a realização de uma análise interdecadal abrangente e consistente.

A metodologia utilizada para preencher os valores ausentes na série histórica foi a interpolação linear pelo método da ponderação regional, conforme descrito por Tucci (2002), uma técnica estatística amplamente usada para estimar valores entre dois pontos conhecidos em uma sequência de dados. Para cada valor ausente, o método calcula a média ponderada dos valores adjacentes conhecidos. A fórmula básica é:

$$Px = (\sum (ri \times Pi)) / (\sum ri)$$

Onde:

- **P_x** = precipitação estimada no posto com falha
- **P_i** = precipitação observada nos postos vizinhos
- **ri** = coeficiente de correlação entre o posto com falha e o posto i
- **n** = número de postos utilizados

Após o preenchimento das falhas, o conjunto de dados foi revisado para garantir que os valores interpolados se ajustassem adequadamente à sequência temporal, mantendo a coerência interna da série e a compatibilidade com o comportamento histórico da precipitação. Desse modo, os postos pluviométricos selecionados foram os descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Postos pluviométricos do DAEE – SP aproveitados no estudo

Município	Código - DAEE	X	Y
Botucatu	D5-029	22° 52' 10"	48° 39' 16"
Oleo	D6-003	22° 57' 00"	49° 23' 00"
Ourinhos	D6-011	22° 59' 00"	49° 50' 00"
Gália	D6-019	22° 18' 23"	49° 31' 50"
Cabralia	D6-021	22° 27' 00"	49° 19' 00"
Ribeirão do Sul	D6-032	22° 47' 00"	49° 56' 00"
Cândido Mota	D7-031	22° 52' 57"	50° 19' 46"
Rancharia	D7-036	22° 14' 09"	50° 53' 20"
Echaporã	D7-046	22° 25' 52"	50° 11' 55"
Avaré	E5-014	23° 05' 58"	48° 54' 44"
Ipaussu	E6-007	23° 01' 45"	49° 34' 05"

Fonte: Organizado pela autora (2025).

O método de regressão linear é uma técnica estatística utilizada para modelar a relação entre uma variável dependente, no caso, a precipitação observada, e uma variável independente, representada pelo tempo em anos. A abordagem aplicada foi a regressão linear simples, cuja equação é dada por: $y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$. Onde y é a variável dependente, x é a variável independente, β_0 representa o intercepto, β_1 é o coeficiente angular que indica a taxa de variação da precipitação ao longo do tempo, e ϵ é o termo de erro que considera variações não explicadas pelo modelo.

Para ajustar o modelo, utilizou-se o método dos mínimos quadrados, que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores estimados, garantindo que a linha ajustada seja a melhor representação dos dados (Christofletti, 1992; Fontão, 2017). Posteriormente, foram calculados os limites de confiança e predição para os valores observados (Back, 2001; Caballero *et al.*, 2018). O limite de confiança (Conf.) é usado para quantificar a incerteza da estimativa da reta de regressão, fornecendo um intervalo dentro do qual esperamos que a verdadeira reta de regressão se encontre, com um determinado nível de confiança:

$$L.Conf. = Y^{\wedge} \pm t_{\alpha/2} \cdot SY^{\wedge}$$

Onde:

- Y^{\wedge} é a estimativa da variável dependente (precipitação) para um valor específico de xxx (ano),
- T_{α} é o valor crítico da distribuição t de Student (usado para um intervalo de confiança de 95%),
- SY^{\wedge} é o erro padrão da estimativa (calculado como o desvio padrão da reta de regressão).

O limite de predição calcula o intervalo dentro do qual esperamos que as observações futuras se encontrem para um dado valor de x, com um nível de confiança especificado. Ele leva em consideração tanto a variabilidade dos dados em torno da reta de regressão quanto a incerteza associada à estimativa da reta.

$$L.Pred.=Y^{\wedge} \pm t_{\alpha/2} \cdot SY$$

Onde:

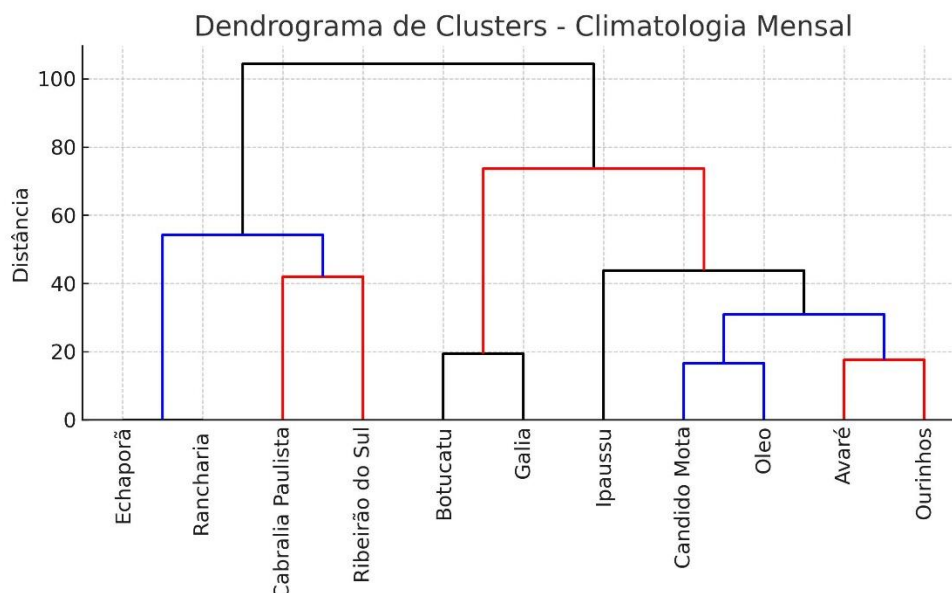
- Y^{\wedge} é a estimativa da variável dependente (precipitação) para um valor específico de x (ano),
- $T_{\alpha} / 2$ é o valor crítico da distribuição t de Student (usados para um intervalo de confiança de 95%),
- SY^{\wedge} é o erro padrão da estimativa (calculado como o desvio padrão da reta de regressão).

