

## **ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA EM PERNAMBUCO: ESTIMATIVAS DE NÍVEIS DE RETORNO E TENDÊNCIAS TEMPORAIS**



***Statistical analysis of daily maximum precipitation in Pernambuco:  
estimates of return levels and temporal trends***

***Análisis estadístico de la precipitación máxima diaria en Pernambuco:  
estimaciones de niveles de retorno y tendencias temporales***

**Rene Vieira Azevedo de Souza**

Universidade Federal da Grande Dourados,  
Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil  
E-mail: rene.souza054@academico.ufgd.edu.br

**Elias Silva de Medeiros**

Universidade Federal da Grande Dourados,  
Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil  
E-mail: eliasmedeiros@ufgd.edu.br

### **RESUMO**

Este artigo apresenta uma análise das precipitações máximas diárias no estado de Pernambuco, com o objetivo de identificar tendências temporais e estimar níveis de retorno para eventos extremos de precipitação. Foram utilizados dados de 165 estações pluviométricas, com no mínimo 70% de completude, no período de 1995 a 2024, obtidos no site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Inicialmente, foram calculadas as médias das precipitações máximas diárias e aplicado o teste de Mann-Kendall para a detecção de tendências nas séries históricas. Os resultados foram espacializados por meio de mapas elaborados no software R, permitindo visualizar as médias pluviométricas e identificar as séries com tendências estatisticamente significativas, totalizando 21 estações com valor p do teste de Mann-Kendall inferior a 0,05. Para essas estações, foi ajustado o modelo de distribuição de Gumbel, a fim de estimar os parâmetros de locação e escala, os quais refletem, respectivamente, a locação e a escala dos eventos extremos. A análise do parâmetro de locação possibilitou avaliar a evolução temporal das chuvas máximas diárias. Adicionalmente, foram realizadas projeções das precipitações máximas para períodos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos em todas as 21 estações analisadas. Os maiores valores estimados entre essas estações foram de 147,9 mm, 171,7 mm, 201,0 mm e 239,0 mm, respectivamente, evidenciando regiões com maior propensão à ocorrência de eventos extremos. Os resultados obtidos fornecem subsídios relevantes para o planejamento de ações preventivas e para a formulação de estratégias de mitigação de desastres hidrológicos no estado de Pernambuco.

**Palavras-chave:** Eventos extremos. Gumbel. Mudanças climáticas. Nordeste. Software R.

**ABSTRACT**

This study presents an analysis of daily maximum precipitation in the state of Pernambuco, aiming to identify temporal trends and estimate return levels for extreme precipitation events. Data from 165 rain gauge stations, with at least 70% completeness, were used for the period from 1995 to 2024, obtained from the website of the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC). Initially, the averages of daily maximum precipitation were calculated, and the Mann–Kendall test was applied to detect trends in the historical series. The results were spatialized using maps developed in the R software, allowing visualization of rainfall patterns and identification of series with statistically significant trends, totaling 21 stations with a p-value lower than 0.05. For these stations, the Gumbel distribution model was fitted in order to estimate the location and scale parameters, which reflect the location and variability of extreme events, respectively. The analysis of the location parameter allowed the assessment of temporal changes in daily maximum rainfall. Additionally, return levels of maximum precipitation were estimated for return periods of 5, 10, 20, and 50 years for all 21 analyzed stations. The highest estimated values among these stations were 147.9 mm, 171.7 mm, 201.0 mm, and 239.0 mm, respectively, highlighting regions more prone to extreme events. The results provide relevant support for planning preventive actions and developing strategies to mitigate hydrological disasters in the state of Pernambuco.

**Keywords:** Extreme events; Gumbel distribution; Climate change; Northeast Brazil; R software.

**RESUMEN**

Este artículo presenta un análisis de las precipitaciones máximas diarias en el estado de Pernambuco, con el objetivo de identificar tendencias temporales y estimar niveles de retorno para eventos extremos de precipitación. Se utilizaron datos de 165 estaciones pluviométricas, con al menos un 70% de completitud, en el período de 1995 a 2024, obtenidos del sitio web de la Agencia Pernambucana de Aguas y Clima (APAC). Inicialmente, se calcularon las medias de las precipitaciones máximas diarias y se aplicó la prueba de Mann-Kendall para la detección de tendencias en las series históricas. Los resultados fueron espacializados mediante mapas elaborados en el software R, lo que permitió visualizar los patrones de precipitación e identificar las series con tendencias estadísticamente significativas, totalizando 21 estaciones con valor p inferior a 0,05. Para estas estaciones, se ajustó el modelo de distribución de Gumbel con el fin de estimar los parámetros de localización y escala, los cuales reflejan la localización y la variabilidad de los eventos extremos, respectivamente. El análisis del parámetro de localización permitió evaluar la evolución temporal de las precipitaciones máximas diarias. Adicionalmente, se estimaron los niveles de retorno de las precipitaciones máximas para períodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años en las 21 estaciones analizadas. Los valores máximos estimados entre estas estaciones fueron de 147,9 mm, 171,7 mm, 201,0 mm y 239,0 mm, respectivamente, evidenciando regiones con mayor propensión a la ocurrencia de eventos extremos. Los resultados obtenidos proporcionan insumos relevantes para la planificación de acciones preventivas y la formulación de estrategias de mitigación de desastres hidrológicos en el estado de Pernambuco.

