



Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Identification of Homogeneity, Trend and Magnitude of the Precipitation in Belém (Pará) between 1968 and 2018

Bruna Roberta Pereira Lira¹; Luiza de Nazaré Almeida Lopes²; Juliane Ribeiro das Chaves¹; Laila Rover Santana¹ & Lindemberg Lima Fernandes¹

¹Universidade Federal do Pará, FAESA, PPGEC, ITEC, Rua Augusto Correa, 1, 66075-110, Belém, PA, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica do Pará, Diretoria de Ensino, Pesquisa, Pós-graduação, Inovação e Extensão, Campus Tucuruí, Avenida Brasília, s/nº - Vila Permanente, 68.464-000, Tucuruí, PA, Brasil.

E-mails: bruna.lira@itec.ufpa.br; luiza.lopes@ifpa.edu.br; juliane.rib21@gmail.com; laila.santana@itec.ufpa.br; linlimfer@gmail.com

Recebido em: 21/05/2020 Aprovado em: 10/10/2020

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_426_439

Resumo

Este estudo tem por objetivo a análise do comportamento pluviométrico da cidade de Belém, no estado do Pará (região Norte do Brasil), no período de 1968 a 2018 (51 anos). As análises das séries anuais e mensais foram feitas com o intuito de detectar homogeneidade, tendências e magnitude da precipitação pelos testes estatísticos não paramétricos de Mann Kendall, Pettitt e Curvatura de Sen. A partir da análise de dados obteve-se precipitação anual média de 3070 mm, com coeficiente de variação de 14%, porém os testes estatísticos mostraram alterações significativas ao nível de significância de 5% no comportamento desses acumulados pluviométricos anuais. Pelo teste de Pettitt, detectou-se uma mudança brusca na série, sendo que o período de 1968 a 2004 tem-se média anual de 2947 mm e de 2005 a 2018 a média é de 3396 mm. O método de Mann-Kendall indicou uma tendência positiva e pela Curvatura de Sen, estima-se um aumento de aproximadamente 15 mm/ano na precipitação anual. Especificamente os meses de março, abril, junho e dezembro também apresentaram tendências crescentes estatisticamente significativas. Conclui-se que o comportamento pluviométrico da cidade de Belém vem sofrendo acentuadas mudanças, com tendências de elevação nos totais pluviométricos, o que consequentemente pode ocasionar mais frequentes problemas de alagamentos, entre outros.

Palavras-chave: *Precipitação; Séries temporais; Análise estatística*

Abstract

This study aimed to analyze the rainfall behavior of the city of Belém, in the state of Pará (northern region of Brazil), from 1968 to 2018 (51 years). The analyzes of the annual and monthly series were made in order to detect homogeneity, trends and magnitude of precipitation by Mann Kendall's non-parametric statistical tests, Pettitt's test and Sen Slope curvature. From the data analysis, an average annual rainfall of 3070 mm was obtained, with a variation coefficient of 14%, but the statistical tests showed significant changes at the level of significance of 5% in the behavior of these annual rainfall. By the Pettitt test, a sudden change in the series was detected, with an average of 2947 mm from 1968 to 2004 and from 2005 to 2018 the average is 3396 mm. As well, the Mann-Kendall method indicated a positive trend and by Sen Curvature, an increase of approximately 15 mm / year in annual precipitation is estimated. The months of March, April, June and December also showed statistically significant growing trends and rates. It is concluded that the pluviometric behavior of the city of Belém has been undergoing marked changes, with tendencies of increase in the pluviometric totals, which consequently can cause more frequent flooding problems.

Keywords: *Precipitation; Time series; Statistical analysis*

1 Introdução

Nos últimos anos, várias pesquisas preocuparam-se com a variabilidade temporal e espacial da chuva, sobretudo devido à atenção dada à disponibilidade hídrica e às mudanças climáticas (Pandey & Khare, 2018). A disponibilidade hídrica é uma questão de importância global e seu conhecimento é fundamental para o desenvolvimento da sociedade, gerando interesse no meio científico e social (Ishihara et al., 2014; Uliana et al., 2015). Da mesma forma, o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) abordou a urbanização e as repercussões locais das mudanças climáticas, reforçando a ideia de que as alterações ambientais provavelmente ampliarão os riscos urbanos em várias partes.

