

TENDÊNCIAS DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS EM VITÓRIA DA CONQUISTA (BA)

*Lorena Lima Ferraz¹; Hebert Vieira da Silva dos Santos² & Marcio Greick Lima de Oliveira
Junior³*

RESUMO – A intensificação de eventos climáticos extremos, sobretudo de precipitação, representam um desafio crescente para a gestão de águas urbanas, especialmente em cidades médias brasileiras com infraestrutura de drenagem limitada. Nesse contexto, este estudo analisou tendências históricas de extremos pluviométricos no município de Vitória da Conquista/BA entre 1961 e 2025, utilizando índices climáticos do ETCCDI relacionados à intensidade e frequência das chuvas. A série histórica foi estruturada a partir da integração de dados observados do INMET e dados em grade do Brazilian Daily Weather Gridded Data obtidos pela ferramenta XHidro. Foram aplicados o teste não paramétrico de Mann-Kendall e a estimativa de Sen's slope para identificação da significância estatística e magnitude das tendências. Todo o processamento e a análise estatística dos dados foram executados por meio de algoritmos em linguagem Python. Os resultados indicaram aumento significativo nos índices associados à intensidade das precipitações extremas, com destaque para Rx1day, Rx5day, R95p e R99p, evidenciando maior concentração das chuvas em eventos intensos. Em contrapartida, a precipitação total anual não apresentou tendência significativa. Os resultados reforçam a necessidade de incorporação de cenários climáticos extremos ao planejamento urbano e à gestão de drenagem no município de Vitória da Conquista/BA.

Palavras-Chave – áreas urbanas, desastres naturais, mudanças climáticas.

ABSTRACT – The intensification of extreme climate events, particularly precipitation, represents a growing challenge for urban water management, especially in medium-sized Brazilian cities with limited drainage infrastructure. In this context, this study analyzed historical trends of pluviometric extremes in the municipality of Vitória da Conquista/BA between 1961 and 2025, using ETCCDI climate indices related to rainfall intensity and frequency. The historical series was structured from the integration of observed data from INMET and gridded data from the Brazilian Daily Weather Gridded Data obtained via the XHidro tool. The non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimation were applied to identify statistical significance and trend magnitude. All data processing and statistical analyses were executed through algorithms in the Python programming language. The results indicated a significant increase in indices associated with the intensity of extreme precipitation, notably Rx1day, Rx5day, R95p and R99p, evidencing greater rainfall concentration in intense events. In contrast, total annual precipitation showed no significant trend. The results reinforce the need to incorporate extreme climate scenarios into urban planning and drainage management in the municipality of Vitória da Conquista/BA.

Key-words – urban areas, natural disasters, climate change.

¹) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Humanas, Educação e Linguagens, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais. lorena.ferraz@uesb.edu.br

²) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais. hebertvieiradasilva@gmail.com

³) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Graduação em Engenharia Ambiental. marciogreick89@gmail.com

INTRODUÇÃO

A organização do espaço geográfico está diretamente vinculada ao crescimento populacional em áreas urbanas, processo que promove transformações socioespaciais, econômicas e ambientais significativas (Andreadis et al., 2023). De acordo com Tucci (2012), o crescimento das cidades transformou o Brasil em um país predominantemente urbano, ampliando os desafios relacionados ao planejamento territorial e à gestão das águas. Nesse contexto, a expansão irregular sobre áreas de mananciais, o aumento da densidade habitacional, a impermeabilização do solo, a canalização de rios e a ausência de planejamento adequado constituem fatores que comprometem o funcionamento dos sistemas de drenagem e intensificam a ocorrência de inundações em diferentes localidades.

