

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CHUVA INTERANUAL EM MACAPÁ (AP)

Ana Paula Nunes da Silva¹; Israel Mendes Negreiros²; Helyelson Paredes Moura³ & Carlos Henrique Medeiros de Abreu⁴

Abstract: The primary objective of this study was to investigate rainfall variability in Macapá (AP, Brazil), assessing the influence of atmospheric systems on precipitation patterns across the region. To achieve this, an interannual-scale analysis was conducted using meteorological data from two distinct stations: one situated in the urban core (SBMQ) and another in a peri-urban area (FAZ). Statistical methods were employed to evaluate rainfall trends and variability, including the Mann-Kendall test for trend detection, the sequential Mann-Kendall, and the Quantile Technique for threshold analysis. Significant differences in rainfall patterns were observed between the two stations, with the peri-urban FAZ station recording higher precipitation volumes compared to the urban SBMQ station. A statistically significant decreasing trend in annual rainfall was detected at the SBMQ station, suggesting long-term climatic shifts in the urban area. While the stations exhibited correlated rainfall behavior due to their geographic proximity, notable annual-scale differences were identified, likely attributable to localized environmental factors. The peri-urban FAZ station demonstrated higher threshold values across rainfall quantiles, reinforcing the observed spatial variability. The elevated rainfall in the peri-urban FAZ station may be linked to microclimatic influences, particularly the presence of preserved native vegetation within the adjacent Environmental Protection Area (APA). This green zone likely enhances convective processes and moisture retention, contributing to localized rainfall intensification. These findings underscore the role of land cover in modulating regional rainfall patterns and highlight the need for further research on urban-peri-urban climate interactions.

Resumo: o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da chuva na cidade de Macapá (AP), relacionando como os sistemas atmosféricos podem influenciar os padrões desta variável atmosférica na região. Para o desenvolvimento deste foram obtidos dados de duas estações meteorológicas situadas no centro (SBMQ) e outra em área periurbana (FAZ), fazendo-se análise em escala interanual. Foram utilizados métodos estatísticos para analisar os dados pluviométricos e identificar tendências temporais, através da aplicação dos testes de Mann-Kendall, teste sequencial de Mann-Kendall e da Técnica dos Quantis. Verificou-se que há variabilidade espaço-temporal significativa da chuva nos pontos estudados, a estação FAZ apresentou maiores volumes de chuvas com relação. A análise da tendência mostrou uma diminuição no volume de chuva na escala anual, na estação SBMQ apresentou tendência significativa. Os dados indicam uma correlação entre as estações uma vez que são áreas próximas, mas que apresentam diferenças de precipitação na escala anual. Pela técnica dos Quantis, em geral, os maiores valores limiares das classes foram maiores na região periurbana. A hipótese é que a FAZ fatores microclimáticos como áreas verdes como a Área de Proteção Ambiental (APA) nessa região, uma área preservada e de mata nativa, possa estar contribuindo para acentuar as chuvas localmente.

Palavras-Chave – Amazônia, Mann-Kendall, quantis.

¹) Professora Adjunta do Colegiado de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Amapá. ana.silva@ueap.edu.br

²) Engenheiro Ambiental. Universidade do Federal do Amapá. israelnegreiros@gmail.com

³) Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Federal do Amapá. helyelson@unifap.br

⁴) Professor Adjunto do Colegiado de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Amapá. carlos.abreu@ueap.edu.br

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas do planeta, impulsionadas pela Revolução Industrial, têm sido amplamente debatidas nas últimas décadas. Diversos artigos científicos buscam, dentre outros objetivos, identificar a influência das ações humanas sobre as alterações de temperatura, os episódios de chuvas intensas e as secas prolongadas. Além dos impactos da poluição, do desmatamento e da degradação dos recursos naturais, destaca-se a importância da variável meteorológica mais relevante: a chuva (Molian e Imbuzeiro, 2006). Dessa forma, é essencial compreender até que ponto as atividades humanas afetam o regime de precipitação, quais são os impactos já observados e como mitigar essas interferências para evitar mudanças drásticas que possam comprometer o ambiente e as atividades que dele dependem.

Visando mitigar as problemáticas ambientais sem comprometer o crescimento econômico dos países, a ONU propôs, em 1992, a Agenda 21, com medidas voltadas ao desenvolvimento sustentável e à proteção ambiental (Souza e Armada, 2017). Na Cúpula do Milênio de 2000, foram estabelecidos os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), reforçando a necessidade de ações globais contra desafios ambientais e sociais. No entanto, as mudanças climáticas vêm reduzindo a segurança alimentar e hídrica, impactadas pelo aquecimento dos oceanos, alterações nos padrões de precipitação, perda de elementos criosféricos e eventos climáticos extremos, dificultando os esforços para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (IPCC, 2023).