Segundo Severo et al. (2019), a precipitação está entre as variáveis climáticas de grande relevância, visto que períodos de secas destroem plantações, causando fome, enquanto chuvas em excesso causam inundações e comprometem a infraestrutura das cidades. Portanto, avaliar o comportamento da precipitação auxilia na análise da disponibilidade hídrica e na gestão dos recursos hídricos, assim como no desenvolvimento socioeconômico e cultural (Lucena et al., 2011; Severo et al., 2019). Afinal, a precipitação tem efeito direto sobre o balanço hídrico e exerce grande influência em diversas variáveis, como, por exemplo, na vazão dos rios, que influencia a produção de energia, transporte e circulação geral (Marengo et al., 2001; Loureiro et al., 2015; Santos & Sousa, 2018; Bezerra et al., 2019).

A identificação de tendências sazonais de precipitação e vazão contribui para a compreensão da variabilidade climática e hidrológica, essenciais para o desenvolvimento de modelos de previsão hidrológica e gestão dos recursos hídricos (Joseph et al., 2013). Conforme Zhang et al., 2009 e Salviano et al. (2016), a análise de tendências permite observar mudanças no comportamento de determinada variável, identificando em quais regiões essa variável vem sofrendo alterações ao longo do tempo.

Os testes estatísticos não paramétricos de Pettitt, de Mann-Kendall e curvatura de Sen têm sido muito utilizados por pesquisadores para analisar a homogeneidade, as tendências e a magnitude em séries de elementos climáticos e hidrológicos em diversas regiões do mundo. Destacam-se as pesquisas de Salehi et al. (2019) que analisaram a tendência da precipitação no Irã; Bartels et al. (2019) no Estados Unidos; Li et al. (2019) na China; já os Estudos de Pandey & Khare (2018), analisaram a tendência da precipitação e da evapotranspiração, no período de 1901 a 2002, na Bacia do Rio Narmada, na Índia; Onyutha (2016) identificaram tendência de precipitação em 39 localidades no rio Nilo, na África do Sul; igualmente, estudos de Duncan et al. (2013) no Nepal; e Gocic & Trajkovic (2013) que analisaram as tendências de sete variáveis climatológicas na Sérvia.

No Brasil, Salviano et al. (2016), analisaram as tendências da precipitação e da temperatura média em todo território brasileiro; Luiz-Silva et al. (2019) analisaram as alterações nas séries de precipitação e vazão de dez bacias hidrográficas e seus impactos no regime hidrológico. Alguns pesquisadores se dedicaram em analisar regiões específicas, entre eles Satyamurty et al. (2010), avaliaram as tendências de precipitação em 18 estações, ao longo dos principais rios da Bacia Amazônica, sendo que cinco estações tiveram tendências crescentes (Barcelos, Belém, Manaus, Rio Branco e Soure) e uma tendência decrescente (Itaituba). Ishihara et al. (2014) analisaram a tendência da precipitação na Amazônia, período de 1978 a 2007, e os resultados demonstraram que nos quadrantes do Nordeste e Noroeste houve um ligeiro aumento não significativo, enquanto nos quadrantes do Sudeste e Sudoeste observou-se uma diminuição, porém apenas no sudoeste foi significativa. Almeida et al. (2017) analisaram as tendências de precipitação e temperatura em 47 estações na Amazônia, sendo que a temperatura apresentou tendência crescente de 0,04°C, enquanto a chuva não teve tendência significativa na maioria das estações.

Já Oliveira et al. (2017), analisaram a climatologia e as tendências de ocorrência e intensidade de eventos extremos de precipitação em sub-regiões do Nordeste Brasileiro; Uliana et al. (2015) avaliaram as tendências mensais e anuais de precipitação e vazão de duas estações no município de Alegre no ES. Com o mesmo propósito, os estudos de Dufek & Ambrizzi (2008); Marengo et al. (2013) e Zilli et al. (2017) analisaram tendências em precipitações extremas na costa sudeste do país.

