



Estudo de eventos hidrológicos extremos: Tendências e impactos socioambientais na cidade de Óbidos (Pará)

Wanessa dos Santos Menezes^{1*}, Luanna Costa Dias², Lindemberg Lima Fernandes³, Ana Paula Bragança Da Silva⁴

¹Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil. (*Autor correspondente: wanessamenezes1999@gmail.com)

²Mestre em Engenharia Civil-Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil.

³Doutor em Ciências pelo Núcleo de Estudos em Advocacia Empresarial (NEAE), Professor Titular Adjunto da Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Brasil.

⁴Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 17/04/2026 – Revisado em: 30/05/2026 – Aceito em: 20/08/2026

RESUMO

Este estudo analisa as tendências das vazões do Rio Amazonas na estação fluviométrica de Óbidos (PA), com base em uma série histórica de dados compreendida entre 1970 à 2023, visando compreender alterações no regime hidrológico e seus possíveis impactos socioambientais, sendo adotada uma abordagem quantitativa com aplicação do teste não paramétrico de Mann Kendall e do estimador de inclinação de Sen para identificação e quantificação de tendências temporais. Os resultados evidenciaram aumento significativo das vazões durante o período chuvoso e redução nos meses associados à estação seca, indicando intensificação da sazonalidade hidrológica, caracterizada por cheias mais volumosas e estiagens mais severas ao longo das últimas décadas. Além disso, a análise integrada com registros documentais permitiu verificar correspondência entre as tendências observadas e a ocorrência de eventos hidrológicos extremos no município, tais como enchentes e secas, que têm provocado impactos relevantes, incluindo alagamentos, deslocamento de populações, prejuízos à infraestrutura e limitações nas atividades econômicas locais. Sendo assim, os resultados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica hidrológica da bacia amazônica e reforçam a importância do monitoramento contínuo e da aplicação de métodos estatísticos no suporte à gestão de recursos hídricos e ao planejamento territorial em regiões vulneráveis.

Palavras-Chaves: Regime hidrológico, Tendência temporal, Eventos extremos, Rio Amazonas.

Study of extreme hydrological events: Trends and socio-environmental impacts in the city of Óbidos, Pará (Brazil)

ABSTRACT

This study analyzes trends in Amazon River discharge at the Óbidos (PA) gauging station, based on a historical data series spanning 1970 to 2023, with the aim of understanding changes in the hydrological regime and their potential socio-environmental impacts. A quantitative approach was adopted, applying the nonparametric Mann Kendall test and Sen's slope estimator to identify and quantify temporal trends. The results showed a significant increase in discharge during the rainy season and a decrease in the months associated with the dry season, indicating an intensification of hydrological seasonality, characterized by more voluminous floods and more severe droughts over the past decades. Furthermore, the integrated analysis with documentary records allowed for the verification of a correspondence between the observed trends and the occurrence of extreme hydrological events in the municipality, such as floods and droughts, which have caused significant impacts, including flooding, population displacement, damage to infrastructure, and limitations on local economic activities. Thus, the results contribute to advancing knowledge about the hydrological dynamics of the Amazon basin and reinforce the importance of continuous monitoring and the application of statistical methods to support water resource management and territorial planning in vulnerable regions.

Keywords: Hydrological regime, Temporal trend, Extreme events, Amazon River.

Menezes, W. S., Dias, L. C., Fernandes, L. L., & Silva, A. P. B. (2026). Estudo de eventos hidrológicos extremos: Tendências e impactos socioambientais na cidade de Óbidos (Pará). *Meio Ambiente (Brasil)*, v.8, n.3, p.02-14.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

A bacia Amazônica constitui o maior sistema hidrográfico do planeta, responsável por aproximadamente 20% da descarga de água doce que chega aos oceanos em escala global, desempenhando papel fundamental na regulação do clima, na dinâmica hidrológica continental e na manutenção de ecossistemas de grande relevância ambiental (Filizola & Guyot, 2011; Marengo & Espinoza, 2016). Nesse contexto, o monitoramento das variações hidrológicas do Rio Amazonas torna-se essencial para compreender a dinâmica climática e ambiental da região. Entre os pontos estratégicos de monitoramento destaca-se o município de Óbidos, localizado no estado do Pará, onde o rio apresenta um estreitamento natural que concentra grande parte do fluxo hídrico da bacia, permitindo medições mais precisas das vazões e tornando a estação fluviométrica local uma das mais importantes para o acompanhamento hidrológico da Amazônia (ANA, 2025).

Nas últimas décadas, diversos estudos têm evidenciado mudanças significativas no comportamento hidrológico de grandes rios do mundo em suas bacias hidrográficas, frequentemente associadas ao aumento da variabilidade climática e à intensificação do ciclo hidrológico global. Essas mudanças estão diretamente relacionadas à maior ocorrência de eventos extremos, os quais podem ser definidos como fenômenos climáticos ou hidrológicos raros que apresentam magnitudes significativamente superiores ou inferiores aos valores normalmente observados em uma determinada série histórica (IPCC, 2021; Marengo, 2008). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), eventos extremos incluem enchentes, secas prolongadas, precipitações intensas e outras anomalias climáticas capazes de provocar impactos significativos sobre sistemas naturais e sociais (IPCC, 2021).