A preservação da Amazônia é fundamental no contexto das mudanças climáticas, mas ainda há uma carência de estudos sobre o impacto do desmatamento no microclima dos assentamentos humanos e sua contribuição para o clima global (Moraes et al., 2022). No cenário amazônico, os efeitos dessas mudanças são evidentes, manifestando-se em secas mais severas e períodos de precipitação intensa (Oliveira e Silva, 2019). Os fenômenos hidrometeorológicos frequentemente resultam em desastres com impactos sociais e ambientais, especialmente em áreas de produção improvisada, sendo mais recorrentes no período chuvoso, de janeiro a junho. Diferentemente das regiões Sudeste e Sul, onde os desastres ocorrem ao longo do ano, na Amazônia, sua incidência é concentrada nesses meses, o que reforça a necessidade de estudos para compreender melhor essa dinâmica e mitigar seus efeitos.

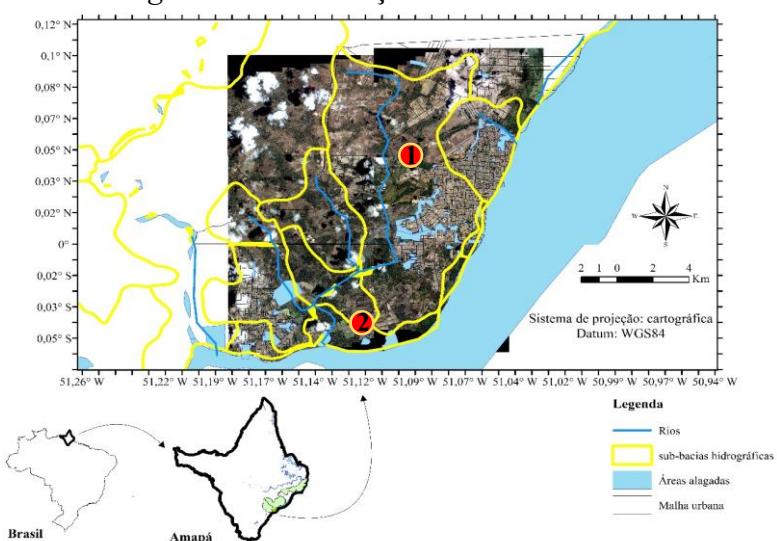
De tal modo, compreender a variabilidade espaço-temporal das chuvas em Macapá (AP) é de suma importância haja vista a ausência de estudos a respeito da variabilidade sazonal desta variável no extremo norte do país, bem como dar subsídios aos gestores públicos de forma a mitigar os impactos adversos causados pelos extremos de precipitação na cidade.

Deste modo, com base na necessidade e importância de estudos de séries pluviométricas, o presente trabalho teve o objetivo de caracterizar a variabilidade espaço-temporal da chuva em Macapá (AP) na escala interanual através da técnica dos Quantis para classificação de eventos extremos e relacionar os fenômenos meteorológicos que influenciam as chuvas, tornando este trabalho um meio de subsidiar o ODM 7 da ONU (garantir a sustentabilidade ambiental) no âmbito da área em estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo é a cidade de Macapá (Figura 1), que possui área aproximada de 6.563,849 km² (IBGE, 2023) e densidade demográfica de 67,48 hab.km⁻² (IBGE, 2022) situada à margem esquerda do rio Amazonas que, forma uma malha ortogonal de ruas paralelas ao rio Amazonas e avenidas transversais a ele. Macapá (AP) é banhada na parte leste pelo rio Amazonas, limitando-se ainda com os municípios de Santana, Itaúbal, Cutias, Ferreira Gomes e Porto grande.

Figura 1 – Localização da área em estudo



Legenda: 1 – estação aeronáutica (SBMQ); 2 – estação climatológica (FAZ)

Fonte: base de dados do IBGE e SIPAM, elaborado por Ana Paula Silva.

Os principais sistemas atmosféricos atuantes na região Amazônica e que modulam as chuvas no local são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Ventos Alísios, as Ondas de Leste (OL), as Linhas de Instabilidades (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e de grande escala, muitas vezes associados à penetração de Sistemas Frontais nas regiões S e SE do Brasil que interagem com a Região Amazônica e ativam a convecção na região (Molian, 1987; Fisch, Marengo e Nobre, 1998), e também a circulação de brisa marítima, que organiza convecção sobre toda a costa próxima à foz do Amazonas (Cavalcanti, 1982).