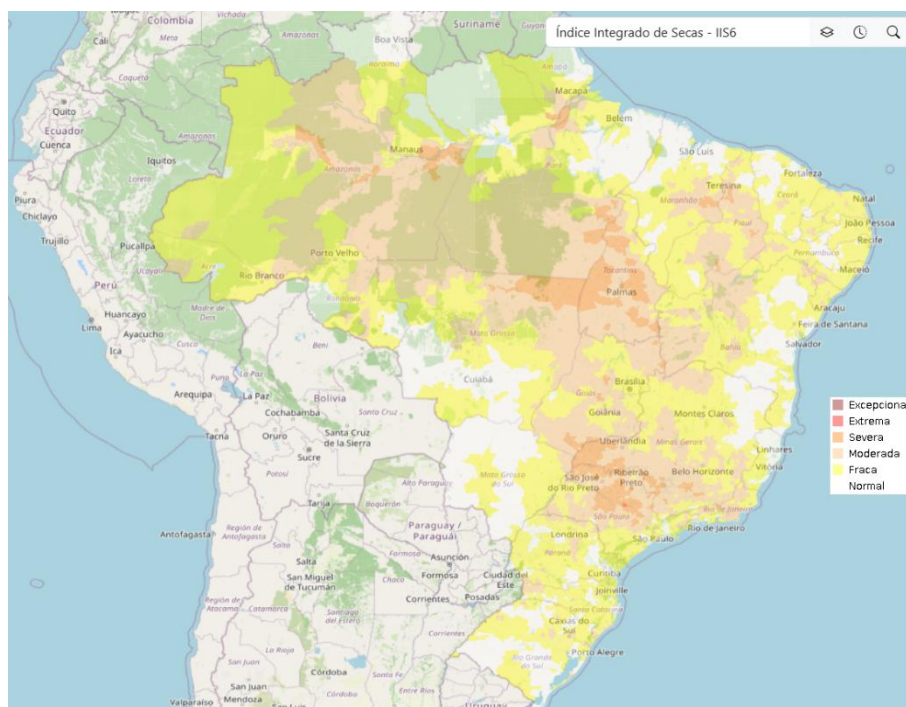
**Palabras clave:** Eventos extremos; Distribución de Gumbel; Cambio climático; Nordeste de Brasil; Software R.

**INTRODUÇÃO**

Estudar os extremos climáticos, caracterizados por valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam os limites superiores ou inferiores de seus registros históricos (Liu *et al.*, 2020), é essencial no contexto das mudanças climáticas globais. Esses eventos impactam diretamente áreas como infraestrutura, agricultura, saúde e ecossistemas. Com o aumento da temperatura média global e as alterações nos padrões de precipitação, a frequência e a intensidade de eventos extremos, como chuvas torrenciais e secas severas, têm se tornado mais comuns, desafiando os esforços de adaptação e mitigação. Assim, compreender as características e os impactos das precipitações extremas torna-se essencial para desenvolver políticas de adaptação e mitigação que ajudem a sociedade a fortalecer sua capacidade de lidar com as mudanças decorrentes do aquecimento global (Gimeno, 2022).

Nesse contexto, a Figura 1 apresenta a distribuição das secas no Brasil em dezembro de 2024, evidenciando que quase todo o território nacional foi afetado por condições de seca, ainda que, em sua maioria, de baixa intensidade. Esse cenário ressalta a importância de estudos mais aprofundados sobre esse evento climático extremo, com o objetivo de mitigar seus impactos e prevenir prejuízos à população no futuro.

Figura 1. Condições de seca no Brasil em junho de 2025.



Fonte: <https://mapasecas.cemaden.gov.br/#iis6>.

Em um outro estudo realizado pela Confederação Nacional de Municípios revelou os danos e prejuízos causados por desastres naturais em 2024. A

pesquisa apontou que a seca/estiagem foi responsável por R\$ 14,8 bilhões em prejuízos, correspondendo a 51% do total, enquanto as chuvas causaram R\$ 17,1 bilhões, representando 48,7% do montante. Os 0,3% restantes foram ocasionados por outros tipos de desastres. Esses eventos causaram danos significativos em setores como a agricultura, habitação, pecuária, obras de infraestrutura e abastecimento de água potável, entre outros (Confederação Nacional de Municípios, 2024). Diante desses números, é urgente adotar medidas que reduzam riscos e vulnerabilidades. Nesse contexto, torna-se indispensável que a conscientização e a adoção de atitudes preventivas se tornem práticas comuns entre jovens, crianças e adultos.

Com base nessas informações, a teoria dos valores extremos, uma área da estatística, surge como uma ferramenta importante para a previsão de eventos raros, como secas e inundações. Métodos estatísticos específicos para valores extremos têm demonstrado elevado potencial de aplicação, sendo amplamente utilizados em disciplinas como ciências da terra, genética e finanças (Maruyama, 2024).

Além disso, esse tipo de estudo é essencial para prevenir desastres como enchentes e deslizamentos, além de melhorar a previsão meteorológica, permitindo que as autoridades se preparem adequadamente. Também desempenha um papel crucial na agricultura, contribuindo para a proteção da produção e da qualidade das colheitas. Além disso, é fundamental para garantir que a infraestrutura, como redes de drenagem e edifícios, seja projetada para suportar eventos climáticos extremos, evitando danos significativos e altos custos de reparação.

O estado de Pernambuco é caracterizado por uma grande diversidade climática, marcada pela coexistência de zonas áridas no Sertão e regiões úmidas na Zona da Mata. Esses dois ambientes contrastam fortemente em termos de precipitação, temperatura e vegetação. No Sertão, predominam condições semiáridas, com baixos índices pluviométricos, que, em média, não ultrapassam 800 mm de chuva por ano (Lima Neto, 2021). Já na Zona da Mata, localizada na faixa litorânea do estado, o clima tropical úmido favorece chuvas mais regulares e abundantes, com uma média anual que varia entre 1.200 (excesso hídrico) e 2.800 mm (precipitação total) (Silva *et al.*, 2013).

Essa dualidade climática torna Pernambuco um estado de contrastes naturais, em que a aridez do Sertão e a umidade da Zona da Mata coexistem, influenciando diretamente os desafios enfrentados pela população diante dos extremos climáticos. As enchentes nas áreas urbanas e as estiagens prolongadas no Sertão ressaltam a importância de uma análise detalhada da precipitação extrema para a gestão de riscos e o planejamento socioambiental. No caso das enchentes, é essencial mapear as áreas de risco, melhorar a infraestrutura de drenagem e implementar sistemas de alerta precoce. Já no Sertão, a análise dos padrões de chuva pode auxiliar no planejamento de reservatórios e na gestão hídrica, permitindo uma adaptação mais eficiente às condições climáticas extremas.

A aplicação de modelos probabilísticos em estudos hidrológicos é essencial para a previsão de eventos extremos, permitindo estimativas precisas sobre

períodos de retorno e a frequência de ocorrência desses eventos (Abreu *et al.*, 2018). As distribuições probabilísticas mais frequentemente utilizadas incluem as de GEV e Gumbel. O ajuste dessas distribuições aos dados hidrológicos envolve a estimativa de seus parâmetros, processo que pode ser realizado por diferentes métodos estatísticos, entre os quais se destacam o Método dos Momentos, o Método dos Momentos-L e o Método da Máxima Verossimilhança (Abreu *et al.*, 2018).