No estudo de Joseph et al. (2013), os autores alertam que o aumento da precipitação demanda melhorias de infraestrutura nas cidades para melhorar as capacidades de armazenamento e reduzir riscos hidrológicos, já que essas elevações podem causar sérios danos econômicos, sociais e humanos. Neste contexto, este estudo busca analisar o comportamento pluviométrico da cidade de Belém, capital do estado do Pará, situada na região Norte do Brasil através de uma série temporal de precipitação com 51 anos (1968-2018), por meio de testes estatísticos não paramétricos de Pettitt, Mann Kendall e curvatura de Sen, com o objetivo de detectar homogeneidade, tendências e magnitude, assim identificar alterações no regime pluviométrico da cidade e auxiliar na gestão e planejamento dos recursos hídricos da região.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo desse trabalho compreende a cidade de Belém, capital do Pará, situada na região Norte do Brasil (Figura 1), localizada às margens da Baía do Guajará e

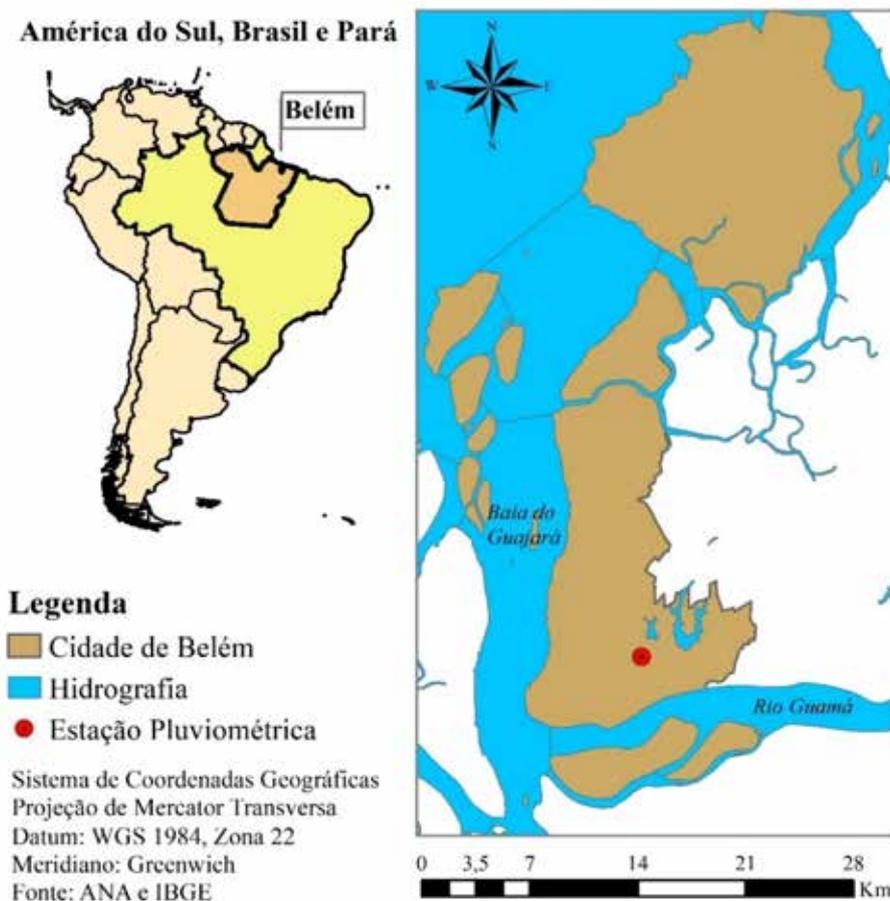


Figura 1 Área de estudo e a localização da estação pluviométrica em Belém.

do Rio Guamá. Caracterizada por apresentar altos índices pluviométricos, Belém possui área territorial de 1.059,458 km² e densidade demográfica de 1.315,26 hab/km² (IBGE, 2019).

O clima da cidade de Belém é influenciado por diversos fenômenos e sistemas atmosféricos atuantes na área, como a Zona de Convergência Intertropical, as Linhas de Instabilidades, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, os Sistemas Convectivos de Mesoescala, o efeito de brisa e a convecção local (Moura & Vitorino, 2012; Lopes *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2016; Moraes & Francisco Filho, 2018).