A segmentação desses postos em grupos foi realizada considerando vetores de dimensão que foram submetidos a um algoritmo de agrupamento hierárquico pelo método de Ward (Lima *et al.*, 2021; Modarres; Sarhadi, 2011; Moraes, 2012; Muñoz-Díaz; Rodrigo, 2004; Salhi *et al.*, 2024), que associa iterativamente os pares de estações com perfis mais semelhantes, resultando no dendrograma. Nele, foram definidos três clusters cortando o ramo principal em um nível que produziu três grupos coerentes em termos de sazonalidade. Em seguida, para cada estação, foram somados os 12 valores mensais de cada ano, criando uma série de totais anuais. Para cada um dos três clusters formados, foi calculada a média aritmética das séries anuais de todas as estações pertencentes ao mesmo grupo (figura 2), obtendo assim três séries de precipitação média anual representativas de cada cluster.

Por fim, aplicou-se o teste de Pettitt (Debortoli *et al.*, 2015; Silva; Bolonhez; Pinheiro, 2024; Yacoub; Tayfur, 2019) a cada série média anual para identificar o ponto em que ocorre a ruptura na média de longo prazo. O algoritmo de Pettitt compara, para cada possível divisão temporal, o número de pares de valores abaixo e acima desse ponto, encontrando o ano que

maximiza a estatística de descontinuidade. Em um gráfico final para cada cluster, plotamos a série média anual em preto e marcamos o ano de ruptura com uma linha vertical vermelha.

Figura 2 – Dendrograma construído para a definição dos clusters



Fonte: Organizado pela autora (2025).

Dessa forma, todo o fluxo da construção do dendrograma, passando pela definição de clusters, pela regressão linear com IC e IP e pela detecção de mudança está alinhado em uma sequência lógica, permitindo tanto a comparação espacial dos perfis de precipitação quanto a análise temporal das tendências e dos regimes pluviométricos.

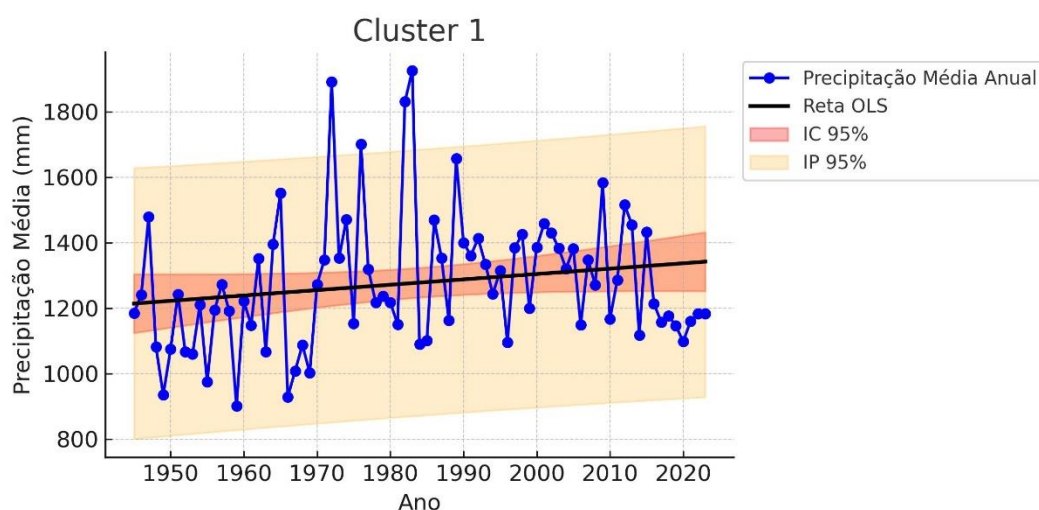
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A clusterização das estações pluviométricas, baseada em seu perfil médio mensal de precipitação, revelou três grupos distintos cujas séries anuais foram então submetidas a regressão linear simples ao longo do período de 1945 a 2021. No primeiro agrupamento (figura 3), composto por estações como Cabralia Paulista, Rancharia e Ribeirão do Sul, a estimação por mínimos quadrados indicou uma inclinação de aproximadamente 1,6 milímetros por ano. Apesar dessa ligeira tendência ascendente, o coeficiente de determinação ($R^2 \approx 0,03$) mostra que apenas 3% da variabilidade interanual se deve ao efeito do tempo, e o p-valor em torno de 0,11 não permitiu descartar com 95 % de confiança a hipótese nula de ausência de tendência.