Uma pesquisa realizada na bacia extrema do rio Sapucaí revelou que as distribuições de probabilidade que melhor representaram os dados de precipitações extremas foram a de Gumbel, com ajuste de parâmetros pelo método da máxima verossimilhança, como em outra pesquisa realizada em Presidente Prudente, a qual comprovou que a distribuição de Gumbel apresentou bom ajustamento aos dados de precipitações máximas mensais (Hartmann, 2011).

Os estudos sobre eventos extremos em Pernambuco apresentam resultados significativos e aplicáveis em diversas áreas, contribuindo para a formulação de políticas públicas de adaptação climática e para a elaboração de estratégias eficazes de mitigação de riscos (Mousinho *et al.*, 2023; Anjos *et al.*, 2024). Tais estimativas são fundamentais para o planejamento de obras hidráulicas e urbanas, como a construção de reservatórios, sistemas de drenagem, barragens e infraestrutura de contenção de enchentes (Silva *et al.*, 2023), reduzindo, assim, os impactos desses eventos sobre a população e a economia local.

No contexto urbano, o mapeamento de áreas vulneráveis a enchentes e a análise dos padrões de precipitação extrema viabilizam a implementação de medidas preventivas, como a adoção de sistemas de alerta precoce e o aprimoramento da drenagem. No Sertão, por sua vez, as informações obtidas subsidiam a gestão eficiente dos recursos hídricos, o planejamento de sistemas de abastecimento e o fortalecimento de práticas agrícolas mais resilientes, adaptadas às condições climáticas semiáridas.

Adicionalmente, as evidências obtidas neste estudo podem subsidiar o desenvolvimento de seguros contra riscos climáticos, fornecendo parâmetros essenciais para a definição de preços e coberturas, bem como orientar a implementação de sistemas de monitoramento e previsão em tempo real, fundamentais para a elaboração de planos de contingência e respostas rápidas em situações de emergência. Além disso, podem ser aplicados em ações educativas e de conscientização, fortalecendo a cultura de prevenção e resiliência e incentivando a cooperação entre os setores público, privado e a sociedade civil.

Diante dessa relevância, este artigo tem como objetivo principal realizar uma análise estatística da precipitação máxima diária em Pernambuco, com foco na estimativa dos tempos de retorno e na identificação de tendências temporais, visando contribuir para o aprimoramento do planejamento e da gestão dos recursos hídricos, assim como para o dimensionamento de estruturas hidráulicas e de controle de enchentes. No contexto regional, a análise se destaca devido às características climáticas contrastantes do estado de Pernambuco, que

alterna entre longos períodos de seca no Sertão e eventos de chuvas intensas na Zona da Mata e no Agreste, ampliando a exposição da população a riscos ambientais. Ao investigar os padrões de eventos extremos pluviométricos e suas variações ao longo do tempo, o estudo fortalece o conhecimento científico, especialmente no campo da estatística aplicada a fenômenos climáticos extremos, e orienta a formulação de estratégias mais eficazes de mitigação e adaptação. Os resultados obtidos podem ainda servir de base para estudos em outras regiões com desafios climáticos semelhantes, ampliando a aplicabilidade das metodologias desenvolvidas.

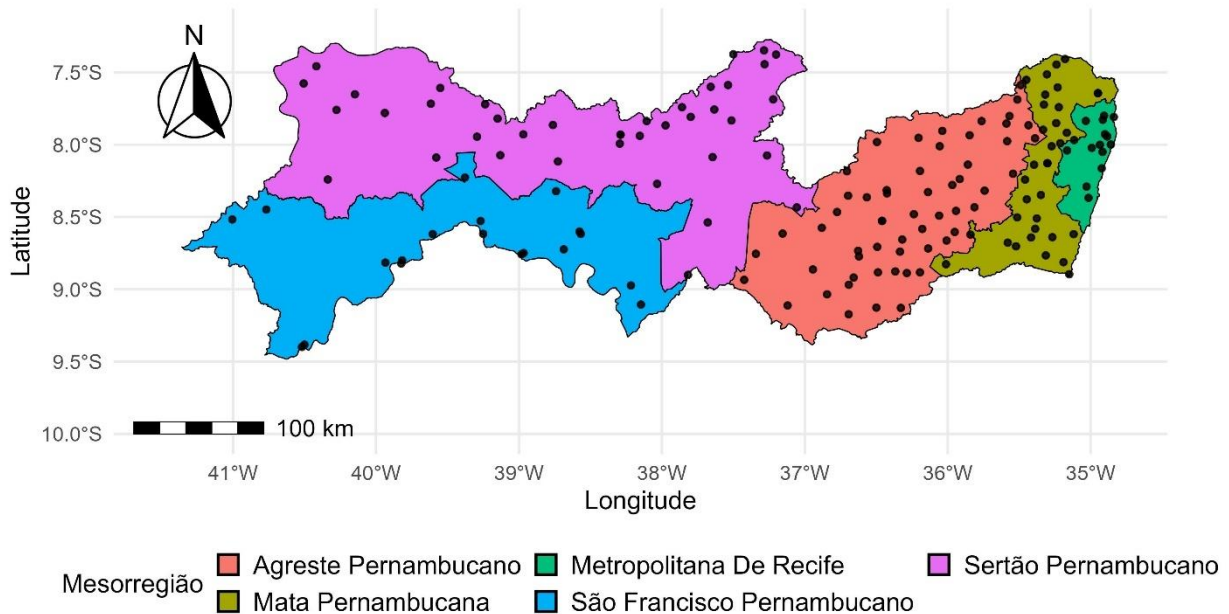
## **METODOLOGIA**

O estado de Pernambuco apresenta forte heterogeneidade ambiental, permitindo a divisão em três grandes conjuntos climáticos (Governo de Pernambuco, 2015). No Litoral e Zona da Mata predomina o clima tropical úmido, com temperaturas médias entre 25 °C e 31 °C ao longo do ano e totais pluviométricos anuais que variam entre 2.000 e 3.000 mm, concentrados principalmente entre março e julho. O Agreste constitui uma zona de transição entre o litoral úmido e o Sertão semiárido, apresentando clima semiárido com forte variabilidade espacial e temporal das chuvas em função do relevo; nessa região, os volumes mensais de precipitação variam de cerca de 200 mm no período chuvoso (abril a junho) a menos de 25 mm entre setembro e janeiro. Por fim, o Sertão pernambucano e a região do São Francisco apresentam clima quente e semiárido, caracterizado por longos períodos secos, elevada irregularidade pluviométrica e totais anuais frequentemente inferiores a 600 mm, podendo alcançar apenas 400 mm em algumas áreas.