2.2 Coleta e Análise dos Dados

No Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), no site <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>, foram obtidos os dados de precipitação diários da estação pluviométrica (figura 1) ‘Belém’ e código 148002. A estação localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: 09°42’11” de Latitude Sul e 65°21’53” de

Longitude Oeste. Esse posto pluviométrico é gerenciado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

É importante mencionar que a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1984) recomenda que para os cálculos dos padrões climatológicos é necessário um período mínimo de três décadas consecutivas e sugere que em estudos de análises de tendências em séries temporais de variáveis meteorológicas seja utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Marengo *et al.*, 2001; Dufek & Ambrizzi (2008); Bezerra *et al.*, 2019).

Para o presente estudo, selecionou-se o período de janeiro de 1968 a dezembro de 2018 (51 anos). Entretanto, a série histórica desta estação apresentava algumas falhas. Para viabilizar a análise de dados, optou-se por fazer o preenchimento das falhas. Portanto, as séries de dados foram submetidas ao método de ponderação regional (Oliveira *et al.*, 2010), deste modo, apresentando bons resultados, pois teve menores desvios relativos entre os valores observados e os estimados. Conforme Tucci (2007), o método é aplicado para preenchimento de séries mensais e anuais, visando à homogeneização do período de dados

coletados e o tratamento estatístico das precipitações, conforme a Equação 1:

$$Y = \frac{1}{3} * \left(\frac{x_1}{xm_1} + \frac{x_2}{xm_2} + \frac{x_3}{xm_3} \right) * Ym \quad (1)$$

onde: Y é a precipitação a ser estimada; x_1, x_2, x_3 são as precipitações correspondentes ao mês em que se deseja preencher das três estações vizinhas mais próximas; Ym é a precipitação média da estação com falha; xm_1, xm_2 e xm_3 são as precipitações médias nas três estações vizinhas.

O método é simplificado, no entanto seus resultados são bastante representativos quando aplicados a regiões climatológicas homogêneas (Oliveira *et al.*, 2010; Ishihara *et al.*, 2014). Deste modo, utilizou-se estações pluviométricas vizinhas com distância máxima de 100 km, pois tendem a apresentar comportamentos pluviométricos parecidos.

2.3 Análise de Homogeneidade

Utilizou-se o teste de Pettitt (1979) para identificar se há mudança brusca nos dados, ou seja, um ponto de descontinuidade na série. O teste é adaptado do teste de Mann-Whitney Ut, N, utilizando como referência o momento de ruptura, o qual verifica se duas amostras, x_1, \dots, x_t e x_{t+1}, \dots, x_N , são da mesma população ou não (Back, 2001; Uliana *et al.*, 2015; Salehi *et al.*, 2019). Segundo Penereiro (2020) este faz a contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda, conforme a Equação 2, sendo possível verificar se há mudanças na série temporal.

$$U_{t,N} = U_{t+1,N} + \sum_{j=t+1}^N sgn(x_j - x_t) \text{ para } t = 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

Os resultados da somatória variam de acordo com as condições da Equação 3 (Penereiro, 2020):

$$sgn(x) = \begin{cases} +1, \text{ Se } x > 0 \\ 0, x = 0 \\ -1, \text{ Se } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

A hipótese nula (H0) deste teste admite ausência de um ponto de mudança (*change point*). Porém, se a estatística $k(t)$ representa o ponto em que ocorreu uma mudança repentina na série temporal média, calculado por meio do valor máximo de $|U_t, N|$ que está associado a um nível de significância (P) calculado pelas Equações 4 e 5 (Uliana *et al.*, 2015).

$$k(t) = \text{Max}_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (4)$$

$$P = 2e \left\{ -\frac{6(K_N)^2}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (5)$$

onde P é o nível de significância, K_N é o valor crítico e N é o número de anos da série temporal de precipitação.