Assim, os impactos associados à urbanização desordenada tornam as cidades mais vulneráveis a distúrbios ambientais e hidrometeorológicos, especialmente quando esses eventos afetam áreas densamente ocupadas ou com infraestrutura insuficiente. Qualquer perturbação nessas áreas, sobretudo quando relacionada a inundações, pode comprometer diretamente o bem-estar humano, afetando a segurança, a mobilidade, a saúde pública e as condições de moradia da população (Chen e Lo, 2026). Esse cenário tende a se agravar diante da intensificação dos eventos hidrometeorológicos associada às mudanças climáticas, cujos efeitos são severos em cidades de países emergentes, marcadas por infraestrutura precária, desigualdades socioespaciais e baixa capacidade adaptativa (Getirana et al., 2023).

Segundo a United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2025), os custos globais dos desastres naturais são muito onerosos e vêm se intensificando. Entre os anos de 2001 e 2020, estes custos alcançaram US\$ 180 bilhões e, considerando-se os custos em cascata e impactos sobre os ecossistemas, esse valor ultrapassa US\$ 2 trilhões. Cerca de 21% destes desastres globais ocorrem nas Américas (Liu et al., 2024). Neste contexto, o município de Vitória da Conquista experimentou situações de emergência para chuvas e alagamentos no período pós-pandêmico e demonstrou fragilidades em seu sistema de drenagem, com registro de uma morte em função deste tipo de desastre no ano de 2026 (SUDEC, 2025; CNN Brasil, 2026).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade e as tendências históricas dos índices pluviométricos extremos e suas implicações para a gestão urbana no município de Vitória da Conquista, principal polo econômico do sudoeste da Bahia. Somado a isso, este trabalho se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 11 e 13 da ONU, que visam, respectivamente, assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, promover

idades e comunidades sustentáveis e resilientes, e fomentar ações contra as mudanças globais do clima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Vitória da Conquista, na Bahia, 3º maior cidade do estado baiano que possui um território de aproximadamente 3.254 km², com população de 370.879 habitantes e densidade demográfica de 113,97 hab/km² (IBGE, 2022). Localizada a mais de 900m de altitude, possui um clima Tropical de Altitude, conhecida como "Suíça Baiana", a cidade destaca-se pelas temperaturas amenas, sendo uma das mais frias do Nordeste do Brasil (CAMPOS, 2020).

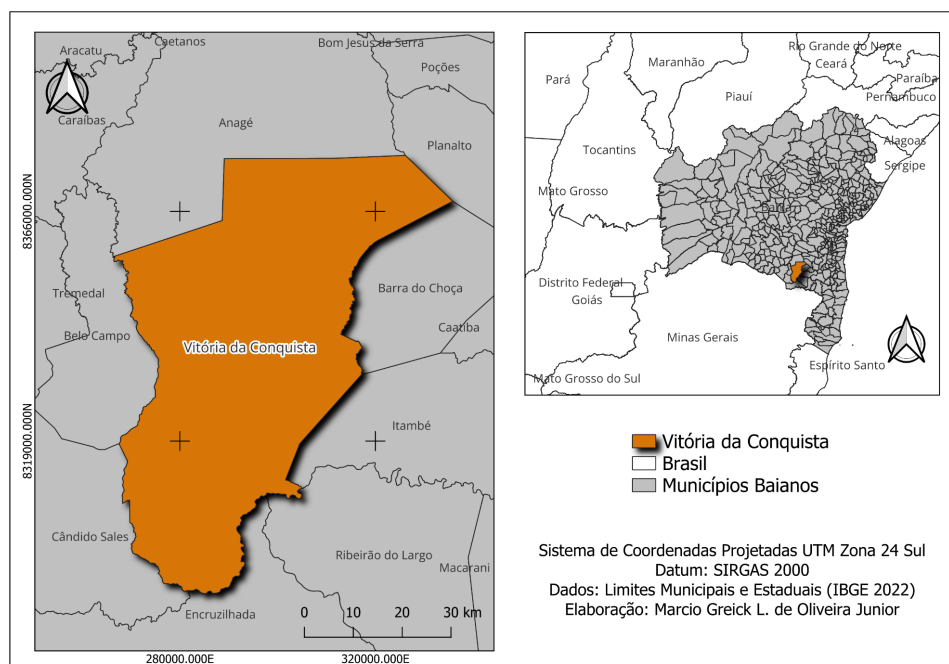


Figura 1 – Localização da área em estudo.