Os dados utilizados para a análise estatística foram obtidos por meio do site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), disponibilizado pelo Governo de Pernambuco, a partir do monitoramento pluviométrico realizado pela instituição (<https://www.apac.pe.gov.br/>). No total, foram considerados dados do período de 1995 a 2024, abrangendo 30 anos. O levantamento foi realizado em 595 estações pluviométricas distribuídas em cinco mesorregiões: Agreste Pernambuco, Mata Pernambucana, Metropolitana do Recife, São Francisco Pernambucano, Sertão Pernambuco.

Entretanto, verificou-se a existência de falhas nos registros de diversos anos, uma vez que muitas estações não apresentavam dados completos. Para garantir a consistência da análise, foram selecionadas apenas as estações que possuíam, no mínimo, 70% dos dados referentes ao período analisado, resultando em um total de 165 estações pluviométricas (Figura 2).

Figura 2. Localização das 165 estações pluviométricas em Pernambuco, distribuídas pelas cinco mesorregiões do estado.



Fonte: Souza e Medeiros (2026).

Para a análise, considerou-se o volume máximo de precipitação registrado em cada estação ao longo dos anos, ou seja, a maior quantidade de chuva em milímetros ocorrida em um único dia de cada ano observado.

Inicialmente, foi realizada a análise da distribuição espacial das médias anuais das precipitações máximas diárias no estado de Pernambuco, considerando o período de 1995 a 2024 e as 165 estações pluviométricas selecionadas. Essa etapa teve como objetivo caracterizar o padrão geral da precipitação ao longo do território, fornecendo uma base para as análises subsequentes. Os mapas foram elaborados no software R, o que possibilitou a visualização das variações médias pluviométricas entre as mesorregiões.

Em seguida, para identificar tendências de aumento ou diminuição dos volumes de chuva no estado, foram realizadas análises estatísticas e geoespaciais com base nos registros de precipitação máxima diária anual das mesmas estações. Os dados foram organizados em séries temporais para cada estação, considerando os valores máximos diários por ano, no período de 1995 a 2024. Para verificar a existência de tendências estatisticamente significativas ao longo do tempo, foi aplicado o teste de Mann-Kendall, método utilizado para identificar aumentos ou diminuições nos dados ao longo dos anos, sem a necessidade de que estes sigam uma distribuição específica. O nível de significância adotado para o teste estatístico foi de 5%.

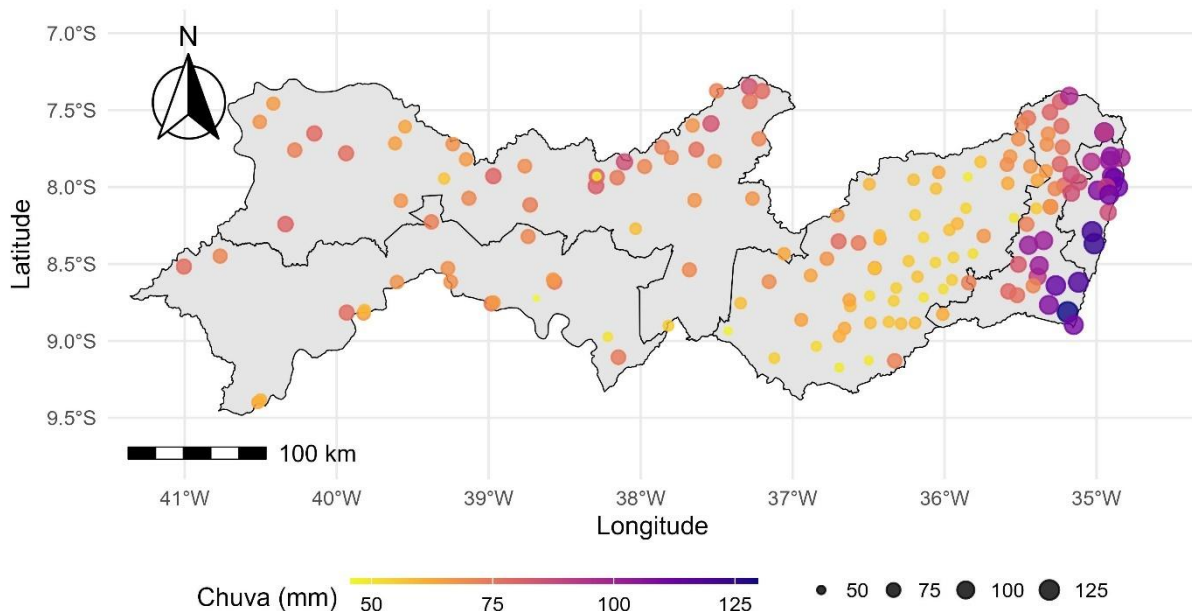
Além dos testes de tendência, foi aplicada a Distribuição de Gumbel para modelar os valores máximos anuais de precipitação e estimar os níveis de precipitação associados a diferentes períodos de retorno (5, 10, 20 e 50 anos). A modelagem foi realizada com base nos dados anuais de cada estação, conforme metodologia padrão para análise de eventos extremos hidrológicos.

Todas as etapas de processamento, análise estatística e geração de gráficos foram realizadas no software R (R Core Team, 2025), com apoio das bibliotecas ggplot2 para visualização (Wickham, 2016), geobr para importações dos mapas (Pereira; Gonçalves, 2023), e extRemes para procedimentos de análise de valores extremos e ajuste de distribuições (Gilleland; Katz, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, elaborou-se o mapa com os valores médios da precipitação máxima anual registrados nas 165 estações pluviométricas analisadas (Figura 3), com o objetivo de identificar o padrão espacial dessas precipitações ao longo do estado de Pernambuco.

Figura 3. Valores médios da precipitação máxima diária em 165 estações pluviométricas localizadas em Pernambuco.



Fonte: Souza e Medeiros (2026).