Em escala global, a ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos têm se intensificado ao longo das últimas décadas, refletindo mudanças observadas nos padrões climáticos e na variabilidade atmosférica. Dados compilados pela World Meteorological Organization (WMO) indicam que mais de 90% dos desastres naturais registrados entre 1970 e 2019, em que estão associados a eventos relacionados ao clima, à água ou à meteorologia, afetando milhões de pessoas e causando prejuízos econômicos significativos em diversas regiões do planeta (WMO, 2021). Nesse contexto, Diffenbaugh, Singh e Mankin (2017) ressaltam que o aquecimento global tem contribuído para a intensificação do ciclo hidrológico, resultando em eventos de precipitação mais intensos em determinadas regiões e períodos de seca mais severos em outras.

Na Amazônia, esses processos se manifestam por meio de alterações no regime hidrológico dos principais rios, refletindo mudanças nos padrões de precipitação, evapotranspiração e circulação atmosférica. Estudos recentes indicam que a região tem experimentado maior variabilidade hidrológica desde o início do século XXI, evidenciada pela ocorrência de secas severas em anos como 2005, 2010 e 2015, bem como por enchentes históricas registradas em diferentes trechos da bacia amazônica (Marengo & Espinoza, 2016; Espinoza et al., 2013; Lira, Fernandes & Ishihara, 2022). Essas oscilações extremas no nível dos rios estão frequentemente associadas a fenômenos climáticos de grande escala, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e as anomalias de temperatura da superfície do Atlântico tropical, que influenciam diretamente os padrões de precipitação sobre a Amazônia (Espinoza et al., 2013).

Além de suas implicações ambientais, os eventos hidrológicos extremos produzem impactos socioeconômicos significativos, especialmente em regiões onde a população apresenta forte dependência dos recursos hídricos. Na Amazônia, comunidades ribeirinhas e populações urbanas localizadas em áreas de várzea estão particularmente expostas aos efeitos de enchentes e estiagens severas, sendo que, durante episódios de cheia extrema, são comuns os alagamentos de áreas urbanas e rurais, o deslocamento de famílias, prejuízos à infraestrutura e interrupções em atividades econômicas locais (Marques, Ribeiro & Bartoli, 2024). Por outro lado, períodos prolongados de estiagem podem comprometer a navegabilidade dos rios, afetar o abastecimento de água, reduzir a disponibilidade de recursos pesqueiros e intensificar a vulnerabilidade socioambiental das populações locais (Marengo & Espinoza, 2016).

No município de Óbidos, essas variações hidrológicas apresentam impactos diretos sobre a dinâmica socioeconômica local, uma vez que o Rio Amazonas constitui o principal eixo de transporte, abastecimento e integração territorial da região. Eventos de enchentes registrados nas últimas décadas resultaram em alagamentos de bairros ribeirinhos, deslocamento de famílias e danos à infraestrutura urbana, enquanto períodos de seca extrema afetaram a navegação fluvial e as atividades econômicas dependentes do sistema hidrográfico. Dessa forma, compreender o comportamento hidrológico do Rio Amazonas ao longo do tempo torna-se fundamental para subsidiar estratégias de planejamento territorial, gestão de recursos hídricos e mitigação de riscos associados a desastres naturais.

Nesse contexto, a análise estatística de séries temporais hidrológicas constitui uma ferramenta essencial para identificar tendências, padrões de variabilidade e possíveis alterações no regime de vazões ao longo do tempo. Métodos estatísticos não paramétricos têm sido amplamente utilizados em estudos hidrológicos devido à sua robustez frente a dados que frequentemente apresentam assimetria, ausência de normalidade e presença de valores extremos. Entre esses métodos destacam-se o teste de Mann Kendall e o estimador de inclinação Sen's slope, amplamente empregados na literatura científica para detectar tendências monotônicas em séries temporais ambientais e quantificar a magnitude das mudanças observadas (Mann, 1945; Kendall, 1975; Sen, 1968; Hirsch et al., 1982). Conforme destacado pela WMO, esses métodos são particularmente adequados para análises hidrológicas e climatológicas de longo prazo, sendo amplamente recomendados para estudos de detecção de tendências em dados ambientais (WMO, 2011).