2.1 DADOS DE CHUVA

Os dados climáticos de chuva foram provenientes da estação meteorológica automática (SBMQ, ponto 01 na Figura 1) situada no Aeroporto Internacional de Macapá – Alberto Alcolumbre, monitorada pelo Departamento de Controle e Espaço Aéreo (DCEA) e da estação meteorológica de superfície convencional (FAZ, ponto 02 na Figura 1) monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A estação SBMQ ($0,048^{\circ}$ N, $51,07^{\circ}$ W, 17 m) possui dados do período entre os anos de 1981 e 2023, enquanto a estação FAZ ($0,045^{\circ}$ S, $51,110^{\circ}$ W, 32m) possui série histórica de dados de chuva compreendendo o período de 1968 a 2023.

Pela Figura 1 percebe-se que as estações meteorológicas estão instaladas em locais com diferentes feições da superfície. A estação FAZ situa-se numa área limítrofe entre dois municípios, onde existe vegetação relativamente densa (Área de Proteção Ambiental - APA da Fazendinha), com superfície composta por asfalto, cimento e barro e as edificações são, predominantemente, residências de um pavimento. Já a estação SBMQ está situada na região central da cidade, porém um pouco afastada do centro urbano, possui superfície predominante de asfalto (pista do aeroporto) e concreto (estacionamento e as edificações dos terminais), a vegetação é composta, basicamente, por gramíneas nas laterais das pistas e algumas espécies arbóreas no entorno do aeroporto. As edificações são predominantemente baixas, com no máximo, dois pavimentos.

Próximo à estação FAZ, localiza-se a da Fazendinha é uma Unidade de Conservação de uso sustentável com área de 136,6 há, localizada à margem esquerda da foz do Igarapé da Fortaleza, rio que faz limite entre Macapá e Santana. Seu território está inserido na Bacia Hidrográfica do Igarapé da Fortaleza (Almeida e Euler, 2022).

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente, realizou-se verificação de outliers, separadamente para cada estação meteorológica, mês a mês, a partir do método de Thompson, descrito em Cimbala (2011) para ambas as estações (SBMQ e FAZ). Os dados que se apresentaram fora das suas respectivas curvas, foram substituídos por valores obtidos da aplicação da regressão linear mensal.

As séries de chuva foram analisadas em escala anual. Primeiramente, aplicou-se o Teste de Mann-Kendall para identificação de Tendência, e a curvatura de Sen para determinação da magnitude da tendência e o teste sequencial de Mann-Kendall para detectar onde houve a mudança de tendência.

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall, sugerido pela OMM para avaliação da existência de tendência em séries temporais de dados ambientais. A estatística do teste é dada pela Equação 1:

$$S = \sum_{i=2}^N \sum_{i'=1}^{i-1} sign(x_i - x_{i'}) \quad (01)$$

em que: x_i são os dados estimados da sequência de valores, N , comprimento da série temporal; e, o sinal $(x_i - x_{i'})$ é igual a -1 para $(x_i - x_{i'}) < 0$, 0 para $(x_i - x_{i'}) = 0$, e 1 para $(x_i - x_{i'}) > 0$.

De acordo com Gilbert (1987), quando N é maior que 40, S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $var(S)$, obtidas pelas Equações 2 e 3:

$$E(S) = 0 \quad (02)$$

$$var(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (03)$$

em que: t_p é o número de dados com valores iguais num certo grupo (pth); e que, o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p. O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) e foi computado pela Equação 4:

$$Z_{MK} = \begin{cases} = \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ = 0, & \text{se } S = 0 \\ = \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (04)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo (negativo) de Z_{MK} indica tendência crescente (decrescente).

Para avaliar a magnitude da tendência das anomalias mencionadas foi calculada a tendência linear dos conjuntos de dados das anomalias anuais destas variáveis por regressão linear. Para o cálculo da inclinação b foi utilizado o método não-paramétrico da Curvatura Sen (SEN, 1968), haja vista que de acordo com Gilbert (1987) a obtenção do valor de b pelo método dos mínimos quadrados, utilizando o método da regressão linear, pode desviar-se muito do verdadeiro valor da inclinação se houver “outliers” nos dados.

O método da Curvatura Sen assume que a tendência é linear, e que ela é a mediana das N' inclinações encontradas entre todos os pares possíveis de pontos da série de dados (Equação 5):

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i} \quad (05)$$

em que: $x_{i'}$ e x_i , são os valores dos dados no tempo i' e i , respectivamente, em que $i' > i$; e, N' , o número de pares de dados nos quais $i' > i$. A mediana destes N' valores de Q é o estimador da inclinação Sen (Equação 6), que é uma estatística igualmente robusta e resistente como estimativa da tendência linear da série de dados:

$$\begin{aligned} b &= Q_{\left(\frac{N'+1}{2}\right)} && \text{se } N' \text{ é ímpar} \\ b &= \frac{1}{2} \left[Q_{\left(\frac{N'}{2}\right)} + Q_{\left(\frac{N'+2}{2}\right)} \right] && \text{se } N' \text{ é par} \end{aligned} \quad (06)$$