Base de dados e ferramentas utilizadas

Para a análise dos índices pluviométricos do município de Vitória da Conquista/BA, foi estruturada uma série histórica híbrida de precipitação diária compreendendo o período de 1961 e 2025, construída a partir da integração entre dados observados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados meteorológicos diários em grade disponibilizados por Xavier et al. (2022). A adoção dessa abordagem ocorreu em razão da preferência metodológica pelo uso de dados oriundos de estações meteorológicas observadas, por representarem medições diretas das condições locais de precipitação.

Para contornar falhas e descontinuidade temporal, a série observada adotou uma abordagem híbrida que integra os dados de Xavier et al. (2022) disponíveis de 1961 a 2023 com os do INMET, que estendem-se até 2025. Para melhor adequação e motivada pela divergência dos períodos, foi consolidada uma série histórica para análise de 1961 a 2023.

Os dados de Xavier et al. (2022) foram acessados por meio da plataforma XHidro, utilizando a ferramenta Climate2CSV, destinada à extração de séries temporais do *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD) para o Brasil. Essa ferramenta, integrante do conjunto HidroTools, permite o download facilitado de dados climáticos diários e sua aplicação em análises hidroclimáticas (dos Santos Araujo et al., 2025).

Após a consolidação da série histórica, os dados diários de precipitação foram processados para o cálculo dos índices climáticos de extremos pluviométricos recomendados pelo ETCCDI, incluindo PRCPTOT, Rx1day, Rx5day, SDII, R10mm, R20mm, CDD, CWD, R95p e R99p. Posteriormente, foram aplicados procedimentos estatísticos para identificação de tendências temporais, com uso do teste de Mann-Kendall e da estimativa de Sen's slope, permitindo avaliar tanto a significância estatística quanto a magnitude das mudanças observadas ao longo da série histórica.

O processamento dos dados, o cálculo dos índices e a aplicação dos testes estatísticos foram executados em linguagem Python, utilizando o ambiente de desenvolvimento Cursor, auxiliado por inteligência artificial na escrita, revisão e depuração dos scripts.

Índices de Extremos de Precipitação (ETCCDI)

Os Índices de Extremos Climáticos do ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices), estabelecidos pela WMO (World Meteorological Organization), constituem um conjunto de 27 indicadores de eventos climáticos extremos que avaliam frequência, intensidade e persistência de extremos climáticos de temperatura e precipitação, subsidiando estudos sobre variabilidade climática, riscos hidrológicos e planejamento urbano (WMO, 2024).

Para este estudo, foram selecionados 10 índices de extremos climáticos do ETCCDI relacionados à precipitação (Quadro 1). Embora esses índices representem magnitudes associadas às variáveis meteorológicas, cada um possui características e aplicações específicas, permitindo avaliar diferentes aspectos do regime pluviométrico, como intensidade, frequência, duração e persistência dos eventos extremos.

Quadro 1 - Índices de Extremos de Precipitação (ETCCDI) aplicados neste estudo.

Grupo	Índice	Descrição	Unidade
-------	--------	-----------	---------

Volume/intensidade	PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos	mm
	SDII	Intensidade média da chuva em dias com precipitação > 1 mm	mm/dia
	Rx1day	Maior precipitação em um dia	mm
	Rx5day	Maior precipitação acumulada em cinco dias consecutivos	mm
Frequência	R10mm	Número de dias com precipitação ≥ 10 mm	dias
	R20mm	Número de dias com precipitação ≥ 20 mm	dias
Períodos secos/úmidos	CDD	Maior sequência de dias secos consecutivos	dias
	CWD	Maior sequência de dias úmidos consecutivos	dias
Percentis extremos	R95p	Precipitação acumulada em dias acima do percentil 95	mm
	R99p	Precipitação acumulada em dias acima do percentil 99	mm

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 indica que a precipitação total anual acumulada em Vitória da Conquista/BA, representada pelo índice PRCPTOT, não apresentou tendência estatisticamente significativa no período de 1961 a 2023, conforme o p-valor de 0,5985 (Tabela 1). Isso sugere que, ao longo da série histórica analisada, não houve alteração consistente no volume total anual de chuva. Entretanto, a ausência de tendência no total pluviométrico não significa estabilidade no regime de precipitação, visto que os índices associados à intensidade dos eventos chuvosos apresentaram comportamento crescente e estatisticamente significativo.