Os resultados do Cluster 2 (figura 4), formado pelas estações de Botucatu e Gália, mostram uma precipitação anual média que oscila entre cerca de 1 000 milímetros nos anos mais secos e quase 1 900 milímetros nos anos de chuvas extremas, com uma média histórica

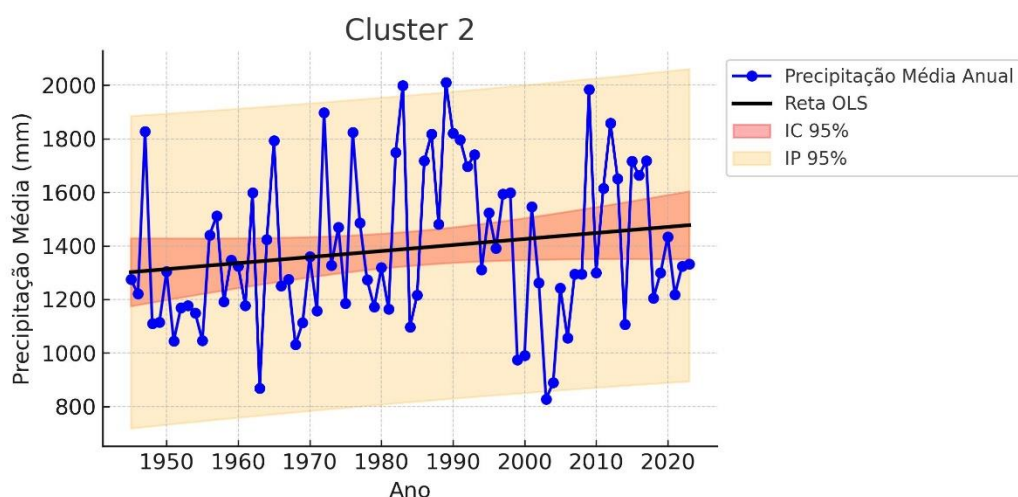
que se aproxima de 1 250 milímetros ao longo de várias décadas. Esses valores se alinham razoavelmente bem com a normal climatológica de 1991–2020 reportada para Botucatu no artigo de Franco *et al.*, (2023), que registrou uma precipitação média anual de 1.534 milímetros distribuída em aproximadamente 107 dias de chuva ao ano. A diferença entre os 1 250 milímetros médios do Cluster 2 e os 1.534 milímetros do artigo pode refletir tanto variações locais em Gália quanto o fato de que o Cluster 2 suaviza extremos ao fazer a média de duas estações.

Figura 3 – Tendências de precipitação média nas estações pluviométricas de Cabrália Paulista, Rancharia e Ribeirão do Sul



Fonte: Organizado pela autora (2025).

Figura 4 – Tendências de precipitação média nas estações de Botucatu e Gália



Fonte: Organizado pela autora (2025).

Em termos de tendência de longo prazo, o Cluster 2 apresentou um pequeno aumento de cerca de 2 milímetros por ano, mas sem significância estatística a 5%. O artigo de Franco

et al. (2023) mostra que as normais climatológicas de 1991–2020 registraram um leve aumento tanto na precipitação quanto na temperatura média, motivando a mudança de Cfa/Cwa para Aw. O sinal de tendência fraco do presente estudo, porém positivo, está em consonância com essa “tropicalização” gradual da região, ainda que a intensidade e regularidade das chuvas continuem predominantemente controladas por eventos frontais e convectivos de curta duração (Boin, 2000; Boin; Zavattini; Mendes, 2002; Bonfim *et al.*, 2020).

Terassi, Silveira e Graça (2016) usou tipologias estáticas para mapear o clima em 1976–2012, a presente abordagem de clusterização, regressão e ruptura oferece uma perspectiva dinâmica, mostrando não apenas quais estações compartilham um mesmo tipo climático, mas quando (início dos anos 1970) esse tipo, provavelmente, se consolidou. Nessa perspectiva, a convergência entre classificação qualitativa e diagnóstico quantitativo fortalece a interpretação de que a região Sul de Botucatu – Gália transita cada vez mais para um regime tropical com inverno seco.

O Cluster 3 agrupou estações com forte relevo e dinâmica convectiva (Óleo, Ourinhos, Cândido Mota, Avaré e Ipaussu), e apresentou oscilações anuais muito pronunciadas. A reta de tendência mostrou um aumento médio de aproximadamente 3,2 milímetros por ano; enquanto em 1945 a precipitação média anual era em torno de 1.250 milímetros, em 2021 esse valor subiu para cerca de 1.550 milímetros. Esse ganho gradual, embora moderado, foi estatisticamente significativo ($p \approx 0,005$), sugerindo que fatores de longo prazo vêm reforçando a chuva nessa região.