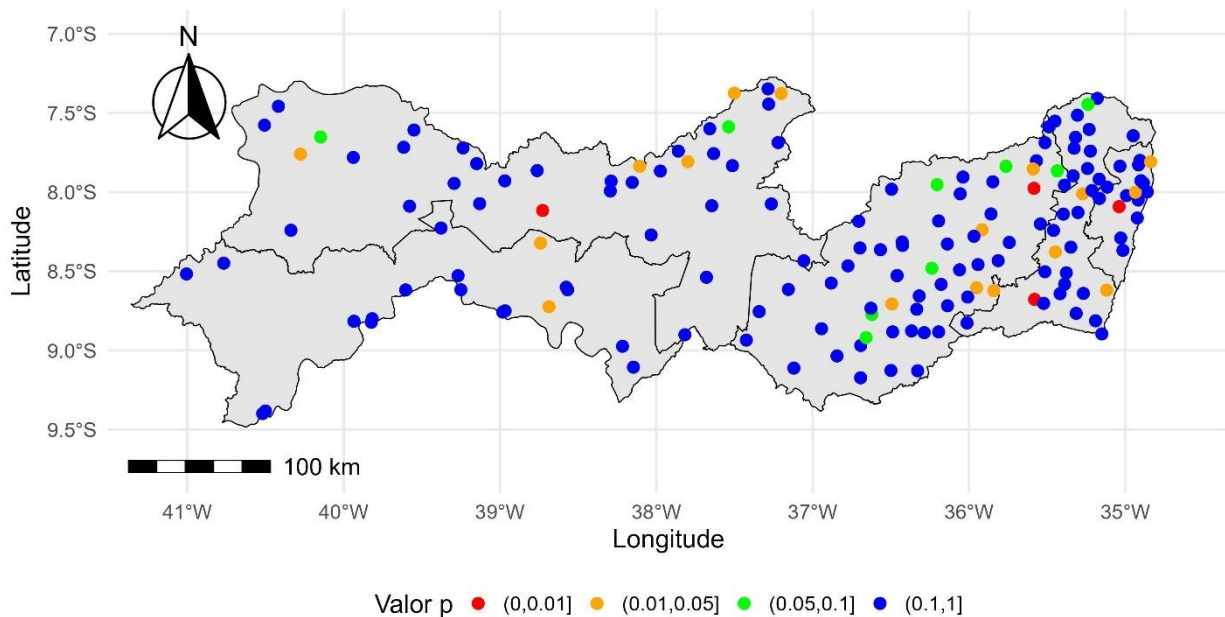
A análise dos valores médios da precipitação máxima diária (Figura 3) revela um padrão espacial característico da distribuição das chuvas em Pernambuco. As maiores intensidades pluviométricas concentram-se na porção leste do estado, especialmente no litoral, abrangendo a Região Metropolitana do Recife e a Zona da Mata Pernambucana. Essa concentração é evidenciada pelos tons roxos no mapa, enquanto as regiões do Agreste, Sertão e São Francisco Pernambucano apresentam volumes significativamente menores, com predominância de tons amarelos e alaranjados. Tal configuração reflete o gradiente pluviométrico leste-oeste, comum no estado, e pode ser explicada principalmente pela influência da umidade proveniente do Oceano Atlântico, que favorece a formação de chuvas orográficas nas áreas próximas ao litoral.

Esse padrão é intensificado por anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical Sul, as quais induzem maior

precipitação sobre o leste do Nordeste. Por outro lado, anomalias positivas de TSM no Pacífico Equatorial inibem a formação de chuvas na mesma região, como destacado por Moura *et al.* (2009). Adicionalmente, observa-se uma distribuição relativamente equilibrada das estações meteorológicas ao longo do estado, embora com maior densidade na região leste. Essa maior concentração pode estar associada ao interesse histórico e estratégico em monitorar áreas com maior população, infraestrutura urbana e vulnerabilidade a eventos extremos.

Para analisar a tendência nas séries históricas, aplicou-se o teste de Mann-Kendall, para identificar possíveis aumentos ou diminuições significativas ao longo do tempo (Figura 4). As estações com tendência foram destacadas nas cores vermelha e amarela, indicando tendências positivas e negativas, respectivamente. E as cores azul e verde representaram a ausência de tendência significativa, sugerindo estabilidade nos eventos de precipitação extrema para a maioria das localidades analisadas.

Figura 4. Valores de p do teste de Mann-Kendall aplicados às séries de chuvas máximas diárias (1995–2024) nas 165 estações pluviométricas de Pernambuco.



Fonte: Souza e Medeiros (2026).

A aplicação do teste de Mann-Kendall (Figura 4), identificou que apenas 21 das 165 estações (12,7%) apresentaram tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ). Esse comportamento é compatível com padrões já observados em outras regiões do Brasil. Velasco Holender e Santos (2023), ao analisarem a tendência da precipitação intensa no Sudeste brasileiro entre 1978 e 2017, identificaram que 32 de 454 postos (7%) apresentaram tendência significativa na intensidade dos eventos extremos, também com uma predominância de estabilidade. Os autores supracitados observaram coexistência de tendências positivas e negativas, distribuídas espacialmente de forma heterogênea.