O Rx1day, que representa a maior precipitação registrada em um único dia no ano, apresentou tendência crescente altamente significativa, com valor de Sen's slope de +0,696 mm/ano. O Rx5day também apresentou tendência crescente significativa, com aumento de +0,564 mm/ano, indicando intensificação dos maiores acumulados em cinco dias consecutivos. De forma semelhante, o SDII, que expressa a intensidade média da precipitação nos dias chuvosos, apresentou crescimento significativo de +0,041 mm/dia/ano. Dessa forma, embora o total anual de chuva não tenha aumentado de forma significativa, os eventos de precipitação vêm se tornando mais intensos, com maior concentração da chuva em episódios extremos ou de maior magnitude.

A identificação desse padrão é relevante para a cidade uma vez que o município vem enfrentando problemas significativos de drenagem urbana, com recorrentes episódios de alagamentos e sobrecarga do sistema de escoamento pluvial. A intensificação dos eventos de chuva

pode agravar esse cenário, ampliando os riscos de enxurradas, erosão, danos à infraestrutura urbana e impactos diretos à população, inclusive com registro de morte associada a eventos hidrológicos extremos no ano de 2026.

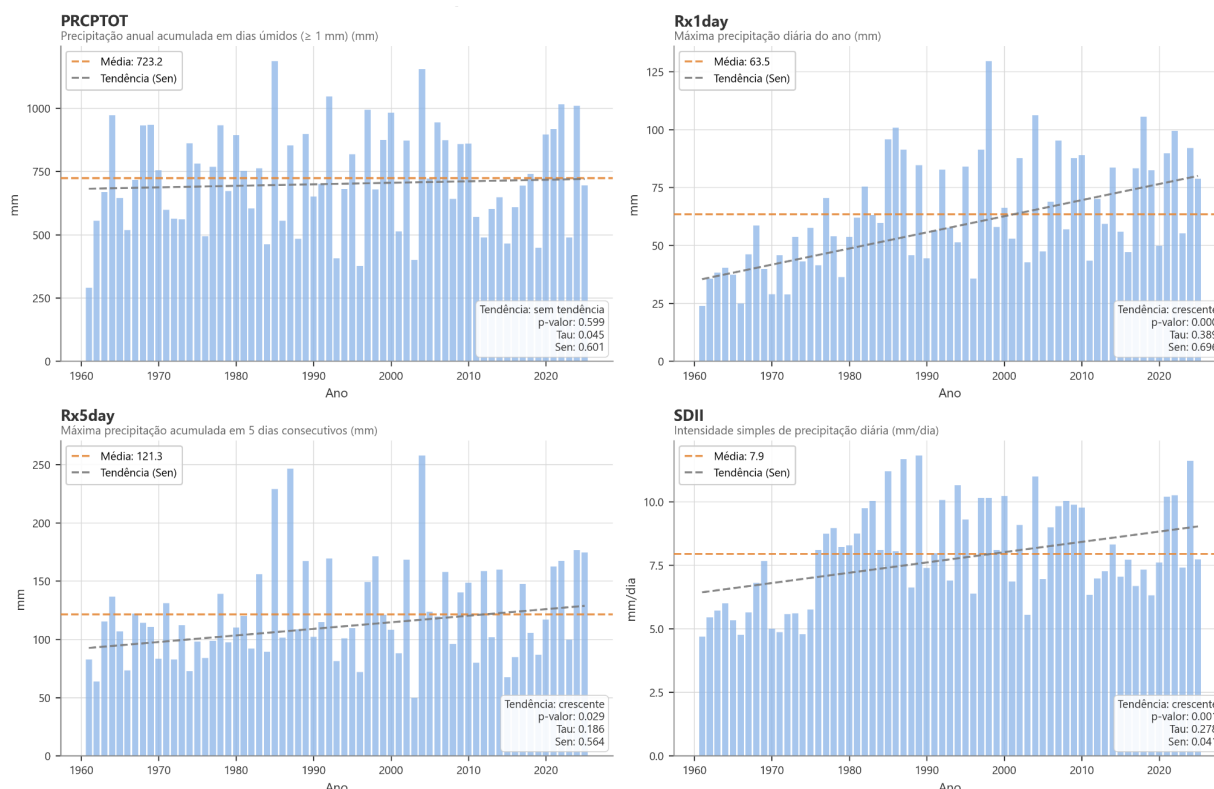


Figura 2 – Índices anuais PRCPTOT, Rx1day, Rx5day e SDII para o município de Vitória da Conquista/BA.