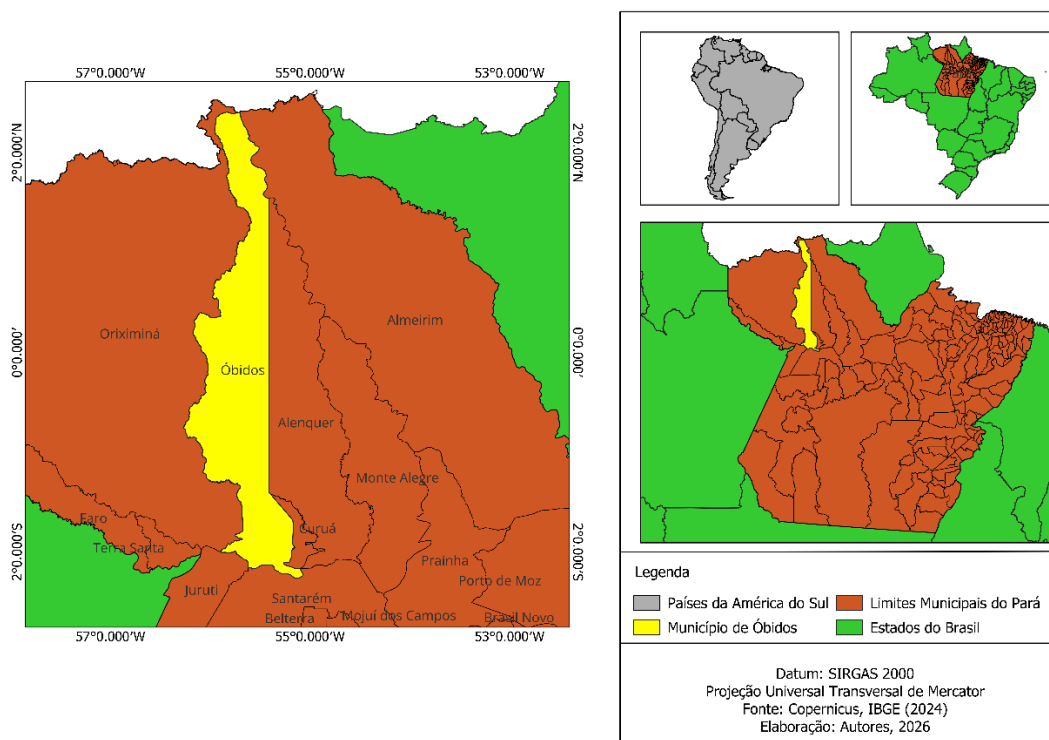
Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender como o regime hidrológico do Rio Amazonas tem evoluído ao longo das últimas décadas, especialmente em pontos estratégicos de monitoramento como a estação fluviométrica de Óbidos. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a tendência temporal das vazões do Rio Amazonas na estação de Óbidos (PA), utilizando séries históricas de dados hidrológicos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A partir da aplicação do teste de Mann Kendall e do estimador de inclinação Sen's slope, busca-se identificar possíveis alterações no comportamento hidrológico ao longo do período analisado, bem como discutir suas implicações para a ocorrência de eventos extremos e para os impactos socioambientais associados ao regime fluvial da região.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O município de Óbidos, localizado na região oeste do estado do Pará, integra a mesorregião do Baixo Amazonas e apresenta significativa relevância territorial no contexto amazônico. A partir dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), o município possui uma área territorial de 28.009,656 km² (Figura 1). No último censo demográfico realizado em 2022, a população foi estimada em 52.229 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 1,86 hab/km², o que evidencia a baixa concentração populacional e a ampla distribuição espacial dos habitantes, característica comum de municípios amazônicos com extensas áreas naturais e ocupação dispersa.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Óbidos, PA
 Figure 1 – Map showing the location of the municipality of Óbidos, PA



Fonte: Autores (2026)
Source: Authors (2026)

De acordo com informações da Prefeitura Municipal de Óbidos, o município apresenta organização territorial composta por áreas urbanas e diversas comunidades rurais e ribeirinhas, com desafios relacionados à infraestrutura, acesso a serviços básicos e integração territorial. A dinâmica socioeconômica local envolve atividades como agricultura familiar, pesca artesanal, extrativismo vegetal e comércio, desempenhando papel importante na subsistência da população. Além disso, a gestão municipal destaca a necessidade de planejamento urbano e ambiental voltado à redução de vulnerabilidades, especialmente em áreas suscetíveis a impactos ambientais, reforçando a importância de estudos técnicos que subsidiem a tomada de decisão e o ordenamento do território.

2.2 Tipo de pesquisa e base de dados hidrológico

A pesquisa adotada possui caráter quantitativo, descritivo e explicativo, buscando compreender como as vazões do Rio Amazonas, monitoradas na estação fluviométrica de Óbidos (PA), evoluíram ao longo de 54 anos (1970-2023). A escolha por esse recorte temporal e metodológico se justifica pelo objetivo de identificar padrões de comportamento hidrológico de longo prazo, possibilitando avaliar a presença de tendências estatisticamente significativas associadas a mudanças ambientais e a impactos socioeconômicos sobre a população local.

Os dados hidrológicos utilizados foram obtidos no portal HidroWeb, da ANA, referentes à estação Óbidos, código 17050001. Foram extraídas séries de vazão média mensal, além das vazões máximas e mínimas anuais, constituindo um conjunto de informações para análises estatísticas de tendência temporal. O tratamento

prévio dos dados envolveu organização, padronização e verificação de consistência, conforme recomendado por Hirsch, Slack & Smith (1982).

2.3 Teste de tendência de Mann Kendall e estimador de inclinação de Sen (*sen's slope*)

O teste Mann Kendall (MK) é um método estatístico não paramétrico amplamente utilizado para detectar tendências monotônicas em séries temporais ambientais, especialmente hidrológicas e climatológicas. Sua robustez e independência da distribuição dos dados o tornaram um dos testes mais recomendados pela literatura (Mann, 1945; Kendall, 1975; Hirsch, Slack & Smith, 1982).