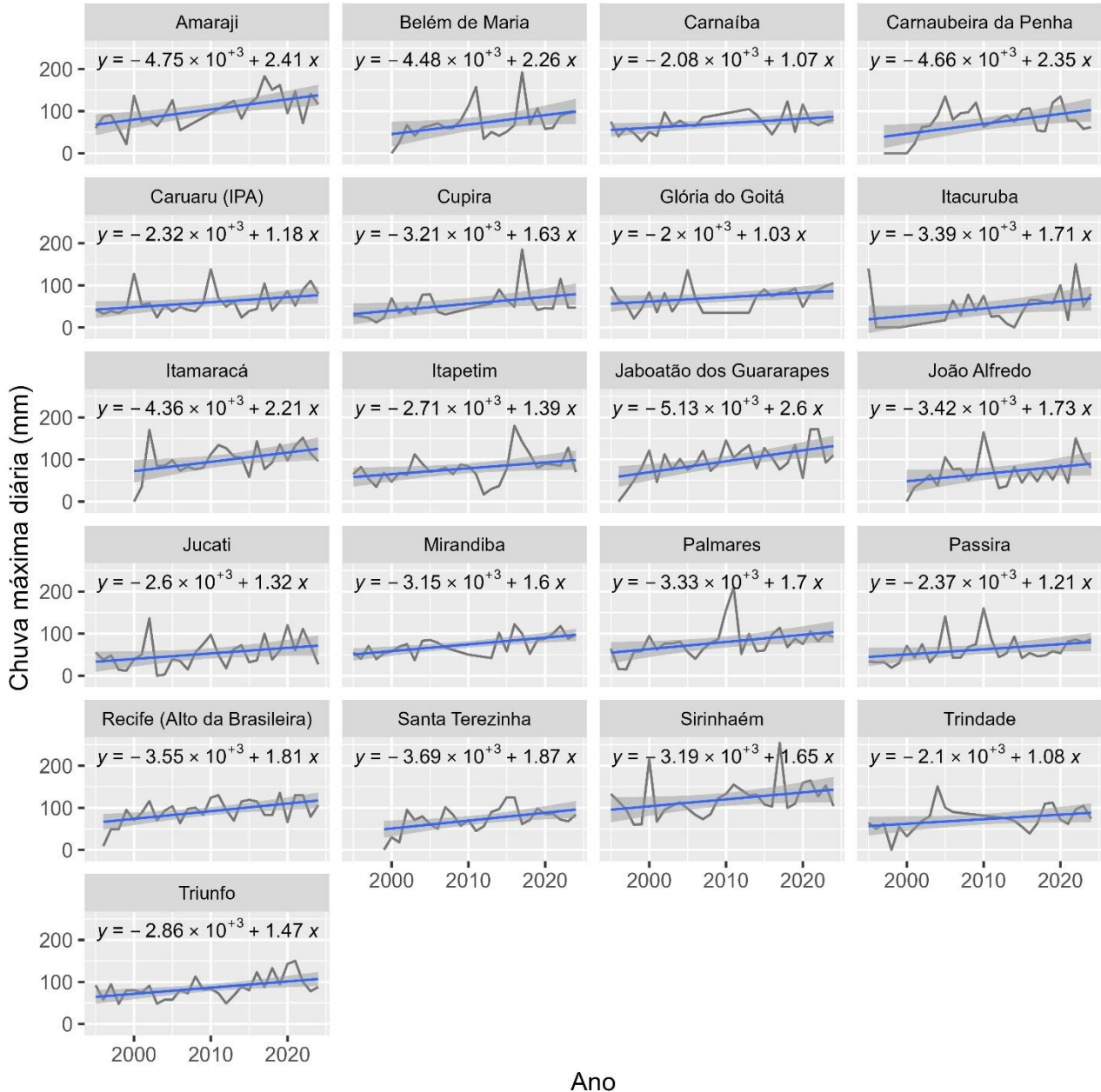
A predominância de estabilidade identificada nas séries de precipitação extrema em Pernambuco também encontra semelhança em estudos realizados em outras áreas do Nordeste brasileiro. Costa *et al.* (2015), ao analisarem tendências na intensidade das chuvas em 193 postos pluviométricos do Semiárido nordestino entre 1961 e 2011, observaram que a maior parte dos meses apresentou tendências não significativas, comportamento semelhante ao constatado neste estudo. Embora tenham identificado tendências negativas no período menos chuvoso (outubro a dezembro) e positivas no período chuvoso (junho a agosto), ambas com significância estatística, esses sinais contrastantes reforçam que a variabilidade espacial e temporal da precipitação extrema na região é altamente influenciada por fatores climáticos de grande escala, como a frequência de eventos de El Niño.

A Figura 5 apresenta a evolução temporal das chuvas máximas diárias nas 21 estações com tendência identificada. A inclinação das retas de tendência indica a taxa média anual de variação da precipitação extrema. Os maiores incrementos foram registrados nos municípios de Jaboatão dos Guararapes (2,60 mm/ano), Amaraji (2,41 mm/ano) e Belém de Maria (2,26 mm/ano), sugerindo um aumento significativo na intensidade dos eventos extremos nessas localidades. Em contrapartida, os menores valores foram observados em Glória do Goitá (1,03 mm/ano), Carnaíba (1,07 mm/ano) e Trindade (1,08 mm/ano), indicando uma tendência mais sutil de crescimento.

O parâmetro de locação ( $\mu$ ) representa uma medida de localização dos eventos de precipitação máxima anual em cada estação, com valores mais elevados indicando maior intensidade média dos extremos pluviométricos. A tendência de locação indica a variação temporal desse parâmetro ao longo do período estudado, refletindo se os eventos extremos estão se intensificando ou se mantendo estáveis. Tendências positivas sugerem aumento da intensidade das chuvas extremas ao longo dos anos, enquanto valores próximos de zero indicam estabilidade. Já o parâmetro de escala ( $\beta$ ) expressa a variabilidade dos extremos; quanto maior seu valor, maior a dispersão dos dados em torno da média. O valor-p refere-se ao teste de aderência utilizado para verificar a adequação do modelo ajustado às séries temporais.

De acordo com o teste de aderência a Distribuição de Gumbel ajustou-se adequadamente aos dados de precipitação máxima anual das 21 estações. Observou-se que, na maioria das localidades, a tendência de locação é próxima de zero, indicando estabilidade temporal na intensidade dos eventos extremos. No entanto, cinco estações apresentaram tendência positiva mais acentuada: Passira, Triunfo, Itacuruba, Sirinhaém e Belém de Maria, o que pode sinalizar um aumento gradual dos extremos das chuvas nesses municípios. A análise do parâmetro de escala também indicou variações: as estações de Carnaubeira da Penha, Jaboatão dos Guararapes e Itamaracá apresentaram maior variabilidade dos extremos, enquanto Mirandiba, Caruaru (IPA) e Carnaíba registraram menor dispersão dos valores.

Figura 5. Evolução das chuvas máximas diárias das 21 estações pluviométricas de Pernambuco que apresentaram tendência estatisticamente significativa (valores de  $p < 0,05$ ) no teste de Mann-Kendall, no período de 1995 a 2024.



Fonte: Souza e Medeiros (2026).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros obtidos a partir do ajuste da Distribuição de Gumbel para as 21 estações com tendência significativa.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros do modelo de Gumbel nas estações pluviométricas com indicação de tendência, seguido do valor p do teste de aderência.