Tabela 1 – Análise de tendência para a série histórica de todos Índices de Extremos de Precipitação (ETCCDI).

Índice	Tendência	p-valor	Z	Tau	Sen's slope
PRCPTOT	sem tendência	0,5985	+0,527	+0,045	+0,601 mm/ano
Rx1day	crescente***	0,000005	4,580	+0,389	+0,696 mm/ano
Rx5day	crescente*	0,0293	2,180	+0,186	+0,564 mm/ano
SDII	crescente**	0,0011	3,267	+0,278	+0,041 mm/dia/ano
R10mm	sem tendência	0,6659	-0,432	-0,037	0,000 dias/ano
R20mm	crescente*	0,0143	2,450	+0,208	+0,069 dias/ano
CDD	sem tendência	0,4928	+0,686	+0,059	+0,043 dias/ano
CWD	decrésciente*	0,0257	-2,231	-0,189	-0,053 dias/ano
R95p	crescente***	0,000022	4,247	+0,361	+3,414 mm/ano
R99p	crescente***	0,000188	+3,735	+0,303	+1,358 mm/ano

Níveis de significância: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

A Figura 3 apresenta os índices associados à frequência de dias chuvosos e à duração de sequências secas e úmidas em Vitória da Conquista/BA. O índice R10mm não apresentou tendência estatisticamente significativa no período analisado, de acordo com a Tabela 1. Esse resultado indica que a frequência de dias com chuvas moderadas permaneceu relativamente estável ao longo da série histórica. Por outro lado, o índice R20mm apresentou tendência crescente significativa. Isso sugere um aumento na ocorrência de dias com chuvas mais intensas, reforçando o padrão já observado nos índices de intensidade da precipitação.