2.4 Análise de Tendência

O teste não paramétrico de Mann-Kendall foi empregado para testar a significância estatística (crescente ou decrescente) das séries temporais climatológicas, podendo distinguir um processo de mudança com flutuação natural ou tendência determinística (Li *et al.*, 2019). Proposta por Mann (1945) e Kendall (1975), definida e utilizada por Almeida *et al.* (2017), Penereiro *et al.* (2016), Silva *et al.* (2018) e Luiz Silva *et al.* (2019), entre outros, baseia-se na estatística “S”, descrita na Equação 6. Trata-se de um teste que correlaciona as classificações de observações e sua sequência temporal, ou seja, compara cada valor da série com o outro valor anterior, em ordem sequencial, para determinar a variável estatística (Hamed, 2009; Salviano *et al.*, 2016; Bartels *et al.*, 2019).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (6)$$

onde sgn é a somatória dos sinais da diferença par a par, de todos os valores da série (x_i) em relação aos valores remanescentes, em ordem sequencial (x_j). j são os valores dos dados sequenciais e n é o tamanho da série temporal.

Os resultados da somatória variam de acordo com as condições da Equação 7:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, \text{ Se } x_j - x_i > 0 \\ 0, x_j - x_i = 0 \\ -1, \text{ Se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Em seguida, calcula-se a variância da estatística de S (Var (S)), na Equação 8:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1) * (2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (8)$$

onde n é o número de observações, caso a série tenha grupos com observações iguais; sendo que p é o número de grupos com observações iguais e t_i é o número de dados com valores iguais em um certo grupo i (por exemplo, uma série histórica com três valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou $t_i = 1$ e $i = 3$).

Estudos de Salmi *et al.* (2002), Zilli *et al.* (2017) e Salehi *et al.* (2019) indicam que em séries contendo amostras de $n > 10$, a estatística S tende a normalizar, pois segue uma distribuição Gaussiana com média nula.

Considerando a hipótese nula e a ausência de p , a variância da estatística de S (Var (S)), pode ser calculada através da Equação 9:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1) * (2n+5)] \quad (9)$$

onde n é o número de pontos de dados.

O valor do teste é obtido no resultado de Z de Mann-Kendall (Z_{MK}), Equação 10:

$$\begin{aligned} \text{Se } S > 0 & \quad Z = \frac{s - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \\ \text{Se } S = 0 & \quad Z = 0 \\ \text{Se } S < 0 & \quad Z = \frac{s + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \end{aligned} \quad (10)$$

O resultado de Z de Mann-Kendall (Z_{MK}) indica tendência na série temporal. Os valores de ZMK positivos indicam tendências crescentes, enquanto ZMK negativos indicam tendências decrescentes nas séries temporais (Ishihara *et al.*, 2014; Loureiro *et al.*, 2015). Nesta pesquisa o nível de confiança adotado é de 95%, pois o teste foi definido para nível de significância α de 5%, ou seja, a probabilidade de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira. Conforme Salviano *et al.* (2016), trata-se de um teste bicaudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de ZMK seja superior a $Z_{\alpha/2}$, ou seja, para $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$. Assim, considera-se tendência significativa ao nível de significância de 5% caso $ZMK > 1,96$.

2.5 Análise de Magnitude da Tendência

Após a identificação das tendências, sua magnitude é analisada pelo teste da Curvatura de Sen (1968), usado para obter a estimativa da inclinação verdadeira (Q). Primeiro calcula-se as inclinações de todos os pares de dados (Equação 11), conforme realizado por Gocic e Trajkovic (2013), Silva *et al.* (2018), Quadros *et al.* (2019) e Carvalho *et al.* (2020):

$$Q = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (11)$$

onde N é o número de pares distintos de observações e x_j e x_k são os valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente.

O estimador inclinação é computado considerando o valor da mediana de todos os Q_i ranqueados. Se houver n valores x_j na série temporal, então obtém-se $N = \frac{n(n-1)}{2}$, para estimar Q_i . Em seguida, estima-se a inclinação mediana (Q_{med}), pelo método Sen (Equação 12), que é a mediana destes valores N de Q_i , que devem ser classificados do menor para o maior.

$$\begin{aligned} \text{Se } N \text{ é ímpar} & \quad Q_{med} = Q_{\left[\frac{n+1}{2}\right]} \\ \text{Se } N \text{ é par} & \quad Q_{med} = \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\left[\frac{n+1}{2}\right]} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

O sinal Q_{med} reflete a ponderação da tendência dos dados, enquanto o seu valor indica a inclinação da tendência (Gocic & Trajkovic, 2013). Para isso, precisa-se da variância da estatística S de Mann-Kendall. Segundo Gilbert (1987), o intervalo de confiança sobre a inclinação do tempo pode ser calculado pelas Equações 13 e 14.