Estação	Parâmetros da Gumbel			Valor p
	Localção ( $\mu$ )	Tendência da locação	Escala ( $\beta$ )	
Caruaru (IPA)	44,3070	0,0013	19,6284	0,7561
Palmares	63,3317	0,0000	29,8449	0,5395
Mirandiba	63,6772	-0,0008	20,7311	0,8289
Itacuruba	25,4271	0,0009	30,7372	0,7526
Trindade	59,8428	-0,0011	30,1383	0,6648
Amaraji	85,3012	-0,0008	36,5620	0,9460
Sirinhaém	99,1802	0,0008	31,4317	0,9360
Cupira	36,8495	0,0021	22,2342	0,8744
Glória do Goitá	62,2719	-0,0021	24,6922	0,5456
Passira	47,0200	0,0010	21,6177	0,8765
Itapetim	64,2203	-0,0005	27,8411	0,5043
Jucati	36,5641	0,0001	27,2318	0,9784
Triunfo	72,2377	0,0009	20,7547	0,5476
Carnaíba	60,7850	-0,0005	20,0533	0,8800
Recife (Alto da Brasileira)	83,6680	-0,0034	33,0223	0,4143
Jaboatão dos Guararapes	82,8562	-0,0034	40,4717	0,5783
Carnaubeira da Penha	59,5609	-0,0046	40,5052	0,4770
Santa Terezinha	63,9918	-0,0032	31,2150	0,4051
João Alfredo	52,6523	0,0001	29,7716	0,8942
Itamaracá	85,9113	-0,0030	40,7963	0,4604
Belém de Maria	54,0203	0,0006	31,5267	0,6272

Fonte: Souza e Medeiros (2026).

Em particular, Passos e Mendes (2018) observaram desempenho superior da Gumbel ao modelar extremos de precipitação do município de Balsas-MA, destacando sua capacidade de representar adequadamente séries hidrológicas. Os autores argumentam que a Gumbel tende a produzir parâmetros mais estáveis e estimativas de níveis de retorno mais coerentes com o comportamento observado da precipitação máxima.

Com base nos parâmetros estimados da distribuição Gumbel, calculou-se as estimativas da precipitação diária máxima para os períodos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos (Tabela 2).

Tabela 2. Chuvas máximas anuais estimadas para os tempos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos, com tendência temporal (Distribuição de Gumbel), considerando o ano de 2025.



Estação	Tempo de retorno			
	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos
Caruaru (IPA)	76,43	91,16	105,29	123,58
Palmares	108,08	130,48	151,96	179,77
Mirandiba	93,12	108,68	123,60	142,91
Itacuruba	73,28	96,35	118,47	147,11
Trindade	102,76	125,38	147,07	175,15
Amaraji	138,58	166,01	192,33	226,40
Sirinhaém	147,93	171,52	194,15	223,43
Cupira	74,41	91,09	107,10	127,81
Glória do Goitá	95,05	113,58	131,36	154,36
Passira	81,45	97,67	113,23	133,37
Itapetim	105,01	125,90	145,94	171,88
Jucati	77,63	98,07	117,67	143,04
Triunfo	105,17	120,74	135,68	155,02
Carnaíba	89,86	104,91	119,34	138,03
Recife (Alto da Brasileira)	126,40	151,19	174,96	205,72
Jaboatão dos Guararapes	136,76	167,14	196,27	233,98
Carnaubeira da Penha	111,08	141,48	170,64	208,38
Santa Terezinha	104,36	127,78	150,25	179,34
João Alfredo	97,52	119,86	141,29	169,03
Itamaracá	141,08	171,69	201,06	239,07
Belém de Maria	102,50	126,16	148,85	178,23

Fonte: Souza e Medeiros (2026).

A Tabela 2 apresenta os valores estimados da precipitação pluvial máxima anual (em milímetros) associados aos tempos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos. Conforme esperado, os valores estimados aumentam com o tempo de retorno, refletindo a maior intensidade esperada de eventos raros, conforme previsto pela teoria das distribuições de extremos.

Entre as estações analisadas, destacam-se Itamaracá (239 mm), Jaboatão dos Guararapes (233,97 mm), Amaraji (226,39 mm) e Sirinhaém (223,43 mm),

que apresentaram os maiores valores estimados para o tempo de retorno de 50 anos. Esses resultados indicam que essas localidades estão particularmente expostas a eventos pluviométricos de alta magnitude, devendo ser consideradas prioritárias em estratégias de planejamento urbano, ampliação da capacidade de drenagem e ações preventivas de defesa civil.

Por outro lado, Caruaru-IPA (123,57 mm), Cupira (127,81 mm) e Passira (133,37 mm) apresentaram os menores valores estimados para o mesmo período de retorno. Embora essas estimativas indiquem menor intensidade dos extremos, é importante destacar que, em áreas urbanas com infraestrutura insuficiente, mesmo chuvas menos intensas podem gerar impactos significativos, como alagamentos, erosões e sobrecarga dos sistemas de drenagem.

Portanto, os resultados reforçam a importância da caracterização espacial e temporal dos extremos pluviométricos como uma ferramenta essencial para a gestão de riscos hidrológicos e o planejamento territorial sustentável no estado de Pernambuco.

## **CONCLUSÃO**

Este estudo teve como objetivo principal realizar uma análise estatística abrangente da precipitação pluvial máxima diária no estado de Pernambuco, com foco na identificação de tendências temporais e na estimativa de níveis de retorno para eventos extremos futuros. A pesquisa foi desenvolvida utilizando dados de 165 estações pluviométricas da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), cobrindo um período de 30 anos (1995 a 2024).

Os resultados evidenciaram um padrão espacial da precipitação pluvial em Pernambuco com maiores intensidades no leste do estado, especialmente na Região Metropolitana do Recife e na Zona da Mata Pernambucana, devido à influência da umidade do Oceano Atlântico. Embora a maioria das estações analisadas tenha demonstrado estabilidade nos eventos de precipitação pluvial extrema, o teste de Mann-Kendall identificou tendências significativas em 21 estações, indicando a necessidade de atenção específica a essas localidades. Notavelmente, municípios como Jaboatão dos Guararapes, Amaraji e Belém de Maria registraram os maiores incrementos anuais nas chuvas máximas diárias.

A aplicação da Distribuição de Gumbel permitiu estimar precipitações máximas para diferentes períodos de retorno, evidenciando valores críticos especialmente nas regiões de Itamaracá (239,0 mm), Jaboatão dos Guararapes (233,97 mm), Amaraji (226,39 mm) e Sirinhaém (223,43 mm) para o tempo de retorno de 50 anos. Essas estimativas são cruciais, pois evidenciam as regiões com maior propensão à ocorrência de eventos extremos, os quais exigem prioridade no planejamento urbano e no dimensionamento adequado de sistemas de drenagem, infraestrutura hidráulica e estratégias de defesa civil.