A significância das tendências das anomalias anuais de precipitação foi avaliada através do teste sequencial de Mann-Kendall (Goossens e Berger, 1987). Segundo os autores, este teste permite uma melhor análise de analisar mudanças climáticas, permitindo detectar e localizar, de forma aproximada, o ponto inicial de determinada tendência. Assim, considerando uma dada série temporal Y_i de N termos ($1 \leq i \leq N$) a ser analisada, esse teste consiste no somatório mostrado na Equação 7:

$$d_N = \sum_{i=1}^N m_i \quad (07)$$

em que: m_i , é o número de termos da série, relativo ao valor Y_i , cujos termos precedentes ($i < i'$) são inferiores ao mesmo ($Y_{i'} < Y_i$); N , número de termos da série. De acordo com Goossens e Berger (1987), para N grande, sob hipótese nula H_0 de ausência de tendência, d_N é normalmente distribuída, com média e variância dadas pelas Equações 8 e 9, respectivamente:

$$E(d_N) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (08)$$

$$var(d_N) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (09)$$

Testando a significância estatística de d_N para a hipótese nula usando um teste bilateral, ela pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(d_N)$ (Equação 10) através da normal com média $E(d_N)$ e variância $var(d_N)$:

$$u(d_N) = \frac{d_N - E(d_N)}{\sqrt{var(d_N)}} \quad (10)$$

Em sua versão sequencial, a Equação 11 é calculada no sentido direto da série, partindo do valor de $i = 1$ até $i = N$, gerando a estatística $u(d_i)$, e no sentido inverso da série, partindo do valor de $i = N$ até $i = 1$, gerando a estatística $u'(d_N)$, onde $d_i = \sum_{i=1}^N m_i$. A interseção das duas curvas geradas representa o ponto aproximado de uma mudança de tendência, significativa se ela ocorre no intervalo de confiança $-1,96 < u(d_N) < 1,96$ ($1,96$ correspondendo a $\alpha = 0,05$).

De acordo com Silva *et al.* (2015) uma das vantagens deste teste é o fato do mesmo ser um teste não paramétrico, ou seja, os dados não precisam pertencer a uma distribuição particular. O autor ainda ressalta que outra vantagem é que seu resultado é menos afetado por valores outliers, pois seu cálculo é baseado no sinal das diferenças, e não diretamente nos valores da variável.

Para as análises estatísticas dos dados foi usado o software R Studio® que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). Por este ser um software livre e com código aberto, seu download foi feito pelo site <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE CHUVA

Para classificar os eventos de chuva foi utilizada a técnica dos percentis (*quantis*) proposta por Pinkayan (1966). Este método baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis (Santos *et al.*, 2016).

Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades (ou frequências esperadas) para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável x . Esta metodologia consiste estritamente na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua. Sendo atribuída uma probabilidade p univocamente a cada valor amostral (Xavier, 1999; 2002).

O quantil Q_p , para cada número p entre zero e um, é o valor de chuva satisfazendo à condição $\text{Prob}(x \leq Q_p) = p$. Para cada valor observado x_i da chuva, o número ($0 < p_i < 1$) tal que: $F(x_i) = p_i$, diz-se de ordem quantílica p_i , associada a x_i . Uma explicação simples para o quantil Q_p é: supondo que p se expressa em potenciais, espera-se que em $p\%$ dos anos a altura da chuva x não deve ultrapassar o valor do quantil Q_p , enquanto para $(100-p)\%$ dos anos tal valor será excedido.

Para classificar os valores de chuva observados (x_i) foram utilizadas as mesmas ordens quantílicas propostas por Lopes *et al.* (2013) para valores de chuva no estado do Pará e Santos *et al.* (2016) para Salvador (BA) e mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Intervalos de classe para classificação da chuva

Quantil	Classificação
$x_i \leq q_{0,15}$	Muito Seco (MS)
$q_{0,15} < x_i \leq q_{0,35}$	Seco (SC)
$q_{0,35} < x_i \leq q_{0,65}$	Normal (NM)
$q_{0,65} < x_i \leq q_{0,85}$	Chuvoso (CV)
$x_i > q_{0,85}$	Muito Chuvoso (MC)

Fonte: Adaptada de Santos *et al.* (2016).