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(S)} \quad (13)$$

Onde $\text{Var}(S)$ é definido na Equação 9; e o $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal padrão. O intervalo de confiança é para o nível de significância $\alpha = 0,05$.

$$\text{Então, } M_1 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2} \text{ e } M_2 = \frac{N' + C_{\alpha}}{2} \quad (14)$$

Os limites inferior e superior do intervalo de confiança Q_{min} e Q_{max} , são o M_1 o maior e o $(M_2 + 1)$ o maior das estimativas do declive ordenado por N (Gilbert, 1987). Deste modo, a inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero se os dois limites do intervalo (Q_{min} e Q_{max}) tiverem o mesmo sinal.

3 Resultados e Discussão

3.1 Análise Estatística Descritiva e Caracterização Climatológica

Na Tabela 1 apresenta-se a análise descritiva das séries temporais anuais e mensais da estação pluviométrica ‘Belém’, no período de 1968 a 2018. Obteve-se precipitação anual média de 3.070 mm, equivalente a 8,41 mm/dia, com ampla variabilidade interanual da chuva. A precipitação mínima anual foi de 2.176 mm (em 2017) e a máxima de 3.921 mm (em 1989), resultando em coeficiente de variação (CV) de 14% dos dados anuais em relação à média e 442,6 mm de desvio padrão. Contudo, as séries mensais de precipitação apresentaram maior variação dos dados em relação à média, sendo o mês de janeiro aquele que apresentou o menor CV, de 23%, e desvio padrão de 87,3 mm, enquanto o mês de novembro teve o maior CV, de 54%, e 68,1 mm de desvio padrão.

Destaca-se que Campos *et al.* (2015) verificaram os impactos socioeconômicos dos eventos extremos de precipitação diária em Belém, no período de 1987 a 2009, concluindo que o acumulado anual de precipitação variou de 2500 mm a 3900 mm. No presente estudo, também obteve-se ampla variação da precipitação, para uma série de dados maior (1968 a 2018). No estudo de Moura & Vitorino (2012), referente à precipitação em Belém no período de 1999 a 2008, os autores obtiveram valores de precipitação acima de 3000 mm em seis dos dez anos analisados.

A cidade de Belém está próxima à linha do equador, em uma região com grande disponibilidade hídrica e de energia solar, com abundância de rios e florestas. Esses fatores favorecem as precipitações, contudo vários estudos (Almeida *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2017; Fisch *et al.*, 1998) comprovaram que a variabilidade pluviométrica está relacionada aos sistemas atmosféricos atuantes na região. Entre os principais sistemas atmosféricos responsáveis pela formação de chuva estão: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a brisa marítima e as linhas de

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

instabilidades (LI) (Moraes & Francisco Filho, 2018; Lopes *et al.*, 2013; Campos *et al.*, 2015). Além disso, há a influência dos fenômenos climáticos tropicais de larga escala como El Niño e La Niña (Moreira *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2017) e as fases do dipolo de temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano Atlântico (Oliveira *et al.*, 2016; Azevedo *et al.*, 2017).

As interações entre a superfície terrestre e a atmosfera têm sido propostas como possíveis mecanismos da variação temporais anuais e interanuais (Nobre *et al.*, 2009). Na Figura 2, nota-se que a cidade de Belém possui dois períodos climáticos bem definidos. O período mais chuvoso compreende os meses de dezembro até maio, com altos totais pluviométricos, sendo que os meses de fevereiro, março e abril formam o trimestre mais chuvoso, com índices pluviométricos de 423,8 mm, 455,7 mm e 410,3 mm, respectivamente. Destaca-se que nestes três meses chove cerca de 50% do total precipitado anualmente. O período menos chuvoso corresponde aos meses de junho até novembro, sendo que os meses de setembro, outubro e

novembro formam o trimestre menos chuvoso com totais de 128,2 mm, 120,8 mm e 123,2 mm, respectivamente. Os resultados dos intervalos dos períodos formados corroboram com o estudo de Campos *et al.* (2015).