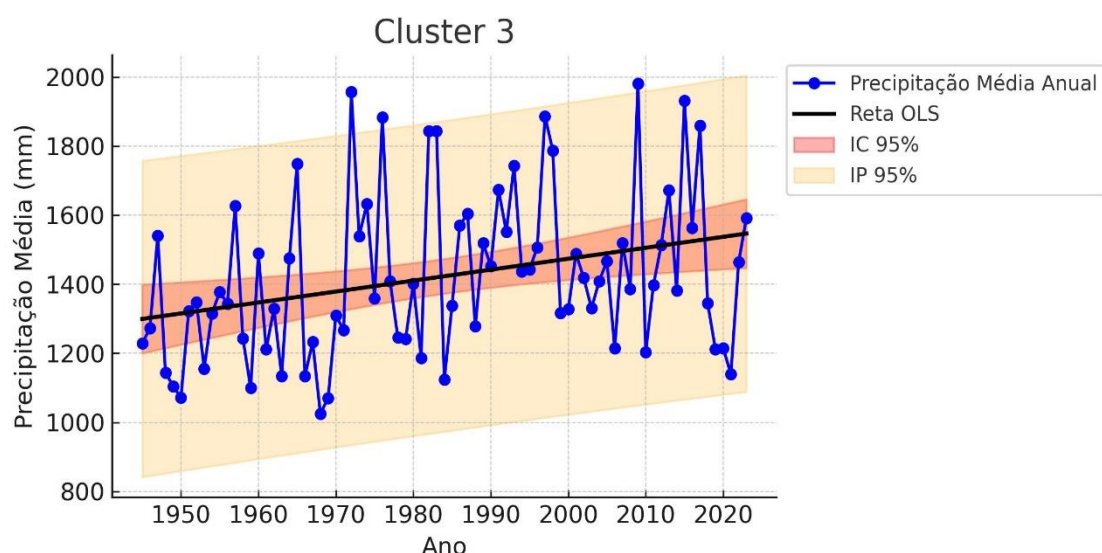
Além disso, esses padrões retratam bem a “irregularidade interanual” descrita por Silva, Praela-Pantano e Sant’anna Neto (2008) no Médio Paranapanema, onde a faixa de transição entre climas tropicais e extratropicais gera justamente essa variabilidade acentuada. A faixa vermelha, que corresponde ao intervalo de confiança de 95%, é relativamente estreita em torno da reta, indicando que o parâmetro de inclinação é estimado com boa precisão. Em contraste, a larga faixa laranja do intervalo de predição (IP 95%) estende-se de menos de 800 milímetros até acima de 2.000 milímetros, deixando claro que, apesar de ser reconhecido o viés de aumento, a incerteza ano a ano permanece (figura 5).

Enquanto Nery e Alves (2009) não investigaram diretamente tendências lineares, Christofolletti *et al.*, (2019) aplicaram modelos de extremos e fractalidade à mesma região e sugeriram um leve aumento nos índices de chuva extrema ao longo das décadas. O achado de uma inclinação estatisticamente significativa de +3,2 mm/ano no Cluster 3 corrobora essa hipótese de intensificação gradual dos processos convectivos, possivelmente impulsionados por mudanças na disponibilidade de vapor d’água e na dinâmica atmosférica de grande escala.

Posteriormente, o teste de Pettitt aplicado às séries anuais médias de cada cluster identificou uma quebra de regime muito próxima entre os três grupos, ocorrendo no final da

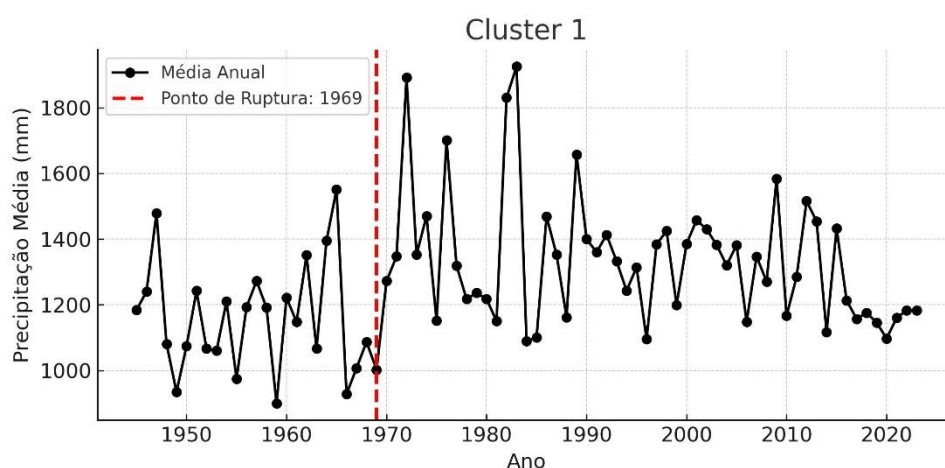
década de 1960 e início dos anos 1970. No Cluster 1, o ano de maior descontinuidade foi 1969 ($p \approx 0,02$), de modo que a partir desse ponto observa-se uma sequência de totais pluviométricos ligeiramente mais altos e mais estáveis em relação ao período anterior, quando a média anual raramente superava 1.300 milímetros (figura 6).