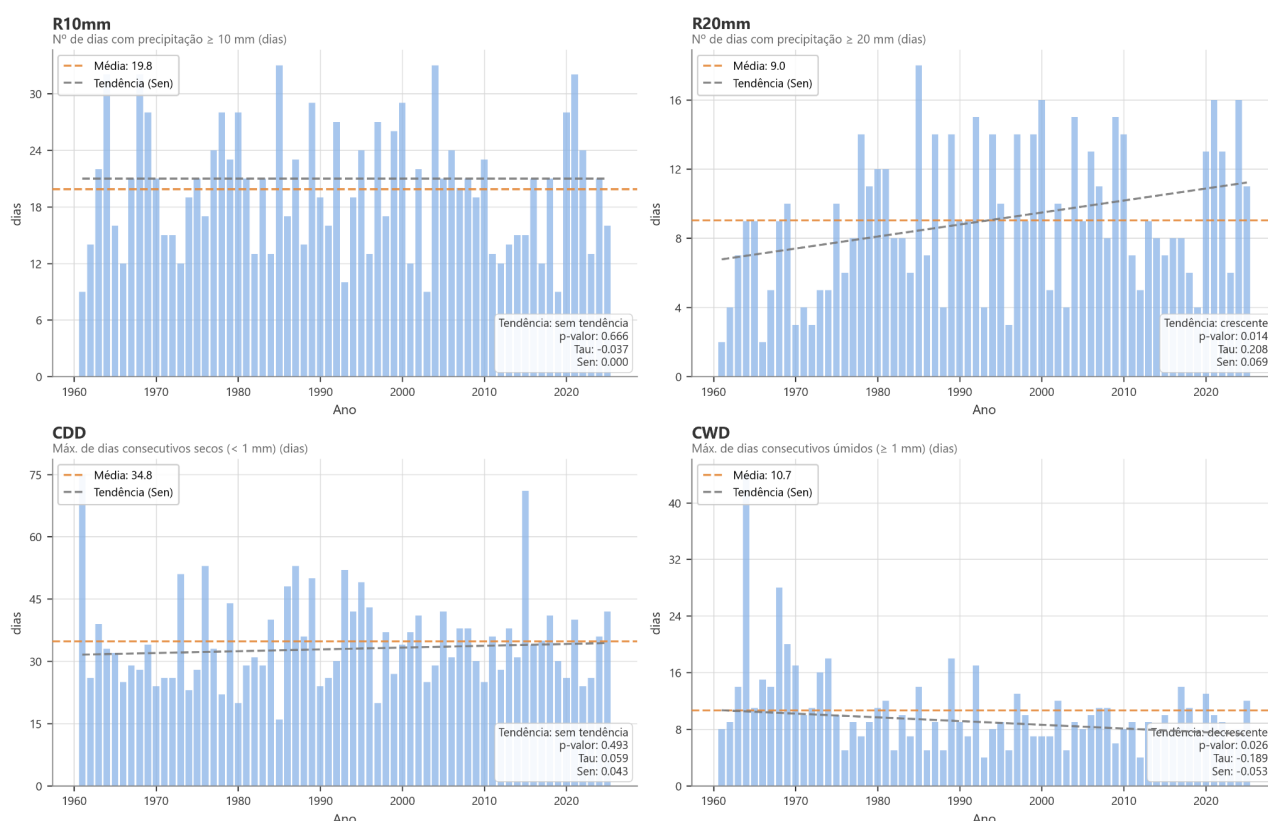


Figura 3 – Índices anuais R10mm, R20mm, CDD e CWD para o município de Vitória da Conquista/BA.

Em relação à persistência dos períodos secos e úmidos, o CDD, que expressa o maior número de dias secos consecutivos no ano, não apresentou tendência significativa. Assim, não há evidência estatística de aumento ou redução da duração máxima dos períodos secos. Já o CWD, que representa o maior número de dias úmidos consecutivos, apresentou tendência decrescente significativa. Esse comportamento indica uma possível redução na sequência de dias chuvosos, sugerindo que as chuvas podem estar ocorrendo de forma menos contínua e mais concentrada em eventos isolados de maior intensidade.

O entendimento desse padrão é de grande relevância para a área em estudo, pois pode agravar os problemas de drenagem urbana já enfrentados pelo município: mesmo sem aumento

expressivo na quantidade de dias chuvosos ou no total anual de precipitação, a maior ocorrência de eventos acima de 20 mm e a redução da continuidade dos dias úmidos indicam uma chuva mais concentrada, com maior potencial de gerar escoamento superficial rápido, alagamentos e sobrecarga do sistema urbano de drenagem.

A Figura 4 apresenta os índices R95p e R99p, que representam, respectivamente, a precipitação anual acumulada em dias muito chuvosos, acima do percentil 95, e em dias extremamente chuvosos, acima do percentil 99. Diferentemente do índice PRCPTOT, que não apresentou tendência significativa para o total anual de precipitação, os índices extremos indicam aumento expressivo da contribuição dos eventos mais intensos para o regime pluviométrico de Vitória da Conquista/BA. O R95p apresentou tendência crescente altamente significativa, com p-valor de 0,000022, Z de +4,247, Tau de +0,361 e Sen's slope de +3,414 mm/ano, evidenciando que os dias classificados como muito chuvosos passaram a contribuir de forma crescente para o acumulado anual de precipitação.