Esse teste compara todos os pares possíveis de observações ao longo do tempo para determinar se existe predominância de aumentos ou diminuições na série. O cálculo do estatístico S, originalmente apresentado por Mann (1945), baseia-se na soma dos sinais das diferenças entre pares de dados (Equação 1):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Conforme definido por Kendall (1975) (Equação 2), onde:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & x_j > x_i \\ 0, & x_j = x_i \\ -1, & x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

A variância de S e o valor padronizado Z também foram originalmente descritos por Kendall (1975), permitindo a avaliação estatística da significância da tendência (Equação 3):

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

O coeficiente Tau de Kendall (τ), introduzido por Kendall (1975), expressa a força da tendência, variando entre -1 e +1, enquanto o p-valor determina se a tendência é estatisticamente significativa ao nível de confiança estabelecido. Neste estudo, adotou-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), considerando como critério de decisão o valor crítico da distribuição normal padrão $Z_c = \pm 1,96$. Assim, valores de Z superiores a 1,96 indicam tendência crescente significativa, enquanto valores inferiores a -1,96 indicam tendência decrescente significativa.

Além da detecção da tendência, utilizou-se o estimador de Sen (Sen's Slope) para quantificar a magnitude da variação ao longo do tempo. Esse método foi inicialmente proposto por Sen (1968) e amplamente aplicado em hidrologia por Hirsch, Slack & Smith (1982). Ele calcula a inclinação anual a partir da mediana de todas as inclinações calculadas entre pares de observações (Equação 4):

$$Q_i = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (4)$$

A mediana dos Q_i representa a inclinação anual (Sen's slope). Valores positivos indicam tendência crescente; valores negativos, tendência decrescente.

Ambos os métodos são recomendados internacionalmente por instituições como a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2011) devido à sua eficiência em séries com ruído, ausência de normalidade e presença de assimetria, características comuns de dados hidrológicos e climatológicos. A aplicação dos métodos foi realizada no software R, utilizando as funções *mk.test()* e *sens.slope()* disponíveis no pacote *trend*, conforme orientação metodológica apresentada por Hipel & McLeod (1994).

3. Resultados e Discussão

A análise de tendência das vazões médias mensais, conduzida por meio do teste de Mann Kendall e do estimador de Sen, revelou comportamentos distintos ao longo do ciclo hidrológico anual. Os meses do período úmido (fevereiro a julho) apresentaram tendências crescentes e estatisticamente significativas, com destaque para março, abril, maio e junho, cujos valores de Z variaram entre 2,79 e 3,29, e p-valor < 0,01. Esses resultados reforçam de forma consistente a intensificação das vazões durante o período chuvoso, indicando não apenas o aumento progressivo dos volumes escoados, mas também uma maior concentração e persistência das cheias ao longo dos anos, o que sugere elevação na magnitude dos picos sazonais e maior potencial de ocorrência de eventos hidrológicos extremos nesse período. Os resultados obtidos a partir da aplicação do teste de MK e do estimador Sen's slope para cada mês da série histórica encontram-se sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados teste de Mann Kendall e Indicador de Sen's Slope utilizando 54 anos de dados (1970 a 2023)
Table 1 – Mann Kendall test results and Sen's Slope indicator using 54 years of data (1970 to 2023)

Meses	S	Tau	Z	p-valor	Sen's slope (m³/s)	Interpretação
Janeiro	1.39	9,7135	1,0295	0,3032	161,4	Tendência crescente não significativa, vazões estáveis ao longo do tempo.
Fevereiro	3.01	2,1034	2,2381	0,02521	311,7	Tendência crescente significativa, aumento das vazões no início do período chuvoso.
Março	3.75	2,6205	2,7902	0,005268	439,6	Tendência crescente forte e significativa, intensificação das vazões de cheia nesse período.
Abril	4,37	3,0538	3,2527	0,001143	519,8	Tendência fortemente crescente, aumento consistente das vazões sazonais.
Maio	4,43	3,0957	3,2975	0,000976	481,9	Tendência crescente muito significativa, aumento expressivo das vazões no pico do período úmido.
Junho	4,19	2,928	3,1184	0,001818	413,5	Tendência crescente significativa, maior persistência das cheias ao fim da estação chuvosa.
Julho	3,13	2,1873	2,3276	0,01993	299,1	Tendência crescente significativa, vazões permanecem elevadas na transição para o período seco.
Agosto	1,57	1,0971	1,1638	0,2445	164,2	Tendência crescente não significativa, vazões estáveis ao longo dos anos.
Setembro	-5,5	-3,8435	-0,40286	0,687	-76,75	Tendência decrescente não significativa, vazões estáveis com leve redução no início do período seco.
Outubro	-321	-0,2243	-2,3873	0,01697	-409	Tendência decrescente significativa, redução consistente das vazões no auge da estiagem.
Novembro	-333	-0,2327	-2,4769	0,01325	-362,6	Tendência decrescente significativa, maior severidade do período seco.