Figura 5 – Tendências de precipitação média nas estações de Ourinhos, Cândido Mota, Avaré e Ipaussu



Fonte: Organizado pela autora (2025).

Figura 6 – Resultados do teste de Pettitt com ponto de ruptura para as estações de Cabralia Paulista, Rancharia e Ribeirão do Sul

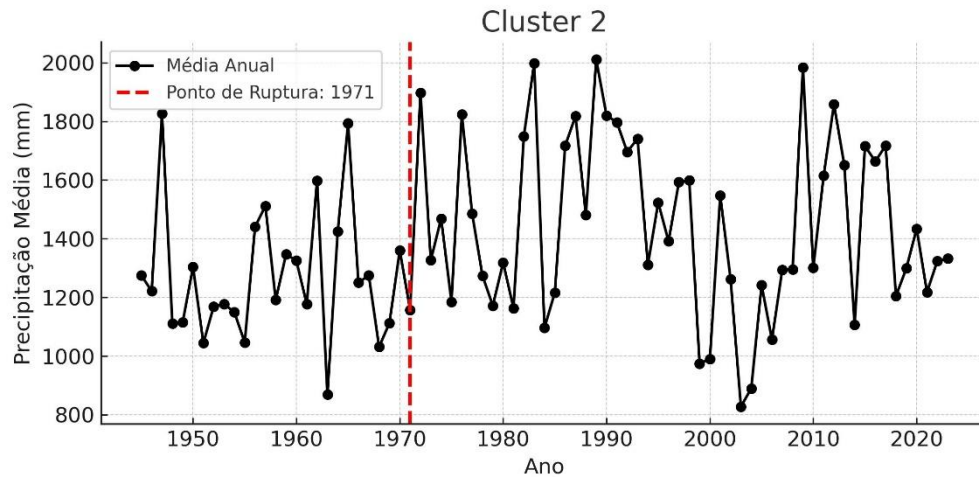


Fonte: Organizado pela autora (2025).

Para o Cluster 2, o teste sinalizou 1971 como ano de ruptura ($p \approx 0,03$). Antes de 1971, a série oscilava entre cerca de 1.000 milímetros e 1.800 milímetros sem um padrão claro; após esse ponto nota-se uma ligeira elevação na linha de tendência e um padrão de valores

altos mais frequentes, ainda que a variabilidade extrema permaneça característica deste grupo (figura 7).

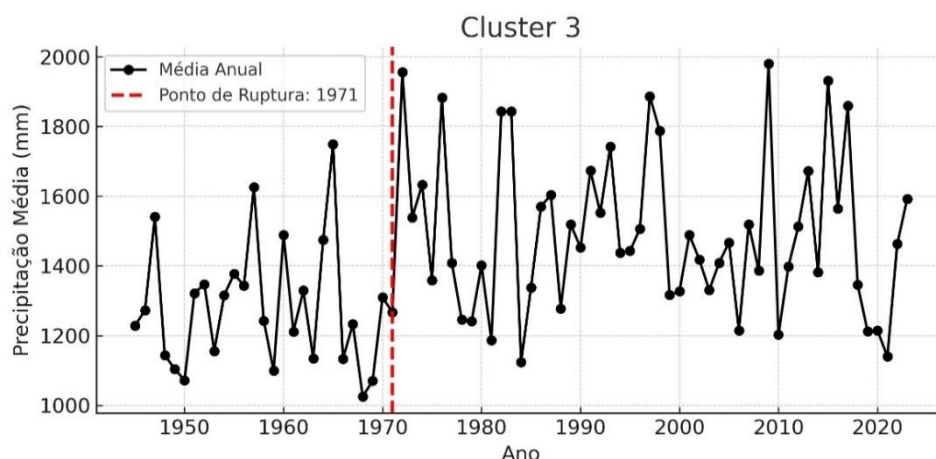
Figura 7 – Resultados do teste de Pettitt com ponto de ruptura para as estações de Botucatu e Gália



Fonte: Organizado pela autora (2025).

No Cluster 3 (figura 8), novamente 1971 apareceu como ponto crítico, desta vez com $p \approx 0,005$, o que reforça a robustez da ruptura nesse conjunto de estações com forte influência orográfica e convectiva. A partir de 1971, os anos mais úmidos, aqueles próximos a 2.000 milímetros, tornaram-se relativamente mais comuns, ao passo que a frequência de anos muito secos diminuiu de forma perceptível.

Figura 8 – Resultados do teste de Pettitt com ponto de ruptura para as estações de Ourinhos, Cândido Mota, Avaré e Ipaussu



Fonte: Organizado pela autora (2025).