As classes apresentadas na Tabela 1 permitem, portanto, selecionar de forma objetiva e rápida os eventos climáticos anômalos e de interesse para estudo em um determinado período, tais como episódios extremamente secos ou chuvosos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

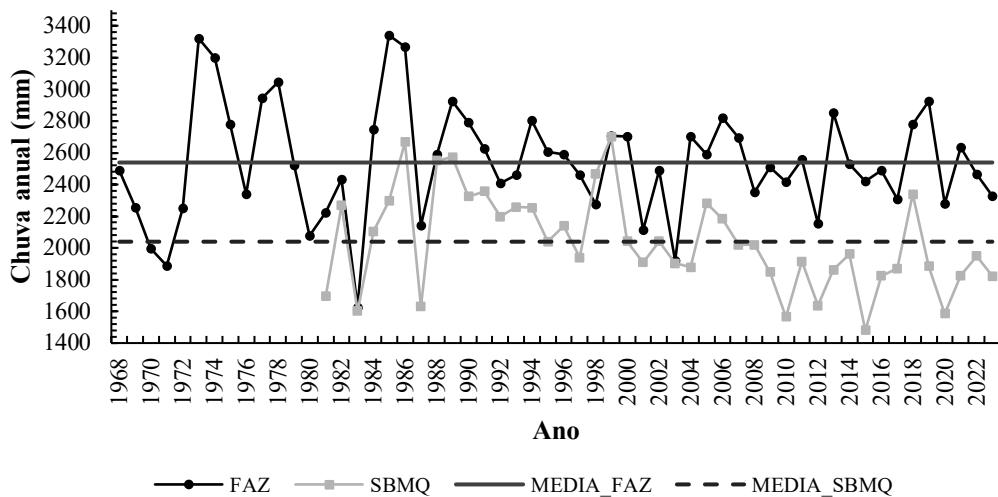
Conforme se observa na Figura 2, as chuvas anuais apresentaram valor mínimo de 1626,6 mm (no ano de 1983) e 1480,0 mm (em 2015) nas estações FAZ e SBMQ, respectivamente. Já os maiores valores registrados foram 3342,1 mm (em 1985) na estação FAZ e 2701,6 mm (em 1999) na estação SBMQ.

Os efeitos dos fenômenos de oscilação Sul e sua atuação na Região Norte do Brasil, mostram que, quando o La Niña está em atividade, ocorre um aumento no nível de chuvas, no qual pode favorecer a ocorrência de inundações, por outro lado o El Niño tende a influenciar na redução dos padrões de chuvas contribuindo para secas (Fisch *et al.*, 1998; Molion e Imbuzeiro, 2006; Molion, 2017; Marengo e Espinoza, 2015).

Através dos valores de chuva encontrados e mostrados na Figura 2, verifica-se que, nos anos de chuva inferior à média em ambas as estações (1968, 1969, 1970, 1972, 1973, 1977, 1979, 1980, 1982, 1983, 1987, 1997, 2002, 2003, 2009, 2010, 2015, 2016 e 2023) foram anos de evento El Niño, reforçando a influência do fenômeno na chuva em Macapá. Porém destaca-se que no ano de 2018 houve um evento de ENOS considerado forte, porém os valores de chuva apresentaram-se acima da

média, revelando haver outros fenômenos que também interferem na chuva local. Corroborando com Marengo e Espinoza (2015) de que não se pode generalizar que El Niño é responsável por todas as secas na Amazônia, nem apontar La Niña como responsável por todas as inundações na Amazônia.

Figura 2 – Chuva anual nas estações meteorológicas da Fazendinha (FAZ) e do Aeroporto (SBMQ)



Fonte: dados do Inmet (A), Decea (B), elaborados pelos autores.

Com relação aos impactos causados pela seca em 2010, se tem registros nas regiões do Pará, Mato Grosso e Rondônia, que foram as áreas mais afetadas pelas queimadas e destruição da floresta, a vulnerabilidade a secas e inundações. Uma das áreas mais atingidas durante esta seca na região foi Manaquiri, onde milhares de famílias foram forçadas a abandonar suas casas, e as escolas foram fechadas por falta de alunos. Autoridades dizem que cerca de 62 000 famílias foram afetadas pela seca de 2010, e o governo federal anunciou US\$ 13,5 milhões em ajuda para a região (Marengo e Espinoza, 2015).

A seca de 2015 foi descrita por Cai (2020) como um evento na Amazônia que levou a condições de seca extremas, que, em combinação com níveis elevados de temperaturas das tendências de aquecimento global, aumentaram a incidência de incêndios em 36% em comparação com os 12 anos, anteriores e levaram a detecção ativa de incêndios para além da zona de transição agrícola. A relação entre a seca e outros eventos, como o desmatamento, não está bem estabelecida.

Eventos de El Niño causam a redução das áreas florestais, vários modelos sugerem que um aumento da temperatura de superfície do mar equatorial e o deslocamento relacionado a ZCIT podem levar a secagem considerável das florestas tropicais no século XXI (Hilker *et al.*, 2014). Assim, fica evidente que há uma ligação estreita entre reduções na precipitação anual, eventos de oscilação sul do El Niño e atividade fotossintética na Amazônia tropical e subtropical.