Dezembro	-174	-0,1216	-1,2907	0,1968	-204,4	Tendência decrescente não significativa, início de recuperação das vazões sem mudança expressiva.
----------	------	---------	---------	--------	--------	---

Fonte: Autores (2026)
Source: Authors (2026)

Os meses de transição (janeiro, agosto e setembro) não apresentaram tendência significativa, indicando comportamento hidrológico relativamente estável nessas etapas do ciclo anual. Porém, no período seco, especialmente outubro e novembro, verificou-se tendência significativamente decrescente ($p < 0,05$), com estimativas de Sen indicando reduções anuais expressivas. Esses resultados demonstram que a estação seca se tornou progressivamente mais severa ao longo das décadas, com diminuição consistente das vazões mínimas mensais.

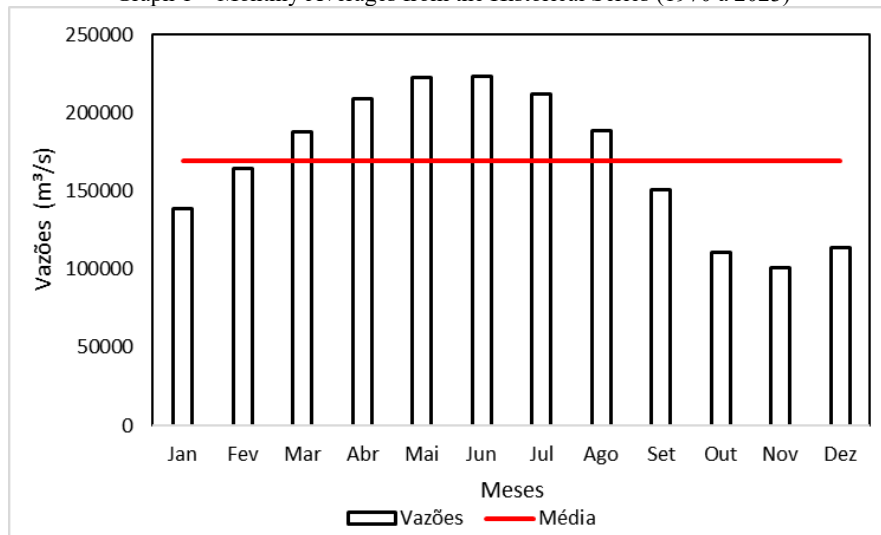
De modo geral, os resultados evidenciam um aumento expressivo da sazonalidade hidrológica ao longo das últimas décadas em Óbidos, manifestado simultaneamente pela intensificação das vazões durante o período chuvoso e pela redução progressiva das vazões no período seco. Esse padrão de contraste (cheias mais intensas e secas persistentes) corrobora com o encontrado por Dias et al. (2025) que identificou tendência significativa de aumento nas vazões máximas e diminuição das mínimas para Óbidos e com o trabalho de Fleischmann et al. (2023) que mapeou uma transição drástica para regimes de maior déficit hídrico na calha do Amazonas. Também Barichivich et al. (2018) observou intensificação dos picos de cheia, em que atribuiu ao aumento da amplitude da onda de inundação anual a alterações de grande escala na circulação atmosférica tropical.

A representação gráfica das vazões médias mensais ao longo dos 54 anos analisados apresentada no Gráfico 1 reforça visualmente os padrões estatísticos identificados pelo teste de Mann Kendall. Observa-se, de maneira bastante clara, que os maiores volumes de vazão se concentram entre março e agosto, período em que o teste indicou tendências crescentes estatisticamente significativas. Esse comportamento, evidenciado pela elevação consistente das curvas anuais ao longo desses meses, confirma a intensificação progressiva das cheias, conforme apontado pelos valores positivos de S , τ e Sen's slope. Por outro lado, a acentuada redução das vazões entre outubro e novembro, destacada no gráfico por um declínio recorrente na parte final do ciclo anual, alinha-se diretamente com as tendências decrescentes detectadas para esses meses, sugerindo que a estação seca se tornou mais severa ao longo do tempo. Vale destacar que há também influências dos fenômenos climáticos, que de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) houve ocorrência de El Niño: moderado (1979 a 1980), forte (1982-1983), forte (1987-1988), forte (1998-1998), forte (2015-2016) e forte em 2023-2024 que ocasionou secas severas na Amazônia.

Para complementar os resultados da Tabela 01, que avaliou a tendência da vazão média por mês ao longo de 1970 a 2023, tem-se a Figura 02 que é o hidrograma anual das vazões médias, máximas e mensais da estação de Óbidos. Ao analisar o hidrograma da vazão média tem-se uma peculiar ascendência comprovada pela linha de tendência no gráfico. Este aumento ainda é mais visível no gráfico da vazão máxima, principalmente a partir do ano de 2004. Fleischmann et al. (2023) mapeou que a severidade das cheias nas duas primeiras décadas do século XXI é 20% mais longa do que em todo o século XX utilizado a régua de Manaus e Óbidos.