Em relação à variabilidade interanual, o trabalho de Moraes e Nery (2010) identificou nove “anos úmidos” fortemente influenciados por El Niño e intensificação da ZCAS (1972,

1974, 1976, 1982, 1983, 1986, 1989, 1991 e 1997). Sob essa ótica, os testes de Pettitt da presente pesquisa para cada cluster apontou rupturas em torno de 1969–1971, anteriores ao primeiro desses anos úmidos, sugerindo que a partir desse ponto a região passou a operar sob um regime mais pronunciado em anos de chuva acima da média. Esse alinhamento temporal corrobora que os eventos ENOS descritos no artigo não são meros picos isolados na série, mas indicam uma transição de regime climatológico.

A análise de Avanzi (2016) sobre o período hidrológico de 2013–2014 mostrou que a bacia do Médio Paranapanema sofreu um déficit generalizado de chuva, com anomalias entre –35 % e –5 % em relação à média de 2000–2010, sendo as áreas de cabeceira (Botucatu, Itatinga, Pratânia, Avaré e Lençóis Paulista) as mais afetadas. Ao cruzar esses achados espaciais com o agrupamento em clusters e o teste de Pettitt, algumas complementaridades ficam evidentes.

Primeiro, os grupos de estações que foram definidos por semelhança de climatologia mensal, em particular o Cluster 2, que inclui Botucatu e arredores, concentram boa parte das nascentes que Avanzi (2016) identificou como as mais impactadas.

Embora o teste de Pettitt tenha detectado rupturas de regime já em 1971 para esse cluster, o evento de 2013/14 representou uma anomalia extrema dentro do novo patamar pluviométrico pós-ruptura, acentuando a sensibilidade dessa sub-região a eventos de déficit agudo. Em segundo lugar, o teste de Pettitt apontou que, para todos os clusters, houve uma mudança significativa no início da década de 1970, indicando um “salto” de regime que elevou ligeiramente as médias anuais de precipitação.

Esse reposicionamento de base sugere que o sistema pluviométrico da UGRHI-17 entrou em uma fase mais úmida de longa duração, mas sem reduzir a variabilidade interanual. Assim, o extremo de 2013/14, capturado com detalhes espaciais pelas interpolações via TRMM e krigagem de Avanzi (2016), se insere em um contexto de variabilidade ampliada, onde agora convivem médias mais altas e déficits localizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação forneceu uma visão integrada da variabilidade pluviométrica na UGRHI-17, combinando clusterização hierárquica, análise de tendências e detecção de rupturas de regime. Os três clusters resultantes destacaram perfis sazonais distintos, os quais se refletiram em comportamentos anuais bem caracterizados: leves aumentos lineares em todos os grupos, porém estatisticamente significativos apenas nas estações de relevo acentuado (Cluster 3), e mudança de patamar generalizada por volta de 1970, com posterior convivência entre médias elevadas e déficits.

Esses achados corroboram e ampliam as conclusões de estudos anteriores, demonstrando que a heterogeneidade espacial e as transições de regime não são fenômenos isolados, mas sim componentes centrais da dinâmica hidroclimática regional. Entretanto, a metodologia adotada apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Em primeiro lugar, a clusterização baseou-se exclusivamente na climatologia média mensal, o que pode ocultar padrões de variabilidade de frequência ou intensidade de eventos extremos que não se refletem no perfil mensal.

Ainda que a comparação com eventos El Niño e ZCAS tenha sido feita de forma qualitativa, não foram incorporados índices climáticos diretamente nas análises de tendência ou quebra de regime. Isso impede avaliar quantitativamente a influência de teleconexões e forçantes externas sobre as séries pluviométricas. Do mesmo modo, não foram consideradas variáveis de uso do solo, cobertura vegetal ou temperatura, todas elas potencialmente relevantes para entender mecanismos de mudança local.

Como perspectivas para pesquisas futuras, sugere-se a integração de modelos de séries temporais multivariados (por exemplo, ARIMAX ou VAR) que incluam índices ENSO, NAO e IOD como preditores. Adicionalmente, a aplicação de técnicas de detecção de múltiplas rupturas pode revelar transições de regime não captadas pelo teste de Pettitt. Outra via promissora é a extensão da análise para a escala diária ou sazonal, tanto para investigar padrões de extremos via EVT quanto para entender melhor a sazonalidade intragrupal, utilizando regressão quantílica aplicada a séries mensais.