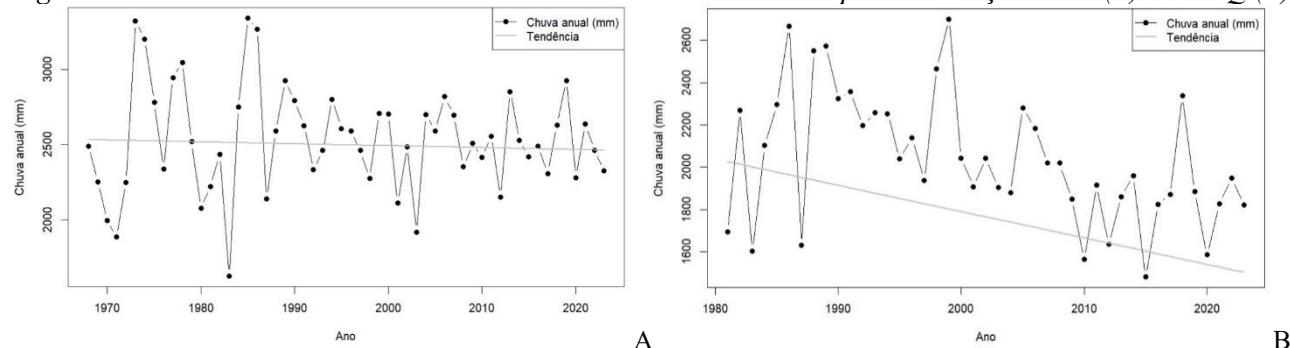
Pela Figura 2 verifica-se que, predominantemente, os valores de chuva na estação FAZ foram superiores aos observados em SBMQ, confirmando a variabilidade espacial e mostrando que fatores de microescala podem estar favorecendo maiores volumes de chuva na região sul da cidade de Macapá.

A média do valor de chuvas na estação FAZ foi 2539 mm e na SBMQ foi 2039 mm, isso significa que na primeira estação, em termos percentuais, chove 20% mais. Na Estação FAZ, se tem uma cobertura maior de vegetação, sendo importante investigar o fluxo de calor, ventos, podendo a evapotranspiração ser um fator relevante para as chuvas locais, ao passo que na Estação SBMQ, a cobertura de solo que é mais impermeabilizado, que não contribui para a evaporação local. Fato

corroborado por Sui *et al.* (2024) de que a substituição de cobertura vegetal substancial e superfícies de solo permeáveis por estruturas impermeáveis diminui a evapotranspiração, reduzindo a umidade atmosférica regional e impedindo o desenvolvimento da precipitação urbana.

Na Figura 3 pode-se verificar a variabilidade das séries de chuvas anuais e sua linha de tendência (cor cinza) para as estações analisadas. Observa-se que em ambas as estações o índice Z_{mk} apresentou valores negativos, indicando que para ambas as localidades os dados apresentaram uma tendência de diminuição de chuvas ao longo do tempo.

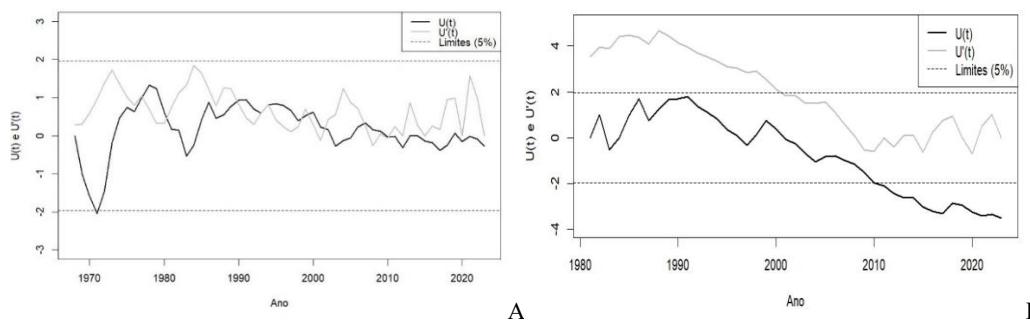
Figura 3 – Análise de tendência de Mann-kendall nos dados de chuva para as estações FAZ (A) e SBMQ (B)



Na estação FAZ(SBMQ) o Z_{mk} teve valor igual a -0,275 (-3,5061). Destaca-se que o p-value que para a estação FAZ não apresentou significância estatística ao nível de 5% (p-value = 0,78, $\alpha = 0,05$), porém para a estação SBMQ houve significância estatística (p-value= 0,0004, $\alpha = 0,05$), o que sugere que há uma tendência significativa de redução de chuva na série analisada. A curvatura de sen na estação SBMQ é significativamente maior (sen slop = -12,476), que a apresentada na FAZ (sen slop = -1,258), o que indica uma magnitude maior de tendência de diminuição das chuvas na primeira que nesta última.