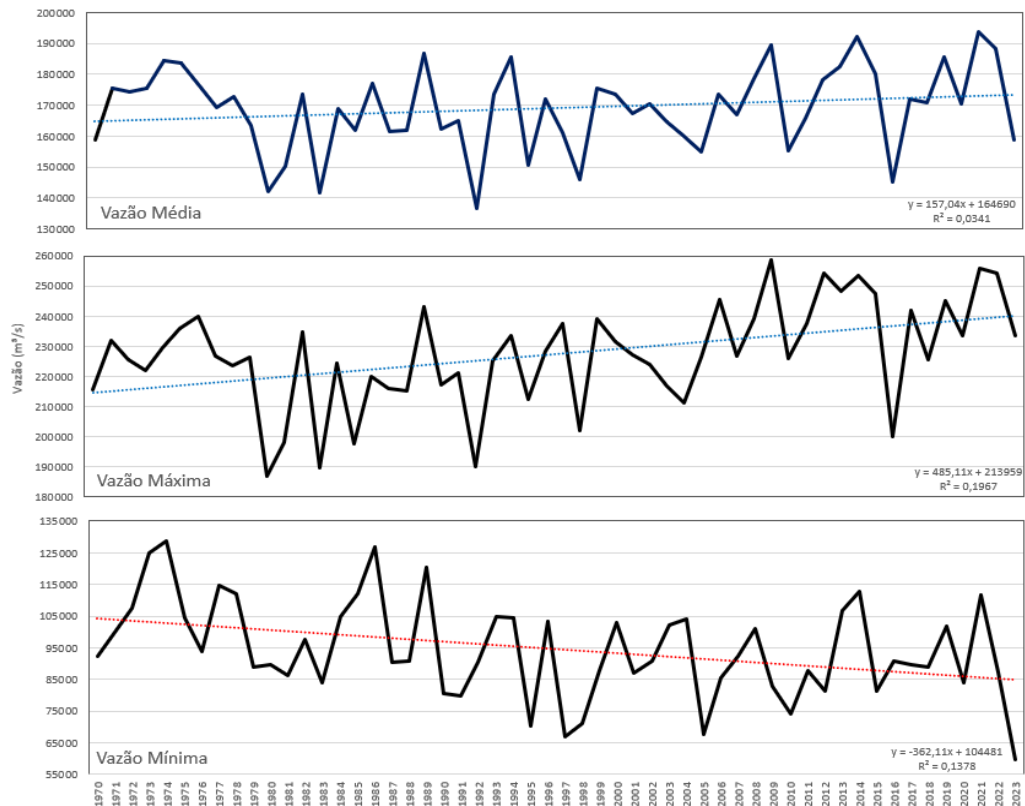
Já as vazões mínimas estão diminuindo, com linha de tendência negativa a partir de 1990 pelo gráfico. Esta análise corrobora com os dados da Tabela 01, que de fato os extremos estão cada vez mais intenso, onde a vazão máxima está com maiores picos e a estiagem com vazões cada vez menores, o que reflete um discreto aumento na vazão média como mostrado. O estudo de Dias et al. 2025 também evidenciou isso mesmo usando os dados até 2014, esta pesquisa mostra que os anos após 2014 continuam a manter as tendências de elevação das cheias em Óbidos.

Gráfico 1 – Médias Mensais da Série Histórica (1970 à 2023)
 Graph 1 – Monthly Averages from the Historical Series (1970 à 2023)



Fonte: Autores (2026)
 Source: Authors (2026)

Figura 2 – Vazão Média, Vazão Mínima e Vazão Máxima da Série Histórica (1970 à 2023)
 Figure 2 – Mean, Minimum, and Maximum Streamflow of the Historical Series (1970 to 2023)



Fonte: Autores (2026)
 Source: Authors (2026)

Com este panorama de intensidade dos extremos de máxima e mínima, em decorrência de alterações no regime hidrológico, e considerando o levantamento documental realizado em diferentes fontes oficiais, incluindo relatórios da Defesa Civil Municipal de Óbidos, registros administrativos disponibilizados pela Prefeitura e matérias extraídas de portais jornalísticos regionais, foi possível identificar um conjunto de eventos sociais e ambientais diretamente associados às oscilações hidrológicas observadas ao longo da série histórica, destacando-se episódios recorrentes de enchentes nos anos de 2009, 2012, 2014, 2021 e 2022, que resultaram em alagamentos extensivos de áreas urbanas e ribeirinhas, desalojamento de famílias, danos a residências e equipamentos públicos, além de prejuízos às atividades econômicas locais, sobretudo ao comércio e à pesca, bem como eventos de estiagem severa, como o registrado em 2023, caracterizado por níveis críticos do rio, dificuldades de navegação, isolamento de comunidades, comprometimento do abastecimento de água e, em vários casos, a necessidade de decretação de situação de emergência municipal, conforme dados oficiais da Defesa Civil. Os principais eventos hidrológicos registrados no município de Óbidos ao longo do período analisado, bem como seus impactos reportados em documentos oficiais e registros institucionais estão sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Eventos hidrológicos registrados entre 1970 e 2023
Table 2 – Events hydrological recorded between 1970 and 2023