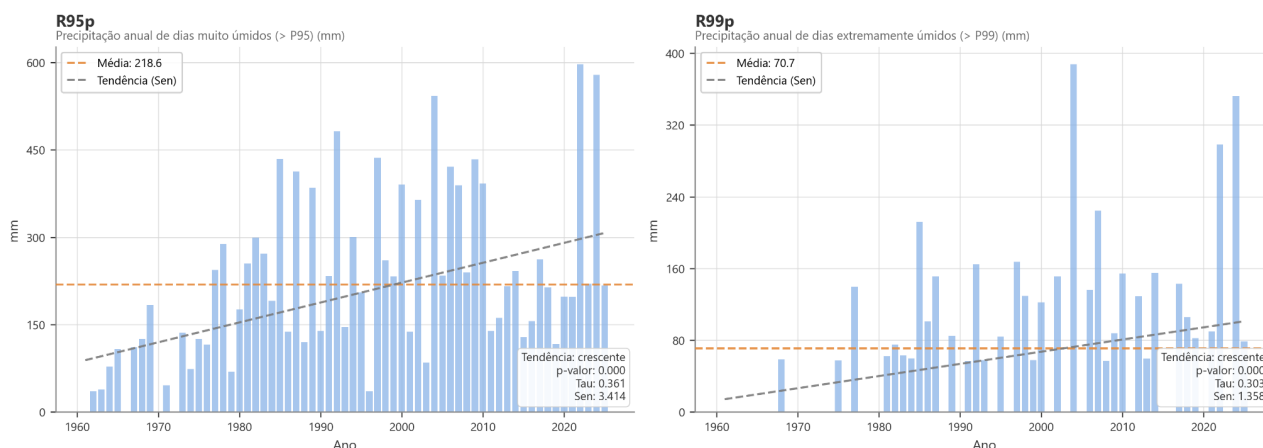


Figura 4 – Índices anuais R95p e R99p para o município de Vitória da Conquista/BA.

O índice R99p também apresentou tendência crescente altamente significativa, com p-valor de 0,000188, Z de +3,735, Tau de +0,303 e Sen's slope de +1,358 mm/ano. Esse resultado reforça a intensificação dos eventos extremos de precipitação no município, indicando que os episódios mais raros e severos também vêm aumentando ao longo da série histórica. Em conjunto, R95p e R99p sugerem uma mudança importante no padrão da chuva em Vitória da Conquista: mesmo sem aumento significativo do volume anual total, há maior participação dos eventos extremos na composição da precipitação. Esse comportamento é preocupante para o planejamento urbano e ambiental, especialmente em um contexto no qual a cidade já enfrenta problemas significativos de drenagem urbana, com sistema sobrecarregado e registro de morte associada a evento hidrológico extremo em 2026.

CONCLUSÕES

A análise dos dados evidenciou uma intensificação expressiva dos eventos extremos de precipitação entre 1961 e 2025, identificada em 6 dos 10 índices ETCCDI avaliados. Embora a precipitação total anual, representada pelo PRCPTOT, não tenha apresentado tendência significativa, os resultados indicam mudanças importantes na distribuição temporal das chuvas, com maior concentração de eventos intensos em determinados períodos.

Observou-se redução das sequências úmidas, indicada pela tendência decrescente do CWD, enquanto as sequências secas, representadas pelo CDD, mantiveram comportamento relativamente estável. Os índices Rx1day e R95p apresentaram as tendências mais fortes, sugerindo aumento da intensidade das chuvas extremas diárias e maior contribuição dos dias muito chuvosos para o total precipitado. Além disso, a concentração de recordes de R95p e R99p entre 2020 e 2025 reforça a necessidade de incorporar cenários de chuvas extremas mais frequentes e intensas ao planejamento urbano, agrícola e à gestão dos recursos hídricos.