No teste sequencial de Mann-Kendall, na estação da FAZ (Figura 4A), a análise sequencial MK constatou que entre 1968 a 1970, ocorre um ponto que toca o limite de tendência decrescente mais significativo, em seguida ocorre uma ruptura onde as linhas de tendência se tocam e começam a aumentar consideravelmente ao longo da série ocorre 8 vezes essas mudanças de inversão entre tendência decrescente e crescente, porém não há um indicativo de uma tendência significativa forte.

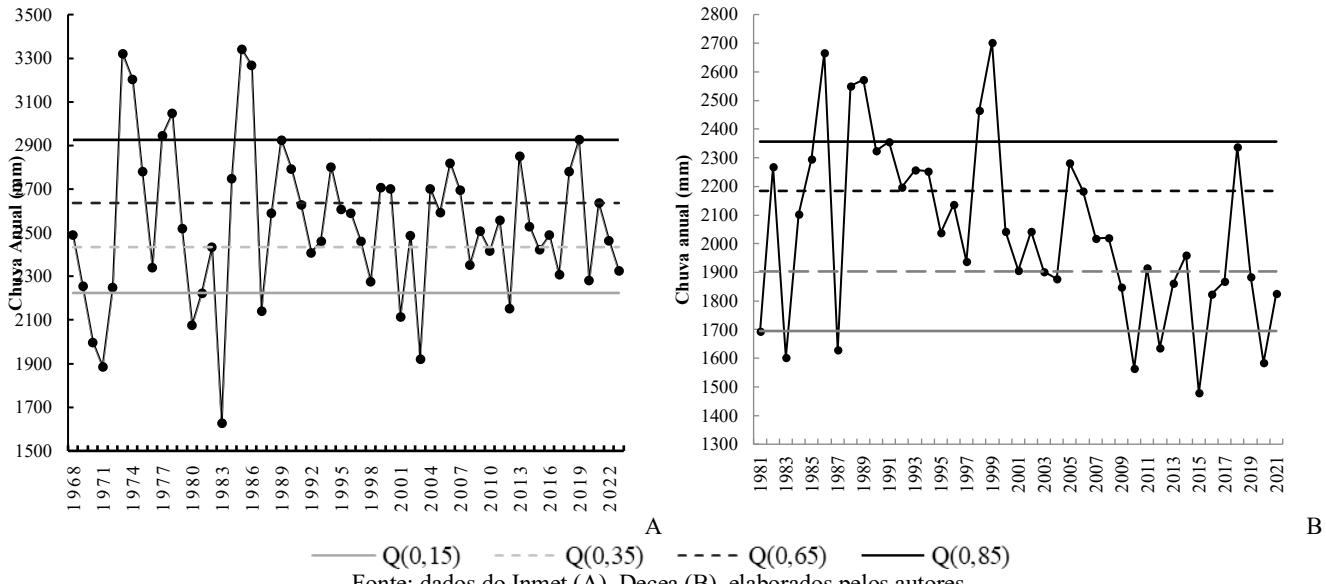
Figura 4 - Teste sequencial de Mann-Kendall nos dados de chuva da estação FAZ (A) e SBMQ (B)



Para a estação SBMQ (Figura 4B), a partir da análise sequencial MK indica até entre 1980 a 1990, que está ocorrendo uma tendência de crescimento sem ultrapassar o $U(t) = 2$, que aponta para uma tendência não significativa. Entre 2000 e 2010, ocorre decréscimo significativo da precipitação de modo que $U(t)$ atingiu 2 nesse último ano. De 2010 em diante ocorreu uma tendência de redução significativa chegando ao ponto de atingir $U(t) = -4$. A análise global indica uma clara tendência de forte decrescimento anual da chuva na série estudada.

Na Figura 5 mostra-se as classificações das chuvas anuais nas estações FAZ e SBMQ conforme o método proposto por Pinkayan (1966). Observa-se que a estação FAZ apresentou limites superiores maiores em cada classe de quantil, dado que nestas as valoress de chuva foram maiores que os observados na estação SBMQ.

Figura 5 – Classificação obtida pelo método dos quantis na estação FAZ (A) e SBMQ (B)



Fonte: dados do Inmet (A), Decea (B), elaborados pelos autores.