Ano	Meses	Evento	Nível do Rio Amazonas	Famílias Afetadas	Resumo	Fonte
2023	Outubro	Seca Histórica	- 84cm	Muitas reportadas	Seca histórica: Situação de emergência reconhecida pelo Governo Federal.	Defesa Civil
2023	Março	Enchente	65.8mm de chuva	Muitas reportadas	Fortes chuvas, maior índice pluviométrico do ano.	Defesa Civil
2022	Junho	Enchente	8.27m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2022	Maio	Enchente	8.34m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2022	Abril	Enchente	8.25m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2022	Março	Enchente	7.41m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2021	Maio	Enchente	8.50m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2014	Maio	Enchente	8.18m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2012	Maio	Enchente	8.20m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil
2009	Maio	Enchente	8.60m	Muitas reportadas	Inundações	Defesa Civil

Fonte: Autores (2026)

Source: Authors (2026)

Ao estabelecer a relação entre esses registros e os resultados hidrológicos obtidos pelo teste de Mann Kendall, observa-se que tais episódios coincidem, de maneira bastante consistente, com os meses que apresentaram tendências crescentes significativas nas últimas décadas, sobretudo durante o período úmido, no qual se concentram os maiores aumentos das vazões e os valores estatísticos mais expressivos. Essa correspondência sugere que o aumento progressivo das vazões médias e intensificação dos extremos máximo e mínimo (Figura 02), captado estatisticamente pela análise de tendência, tem se materializado na intensificação das cheias recentes, indicando que os processos hidrológicos identificados nos dados não apenas são matematicamente detectáveis, mas também se refletem em efeitos concretos sobre a população e o território. Esses efeitos foram estudados por Santos et al. (2017) que estudou especificamente a bacia do Baixo Amazonas (que engloba Óbidos), em que observou que as cheias extremas sobrecarregam os sistemas individuais como fossas sépticas que são comuns na Amazônia em que ocasiona surtos de doenças de veiculação hídrica como a leptospirose. Já a seca força a população a consumir água salobra ou contaminada dos poços secos. A pesquisa de Silva et al. (2023) mostra o impacto do isolamento geográfico das secas para atendimento médico no Acre e Marengo et al. (2011) fala dos impactos devido ao ressecamento de várzea na mortalidade de peixes por hipóxia.

Por outro lado, quando se consideram os episódios de estiagem severa, como aquele registrado em 2023, verifica-se um alinhamento direto com os meses que exibiram tendência decrescente significativa, tais como outubro e novembro. Essa convergência de evidências reforça que a redução das vazões durante o período seco, no qual se concentram as reduções mais expressivas das vazões e os sinais estatísticos mais consistentes de declínio, identificada pela estatística de tendência, não é um fenômeno abstrato, mas sim um processo que repercute de forma clara em impactos socioambientais reais, como dificuldades no abastecimento, prejuízos à navegação, comprometimento da dinâmica das comunidades ribeirinhas e agravamento das condições de vulnerabilidade local, como mostrou os estudos citados.

Desse modo, os resultados hidrológicos e o levantamento documental, analisados conjuntamente, permitem compreender com maior profundidade como as mudanças observadas no regime das vazões se conectam diretamente aos eventos registrados ao longo das últimas décadas.

4. Conclusão

A análise das vazões do Rio Amazonas na estação fluviométrica de Óbidos (PA), com base na série histórica de 1970 a 2023, permitiu identificar mudanças relevantes no comportamento hidrológico do sistema fluvial ao longo das últimas décadas, sendo que a aplicação do teste de Mann-Kendall e do estimador de inclinação de Sen evidenciou que o regime hidrológico apresenta tendências distintas ao longo do ciclo anual, com aumento significativo das vazões durante o período chuvoso e redução nos meses associados à estação seca, o que demonstra a existência de um padrão sazonal cada vez mais acentuado ao longo do tempo.

Nesse contexto, observa-se um processo de intensificação da sazonalidade hidrológica, caracterizado por cheias progressivamente mais volumosas e estiagens potencialmente mais severas, de modo que os resultados indicam uma ampliação do contraste entre os períodos úmido e seco, refletindo alterações na dinâmica hidrológica da bacia amazônica, ao mesmo tempo em que esse comportamento se mostra consistente com evidências reportadas na literatura recente sobre variabilidade climática e mudanças no regime de precipitação na região.

Além disso, ao integrar os resultados estatísticos com os registros documentais de eventos hidrológicos, verifica-se que as tendências identificadas na série de vazões apresentam correspondência direta com episódios de enchentes e estiagens registrados no município de Óbidos ao longo das últimas décadas, evidenciando que tais alterações não se restringem ao campo teórico, mas se manifestam em impactos socioambientais concretos, como alagamentos urbanos, deslocamento de famílias, prejuízos à infraestrutura e limitações na navegação e no abastecimento durante períodos críticos.

Dessa forma, os resultados obtidos contribuem significativamente para a compreensão do comportamento hidrológico do Rio Amazonas em um dos principais pontos de monitoramento da bacia, uma vez que fornecem evidências quantitativas consistentes sobre mudanças no regime de vazões ao longo do tempo, ao passo que reforçam a importância da aplicação de métodos estatísticos de análise de tendências como ferramentas essenciais para o monitoramento hidrológico e para o suporte à formulação de políticas públicas voltadas à gestão de recursos hídricos e ao planejamento territorial em áreas suscetíveis a eventos extremos.