Diante desse cenário, os resultados obtidos neste estudo fornecem subsídios relevantes para o planejamento de ações preventivas e para a formulação de estratégias de mitigação de desastres hidrológicos no estado de Pernambuco. O estudo é fundamental para o aprimoramento da gestão dos

recursos hídricos, o dimensionamento adequado de infraestruturas como sistemas de drenagem, barragens e reservatórios, e a formulação de políticas públicas de adaptação climática que beneficiem as populações vulneráveis. Nesse contexto, dada a dualidade climática peculiar de Pernambuco, que oscila entre secas prolongadas no Sertão e chuvas intensas na Zona da Mata e Agreste, torna-se essencial compreender a variabilidade dos eventos extremos e suas tendências temporais, a fim de fortalecer a resiliência do estado diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Por fim, destaca-se que a seleção das estações pluviométricas considerou um critério mínimo de 70% de completude das séries históricas, o que permitiu preservar uma cobertura espacial mais representativa do estado. Embora a presença de lacunas em algumas séries possa introduzir incertezas adicionais, principalmente em análises regionais de tendência e de eventos extremos, acredita-se que o conjunto de estações adotado ainda fornece informações coerentes com o padrão climatológico conhecido para Pernambuco. Ainda assim, recomenda-se que futuras investigações avaliem a sensibilidade dos resultados utilizando séries mais completas ou técnicas de imputação de dados, de modo a aprofundar a compreensão sobre os efeitos dessas lacunas nas estimativas geradas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa ao primeiro autor, que possibilitou a realização desta pesquisa e contribuiu para o desenvolvimento científico e acadêmico deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

ABREU, Marcel Carvalho; CECÍLIO, Roberto Avelino; PRUSKI, Fernando Falco; SANTOS, Gérson Rodrigues dos; ALMEIDA, Laura Thebit de; ZANETTI, Sidney Sara. Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 601-613, out-dez. 2018.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. Dados pluviométricos de Pernambuco, 1995-2024. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

ANJOS, Lillian Souza dos; ANJOS, Rafael Silva dos; LUNA, Vinicius Ferreira; WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyére Silva. Resgate histórico dos eventos extremos de precipitação e seus impactos no município do Recife-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 34, n. 20, p. 335-359, fev. 2024.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Mapa iterativo do Índice Integrado de Secas - IIS6. jun. 2025. Disponível em: <<https://mapasecas.cemaden.gov.br/#iis6>>. Acesso em: 16 jul. 2025.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Panorama dos desastres no Brasil 2013 a 2023. Brasília: CNM, 2024. [pdf]. Disponível em: <[https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos\\_tecnicos/202405\\_ET\\_Panorama\\_Desastres\\_Brasil\\_2013\\_a\\_2023.pdf](https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf)>. Acesso em: 05 fev. 2025.

COSTA, Micejane da Silva; LIMA, Kellen Carla; LIMA, Kellen Carla; ANDRADE, Matheus de Mendonça; ANDRADE, Matheus de Mendonça; GONÇALVES, Weber Andrade. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 5, p. 1321-1334, 2016.

GILLELAND, E.; KATZ, R. W. extRemes 2.0: An extreme value analysis package in R. **Journal of Statistical Software**, v. 72, n. 8, p. 1-39, 2016. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=extRemes>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GIMENO, Luís; SORÍ, Rogert; VÁZQUEZ, Marta; STOJANOVIC, Milica; ALGARRA, Iago; EIRAS-BARCA, Jorge; GIMENO-SOTELO, Luis; NIETO, Raquel. Extreme precipitation events. **WIRES Water**, v. 9, n. 6, p. 1-21, ago. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Atlas Eólico e Solar de Pernambuco. Recife: Secretaria de Energia; CEPEL; EPE, 2017. Disponível em: <http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

HARTMANN, Marcelo; MOALA, Fernando A.; MENDONÇA, Marco Aurélio. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 561-568, dez. 2011.

LIMA NETO, Vicente de Sousa; TAVARES, Paulo Roberto Lacerda; BATISTA, Tatiane Lima. Ajuste e Validação de Equações IDF a Partir de Dados Pluviométricos para Cidades do Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 713-721, dez. 2021.

LIU, Yujie; CHEN, Jie; PAN, Tao; LIU, Yanhua; ZHANG, Yuhu; GE, Quansheng; CIAIS, Philippe; PEÑUELAS, Josep. Global socioeconomic risk of precipitation extremes under climate change. **Earth's Future**, v. 8, n. 9, p. 1-15, ago. 2020.

MARUYAMA, Fumio. Estimation of Return Level for Maximum Daily and Hourly Precipitation in Nagano Prefecture, Japan, Using the Extreme Value Theory. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 14, n. 8, p. 2065-2087, ago. 2024.

MOURA, Geber B. de A.; ARAGÃO, José O. R. de; MELO, José S. P. de; SILVA, Ana P. N. da; GIONGO, Pedro R.; LACERDA, Francinete F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 462-469, ago. 2009.

MOUSINHO, Fernando Henrique Galindo; LIMA, Jessica Maria dos Santos; PEREIRA, Márcia Meryllis Alves; PESSOA, Jonas Onis; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel; SANTOS, Sylvana Melo dos; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 2, p. 958-973, fev. 2024.

PASSOS, Mádilo Lages Vieira; MENDES, Telmo José. ANÁLISE DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NO MUNICÍPIO DE BALSAS-MA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 66, p. 85-96, 2018.

PEREIRA, R. H. M.; GONÇALVES, C. N.; ANDRADE, P. R. **geobr: Loads shapefiles of official spatial data sets of Brazil**. Brasília: IPEA, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=geobr>. Acesso em: 02 dez. 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SILVA, Alexandro Oliveira da; QUELUZ, João Thomas Gabriel; KLAR, Antônio Evaldo. Distribuição espacial do balanço hídrico climático em diferentes regimes pluviométricos no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 7-19, set. 2013.

SILVA, Gustavo Ribeiro da; OLIVEIRA, Daniel Vitor Carvalho de; OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Italcy de; CARVALHO, Ítalo Johnes de. Análise das precipitações pluviométricas do município de Serra Talhada-PE e determinação da equação de chuvas intensas por meio de distribuição probabilística. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 40, n. 1, p. 306-333, abr. 2023.

VELASCO HOLENDER, Bárbara; BARBOSA SANTOS, Eliane. Análise de tendência dos eventos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 32, n. 19, p. 584-606, 2023.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant graphics for data analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org/>. Acesso em: 02 dez. 2025.