Conforme se observa na Figura 5A, na FAZ os anos classificados como MC (1973, 1974, 1985, 1986 e 1989) foram anos, predominantemente, sob influência da La Niña, assim como em 1985 (3342 mm), particularmente para esse último foi relatado por Molion e Imbuzeiro (2006) um La Niña intenso que também foi extremamente chuvoso. Esse La Niña citado ocorreu em condições anormalmente úmidas após El Niño de 1982-1983, tendo sido vital para que a terra se recuperasse rapidamente da seca, conforme descrito por Zeng *et al.* (2008).

Na estação SBMQ, verifica-se que das chuvas registradas, 6 anos foram considerados como MC (1986, 1988, 1989, 1991, 1998, 1999). Sendo a de maior volume em 1986 (2667,7 mm) e que, embora tenha a ocorrência de El Niño em 1986/1987 nesse ano não havia se manifestado de forma a reduzir as chuvas que vinha se intensificando desde o La Niña de 1984/1985. Segundo Oliveira *et al.* (2008), os eventos de La Niña, de acordo com as observações produzem maiores totais de chuva. Sendo pertinente mencionar que o La Niña costuma causar o incremento de chuvas na região Norte, mais especificamente na Amazônia, tendo sido observado por Molion e Imbuzeiro (2006) e Molion (2017).

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que a chuva apresenta variabilidade espacial significativa entre a área urbana e periurbana na cidade de Macapá (AP). Em análise temporal, observou-se que os valores de chuva apresentaram redução ao longo do período analisado, porém sendo significativo, do ponto de vista estatístico, apenas na região central (representada pela estação SBMQ) e com uma maior magnitude com o passar dos anos. Neste ponto, sugere-se mudança no uso do solo, ocupação urbana, desmatamento, podem ser fatores que podem estar contribuindo para essa modificação no microclima local.

5. LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, V. C.; EULER, A. M. C. (2022). *Integração de serviços ecossistêmicos para o planejamento local e sua influência a nas políticas públicas e na comunidade - o caso da APA da Fazendinha, Macapá, Amapá.*
- CAI, W. (org.). (2020). *Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America*. Revista Nature Reviews Earth & Environment. v. 1, p. 215-231.
- CAVALCANTI, I. F. A. 1982. *Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais*. 140f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- CIMBALA, J. M. (2011). *Outliers*. Penn State University. Pensilvânia, p. 1-5. 2011.
- FISCH, G.; MARENKO, J. A.; NOBRE, C. A. (1998). *Uma Revisão Geral sobre o clima na Amazônia*. Acta Amazonica, v. 28, n. 2, p. 101-126.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. (1987). *How to recognize an abrupt climatic change?* Scientific Report 1985/5, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaitre, Université Catholique de Louvain. 1987.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. (2013). *Climatologia Regional da Precipitação no Estado do Pará*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 12, n. 1.
- MARENKO, J. A.; ESPINOZA, J. C. (2015). *Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts*. International Journal of Climatology. v. 36, p. 1033-1050.
- MOLION, L. C. B. (1987). *Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 2, n. 1, p. 107-117.
- MOLION, L. C. B. (2017). *Gênese do El Niño*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21.
- MOLION, L. C. B.; IMBUZEIRO, H. M. A. (2006). *Chuvas intensas no leste da Amazônia: fevereiro de 1980*. Revista Climanálise. ano 1, n. 1, p. 20 – 27.
- MORAES, B.C.; SODRÉ, G. R.C.; CARDOSO, A. C. D.; SILVA JÚNIOR, A. R. (2022). *Crescimento Urbano e Suas Implicações para o Tempo e Clima da Região Metropolitana de Belém do Pará*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 04, p. 2045-2060.
- PINKAYAN, S. (1966). *Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area*. Colorado: State University, Hidrology Papers, n. 12.
- SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S. (2016). *Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis*. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 31, n. 4, p. 454 - 467.
- SHIMIZU, M. H.; AMBRIZZI, T.; LIEBMANN, B. (2017). *Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America*. International Journal of Climatology, v. 37, n. 6, p. 2977-2989.
- SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J. S.; CHARGEL, L. T.; RUGGERI, J. (2015). *Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, p. 181-194, 2015.
- SOUZA, M. C. S. A.; ARMADA, C. A. S. (2017). *Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: Evolução epistemológica na necessária diferenciação entre os conceitos*. Revista de Direito e Sustentabilidade, v. 3, p. 17-35.
- SUI, X.; YANG, Z. L.; SHEPHERD, M.; NIYOGI, D. (2024). *Global scale assessment of urban precipitation anomalies*. Earth, Atmospheric & Planetary Sciences, v. 121.
- XAVIER, T.M.B.S. (199). *Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 14, n. 2, p. 63-78, 1999.
- ZENG, N.; YOON, J.H.; MARENKO; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. DAVID. (2008). *Causes and impacts of the 2005 Amazon drought*. Environmental Research Letters. v. 3, n. 1.