Por fim, destaca-se que a continuidade do monitoramento hidrológico, aliada ao desenvolvimento de estudos que integrem dados climáticos, hidrológicos e socioambientais, torna-se fundamental para compreender de forma mais abrangente as transformações em curso na dinâmica dos rios amazônicos, bem como para subsidiar estratégias mais eficazes de adaptação e mitigação dos impactos sobre as populações e os ecossistemas da região.

5. Agradecimentos

Agradecimento especial ao Grupo PET Engenharia Sanitária e Ambiental pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento deste trabalho, bem como à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, pelo suporte acadêmico e pela formação que possibilitou a realização desta pesquisa.

6. Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2025). *HidroWeb: Sistema de informações hidrológicas*. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

Barichivich, J., Gloor, E., Peylin, P., Brien, R. J. W., Schöngart, J., Espinoza, J. C., & Pattnayak, K. C. (2018). Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*, 4(9), eaat8785. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat8785>

Dias, L. C., Fernandes, L. L., Teixeira, L. C. G. M., Lira, B. R. P., & Barbosa, P. A. V. (2025). Trend analysis of streamflow and rainfall of Amazon River. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(4), 222. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05457-4>

Diffenbaugh, N. S., Singh, D., & Mankin, J. S. (2017). Quantifying the influence of global warming on unprecedented extreme climate events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(19), 4881–4886. <https://doi.org/10.1073/pnas.1618082114>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Frappart, F., Lavado, W., Santini, W., & Guyot, J. L. (2013). The Major Floods in the Amazonas River and Tributaries (Western Amazon Basin) during the 1970–2012 Period: A Focus on the 2012 Flood*. *Journal of Hydrometeorology*, 14(3), 1000–1008. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0100.1>

Filizola, N., & Guyot, J. L. (2011). Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 41(4), 566–576. <https://www.scielo.br/rbgeo/a/H9RqgJd3FW6zhtYMpv3gngd/?format=pdf&lang=pt>

Fleischmann, A. S., Papa, F., Hamilton, S. K., Fassoni-Andrade, A., Wongchuig, S., Espinoza, J.-C., Paiva, R. C. D., Melack, J. M., Fluet-Chouinard, E., Castello, L., Almeida, R. M., Bonnet, M.-P., Alves, L. G., Moreira, D., Yamazaki, D., Revel, M., & Collischonn, W. (2023). *Increased floodplain inundation in the Amazon since*

1980. *Environmental Research Letters*, 18(3), 034024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb9a7>

Hipel, K. W., & McLeod, A. I. (1994). *Time series modelling of water resources and environmental systems*. Elsevier.
https://books.google.com/books/about/Time_Series_Modelling_of_Water_Resources.html?id=t1zG8OUbgd-gC

Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107–121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2025). *Cidades e Estados - Óbidos (PA)*. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/obidos.html>

IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.

Lira, B. R. P., Fernandes, L. L., & Ishihara, J. H. (2022). Pluviometric behavior and trends in the Legal Amazon from 1986 to 2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3), 1353-1367.

Mann, H. B. (1945). Analysis and design of experiments. *Annals of Mathematical Statistics*, 16(4), 357–364.

Marengo, J. A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos avançados*, 22, 83-96.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., & Rodríguez, D. A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12), L12703. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>

Marengo, J. A., & Espinoza, J. C. (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.

Marques, R. O., Ribeiro, J. J. S., & Bartoli, E. (2024). A CHEIA EXTREMA DE 2021 NA CIDADE DE BARREIRINHA (AM) E OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NO BAIRRO ULISSES GUIMARÃES. *Revista Geografar*, 19(1), 182–200. <https://doi.org/10.5380/geografar.v19i1.91746>

Óbidos.net. (2025). *Em Óbidos a enchente de 2021 está 10 cm abaixo da grande enchente de 2009*. <https://www.obidos.net.br/index.php/noticias/4224-em-obidos-a-enchente-de-2021-esta-10cm-abaixo-da-grande-enchente-de-2009>

Prefeitura de Óbidos. (2025). *Defesa civil municipal - boletins e relatórios*. <https://obidos.pa.gov.br/tag/defesa-civil-obidos/>

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., & Pimentel, M. A. S. (2017). Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 12(5), 842–854. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2017>

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://pacificclimate.org/~werner/ryp/Sen%201968%20JASA.pdf>

Silva, S. S., Brown, F., Sampaio, A. O., Silva, A. L. C., Santos, N. C. R. S., Lima, A. C., Aquino, A. M. S., Silva, P. H. C., Moreira, J. G. V., Oliveira, I., Costa, A. A., & Fearnside, P. M. (2023). Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21, 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.10.006>

World Meteorological Organization. (2011). *Guide to climatological practices* (3rd ed.). <https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/wmo40.pdf>

World Meteorological Organization. (2021). *Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2019)*. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019>