REFERÊNCIAS

- ARTAXO, Paulo. Oportunidades e vulnerabilidades do Brasil nas questões do clima e da sustentabilidade. **Revista USP**, São Paulo, n. 135, p. 119-136, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i135p119-136>.
- ASHAN, Sadik. Non-monotonic trend analysis using Mann-Kendall with self-quantiles. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlim, v. 155, n. 2, p. 901-910, Oct. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04666-z>.
- AVANZI, André Athayde. **Análise do regime pluviométrico na região hidrográfica do médio Paranapanema (UGRHI-17) no ano hidrológico 2013/2014**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ourinhos, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/155790>. Acesso em: 13 maio 2025.
- BACK, Álvaro José. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>.
- BALLARIN, André; WENDLAND, Edson; ZAERPOUR, Masoud; HATAMI, Shadi; MEIRA NETO, Antônio A.; PAPALEXIOU, Simon Michael. Frequency rather than intensity drives projected changes of rainfall events in Brazil. **Earth's Future**, Hoboken, v. 12, n. 1, p. 1-15, Jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023EF004053>.

BARTOLOMEI, Fabiana da Rocha; RIBEIRO, João Gabriel Martins; REBOITA, Michelle Simões. Eventos extremos de precipitação no Sudeste do Brasil: verão 2021/2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 5, p. 2658-2676, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2658-2676>.

BOIN, Marcos Norberto. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102872>.

BOIN, Marcos Norberto; ZAVATTINI, João Afonso; MENDES, Iandara Alves. Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada. **Geografia**, Rio Claro, v. 27, n. 1, p. 95-118, out. 2002. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1757>. Acesso em: 13 maio 2025.

BONFIM, Osmar Evandro Toledo; SILVA, Djane Fonseca da; KAYANO, Mary Toshie; ROCHA, Lucas Henrique dos Santos. Análise dos eventos climáticos extremos e de suas causas climáticas para redução de riscos nas bacias hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. 1, p. 755-768, 2020.

CABALLERO, Cássia Brocca; OGASSAWARA, Jéssica Fernanda; DORNELES, Viviane Rodrigues; NUNES, André Becker. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 4, p. 1429-1441, out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1429-1441>.

CABRAL JÚNIOR, Jório Bezerra; LUCENA, Rebecca Luna. Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, p. 1-14, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>.

CBH – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Início**. Marília: CBHMP, 2011. Disponível em: <https://cbhmp.org/>. Acesso em: 13 maio 2025.

CHRISTOFOLETTI, Anderson Luis Hebling; FONTÃO, Pedro Augusto Breda; AZEVEDO, Thiago Salomão de; MAIA, Diego Correa; NASCIMENTO, Melchior Carlos do; MEGDA, Otávio Reis. Análise da precipitação através do uso de técnicas multifractal em períodos chuvosos e secos no médio e baixo curso das bacias dos rios Tietê e Paranapanema (SP). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p.1-19, 2019.

CHRISTOFOLETTI, Anderson Luis Hebling. Procedimentos de análise utilizados no estudo da precipitação. **Geociências**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 75-98, mar. 1992. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.57491>.

CUSTÓDIO, Vanderli. A crise hídrica na região metropolitana de São Paulo (2014-2015). **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 445-463, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2015.102136>.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Hidrologia: banco de dados hidrológicos. São Paulo: DAEE, 2025. Disponível em: <https://hidrologia.spaguas.sp.gov.br/>. Acesso em: 13 maio 2025.

DEBORTOLI, Nathan dos Santo; DUBREUIL, Vincent; FUNATSU, Beatriz; DELAHAYE, Florian; OLIVEIRA, Carlos Henke de; RODRIGUES-FILHO, Saulo; SAITO, Carlos Hiroo; FETTER, Raquel. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971-2010). **Climatic Change**, Berlin, v. 132, n. 2, p. 251-264, May 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1415-1>.

DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON, Olivier; SANT'ANNA NETO, João Lima. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types

Geografia (Londrina) v. 35. n. 1. pp. 291 – 309, janeiro/2026.



frequency. **International Journal of Climatology**, Hoboken, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5893>.

FERREIRA, Briane Carla Coppi; VALVERDE, Maria Cleofé. Análise dos índices de extremos de precipitação em cenários futuros na bacia do rio Ribeira de Iguape - São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 37, p. 41-55, jan./mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786370067>.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda. Regionalização e tendências pluviométricas na bacia do Rio Pardo (SP/MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1-10. Disponível em: <https://www.neopixdmi.com/app/sbrhxxi/trabalhos/PAP020761.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2025.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda; FERREIRA, Rafaela Melissa Andrade. As chuvas no sistema cantareira: avaliação dos reflexos no manancial visando a segurança hídrica da região metropolitana de São Paulo. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v. 12, n. 2, p. 218-238, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2022.v12.39225>.

FWLER, Hayley; BLENKINSOP, Stephen; GREEN, Amy; DAVIES, Paul A. Precipitation extremes in 2023. **Nature Reviews Earth & Environment**, Berlin, v. 5, n. 4, p. 250-252, Apr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00547-9>.

FRANCO, José Rafael; DAL PAI, Enzo; CALÇA, Marcus Vinícius Contes; RANIERO, Matheus Rodrigues; DAL PAI, Alexandre; SARNIGHAUSEN, Valeria Cristina Rodrigues; ROMÁN, Rodrigo Máximo Sánchez. Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. **Irriga**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 77-92, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n1p77-92>.