Dessa forma, diante do contexto de mudanças climáticas, torna-se fundamental que o município adote estratégias preventivas e adaptativas, considerando a intensificação dos eventos extremos como elemento central para o ordenamento territorial, a infraestrutura urbana, a drenagem, a segurança hídrica e a redução de riscos socioambientais.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A. A.; MUHAMMED Z. K.; EYÜP, S. (2025) “*Trend analysis of hydro-meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's Slope with Standardization (SSS): Case study of the Kızılırmak catchment, Türkiye*”. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, [S.L], v. 141. p. 104115. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.104115>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706525002657>. Acesso em: 17 abr. 2026.
- ANDREADIS, K. M.; OLIVER, A. J. W.; EMMA, C.; COLIN, J. G.; PAUL, D. B.; CASEY, M. B. (2022) “*Urbaning the floodplain: Global changes of imperviousness in flood-prone areas*”. Environmental Research Letters, [S.L], v. 17. p. 104024. IOP Publishing. <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac9197>
- DOS SANTOS ARAUJO, D. C., BANDEIRA RODRIGUES, A., & MENEZES DE FARIAS, V. E. (2025). HidroTools - Integrated Tools for Hydroclimatic Data Analysis v1.3. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16920099>
- CAMPOS, W. V.; RAMPAZZO, M. C.; VIANA, B. A. R. “*Caracterização temporal dos elementos meteorológicos precipitação e temperatura do ar no município de Vitória da Conquista – BA*”.

Revista Agrária Acadêmica, v. 3, n. 3, p. 71-86. Disponível em: <https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2020/06/Rev-Agr-Acad-v3-n3-2020-p71-86-Characterizacao-temporal-dos-elementos-meteorologicos-precipitacao-e-temperatura-do-ar-no-municipio-de-Vitoria-da-Conquista-BA.pdf>. Acesso em 14 mai. 2026.

CHEN, H.; LO, J. T. Y. (2026) “*Impact of urban gray infrastructure on urban flooding: a city-scale drainage and surface water modeling framework*”. International Journal of Disaster Risk Reduction, [S.L], v. 133. p. 105907. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105907>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420925007319#BIB4>. Acesso em: 16 abr. 2026.

CNN BRASIL (2026) “*Mulher segue desaparecida após ser arrastada por enxurrada na Bahia*”. Salvador, 11 mar. 2026. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/nordeste/ba/mulher-segue-desaparecida-apos-ser-arrastada-por-enxurrada-na-bahia/>. Acesso em: 12 maio 2026.

GETIRANA, A.; MANDARINO, F.; MONTEZUMA, P. N.; KIRSCHBAUM, D. (2023) “*An urban drainage scheme for large-scale flood models*”. Journal of Hydrology, [S.L], v. 627, part A, p. 130410. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130410>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169423013525>. Acesso em: 16 abr. 2026.

KENDALL, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. GRIFFIN LONDON Londres- UK, 202 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/721936787/Maurice-G-Kendall-Rank-Correlation-Methods-z-lib-org>. Acesso em 17 abr. 2026.

SUDEC. SUPERINTENDÊNCIA DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (2025) “*Defesa Civil da Bahia realiza balanço após fortes chuvas registradas nos últimos três dias*”. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/defesacivil/noticias/2025-10/7673/defesa-civil-da-bahia-realiza-balanco-apos-fortes-chuvas-registradas-nos>. Acesso em: 07 mai. 2026.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão da drenagem urbana. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil; Ipea, 2012. 50 s. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/ebaecae-a626-4fff-abe5-17cf890113d5>. Acesso em: 14 mai. 2026.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W., ALVES, A. I. (2022). *New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020)*. International Journal of Climatology, 42(16), 8390– 8404. Disponível em: <https://sites.google.com/site/alexandrecandidoxavierufes/brazilian-daily-weather-gridded-data>. Acesso em 27 abr. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Climate Change Detection and Indices*. Geneva, 2024. Disponível em: <https://wmo.int/climate-change-detection-and-indices>. Acesso em: 12 maio 2026.