GOMES, Fernanda Bento Rosa; VARGAS, Isabela Salgado; PROCÓPIO, Aline Sarmento; CASTRO, Samuel Rodrigues; RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 365-390, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74380>.

LIMA, Allana Oliveira; LYRA, Gustavo Bastos; ABREU, Marcelo Carvalho; OLIVEIRA-JÚNIOR, José Francisco; ZERI, Marcelo; CUNHA-ZERI, Gisleine. Extreme rainfall events over Rio de Janeiro State, Brazil: characterization using probability distribution functions and clustering analysis. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 247, p. 105-221, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105221>.

MADANE, Dnyaneshwar Arjun; BANKEY, Hritik; SHARDA, Rakesh. Spatio-temporal variations of reference evapotranspiration using Innovative and Mann-Kendall trend analysis under limited weather data in semi-arid region of Indian Punjab. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlin, v. 155, p. 1-22, May 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05020-7>.

MARENGO, Jose Antonio; ALVES, Lincoln. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 485-494, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2015.100879>.

MODARRES, Reza; SARHADI, Ali. Statistically-based regionalization of rainfall climates of Iran. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 75, n. 1/2, p. 67-75, Jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.10.009>.

MORAES, Mariana de Paula Costa. **Variabilidade da precipitação pluvial na unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI) do médio Paranapanema**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e1148835-74eb-4bd0-b586-298d3f2b783a/content>. Acesso em: 13 maio 2025.

MORAES, Mariana de Paula Costa; NERY, Jonas Teixeira. Variabilidade da precipitação na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do médio Paranapanema. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 7, p. 1-14, set. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v7i0.25660>.

MUÑOZ-DIAZ, David; RODRIGO, Fernando S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. **Annales Geophysicae**, Munich, v. 22, p. 1435-1448, Apr. 2004. DOI: <https://doi.org/10.5194/angeo-22-1435-2004>.

NERY, Jonas Teixeira; ALVES, Rosangela Teles. Variabilidade da precipitação pluvial na UGRH do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 93-102, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v31i1.3916>.

PALHARINI, Rayana; VILA, Daniel; RODRIGUES, Daniele; PALHARINI, Rodrigo; MATTOS, Enrique; UNDURRAGA, Eduardo. Analysis of extreme rainfall and natural disasters events using satellite precipitation products in different regions of Brazil. **Atmosphere**, Basel, v. 13, n. 10, p. 1-26, Oct. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13101680>.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2011.

SALHI, Hicham; HADJIRA, Abdelmounaim; BELKHIRI, Lazhar; TIRI, Ammar; MOUNI, Lotfi. Evaluation of the spatial distribution of the extreme rainfall across Algeria country. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 83, n. 14, p. 440-445, July 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11746-4>.

SANTANA, Alexandre Carlos Araújo de; RODRIGUES JÚNIOR, Jocimar Coutinho; BARROS, Timóteo Herculino da Silva; ROCHA, Níveo; BENDER, Fabiani Denise; CIRILO, José Almir; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de. Estudo de tendência de mudanças climáticas, eventos extremos e análise comparativa entre dois municípios de regiões distintas do semiárido pernambucano. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 28, p. 1-33, dez. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499486280>.

SÃO PAULO. **Lei n. 9.034, de 27 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre o plano estadual de recursos hídricos - PERH, a ser implantado no período de 1994 e 1995, em conformidade com a lei n. 7.663, de 30 de dezembro de 1991. São Paulo: Assembleia Legislativa, 1994. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1994/lei-9034-27.12.1994.html>. Acesso em: 13 maio 2025.

SILVA, André Rodrigues; BOLONHEZ, Bruna Forestieri; PINHEIRO, Hemerson Donizete. Homogeneity analysis of daily precipitation series in Paraná State, Southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlin, v. 155, n. 8, p. 8077-8088, July 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05119-x>.

SILVA, Daniela Fernanda da; PRELA-PANTANO, Angélica; SANT'ANNA NETO, João Lima. Variabilidade da precipitação e produtividade agrícola na região do médio Paranapanema, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 3, p.1-16, ago. 2008. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25431>.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas; SILVEIRA, Hélio; GRAÇA, Carlos Henrique da. Regiões pluviométricas homogêneas e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV: Paraná/homogeneous rainfall regions and rainfall erosivity in the hydrographic unit Pirapó, Paranapanema III and IV hydrographic (...). **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 46, p. 507-521, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2016v26n46p507>.

TROMBETA, Letícia Roberta; GARCIA, Renata Marchi; NUNES, Rafael Silva; GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia; LEAL, Antonio Cezar; GOUVEIA, Joé Mariano Caccia. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**,

Presidente Prudente, v. 1, n. 36, p. 159-173, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3178>. Acesso em: 4 jan. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Regionalização de vazão**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

YACOUB, Ely; TAYFUR, Gokmen. Trend analysis of temperature and precipitation in Trarza region of Mauritania. **Journal of Water and Climate Change**, London, v. 10, n. 3, p. 484-493, June 2019. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.007>.

Recebido: fevereiro de 2025.

Aceito: maio de 2025.