A variabilidade da precipitação entre os dois períodos (chuvoso e menos chuvoso) é influenciada pelos fenômenos de meso e grande escala (Moraes & Francisco Filho, 2018; Campos *et al.*, 2015). De acordo com Souza *et al.* (2017), os sistemas atmosféricos são dinâmicos e explicam a ampla variabilidade sazonal pluviométrica, dentre eles a ZCIT responsável pela chuva no outono austral. Conforme Ferreira *et al.* (2015), a ZCIT é o causador da sazonalidade da precipitação na região, pois coincide com o período chuvoso que acontece no decorrer da marcha da ZCIT em direção ao hemisfério Sul. Os aglomerados convectivos e linhas de instabilidade são os principais sistemas do regime seco. As Linhas de Instabilidade são responsáveis pela ocorrência das chuvas no período menos chuvoso (Cohen *et al.*, 1995; Campos *et al.*, 2015).

Variáveis	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão	CV (%)
Janeiro	181,6	560,1	378,4	87,3	23
Fevereiro	230,8	776,2	420	110,7	26
Março	236,6	742,5	451,8	110,2	24
Abril	212,1	633	409,7	105,1	26
Maio	110,8	518,8	303,9	100,9	33
Junho	2,8	320	182,4	75,4	41
Julho	29	337	159,3	63,3	40
Agosto	52,3	245,5	133,3	50,8	38
Setembro	28,1	256,6	128,2	50,6	39
Outubro	8,2	279,7	121,6	57,1	47
Novembro	0	307,4	125,1	68,1	54
Dezembro	40,9	519,8	258,2	104,9	41
Anual	2.176	3.912	3.070	442,6	14

Tabela 1 Análise descritiva das séries de precipitação da estação de Belém (1968 a 2018).

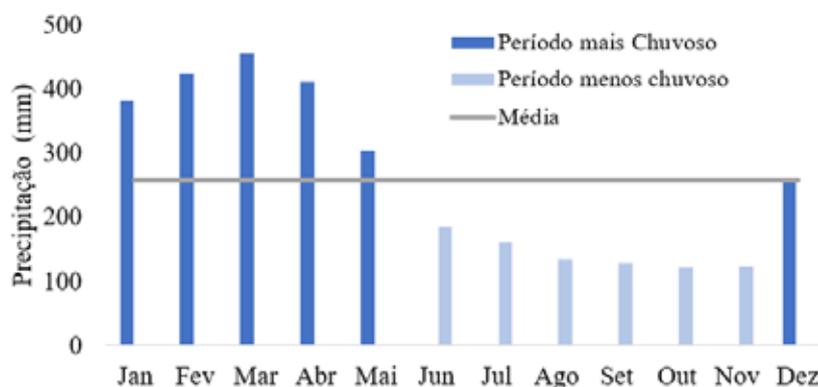


Figura 2 Comportamento sazonal da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018).

3.2 Análise de homogeneidade, tendência e magnitude

Os resultados dos testes de Pettitt (1979), Mann-Kendall e curvatura de Sen, são apresentados na Tabela 2 e correspondem à análise da homogeneidade, tendência e magnitude, aplicados nas séries temporais anuais e mensais da estação pluviométrica de Belém.

Os resultados do teste de Pettitt para a série anual e as séries dos meses de abril e dezembro indicaram que há uma mudança brusca na média da precipitação na série temporal,

mostrando assim um comportamento não homogêneo dos dados analisados. Assim como o teste de Mann Kendall indicou tendências significativas, para os meses de março, abril, junho e dezembro. No entanto, a maioria das séries mensais analisadas não apresentaram mudanças bruscas e tendências significativas.

A Figura 3 apresenta o comportamento da variação interanual da precipitação total anual da estação pluviométrica da cidade de Belém do Pará, no período de 1968 a 2018, juntamente com o resultado obtido no teste de Pettitt (1979). Deste modo, nota-se que houve uma

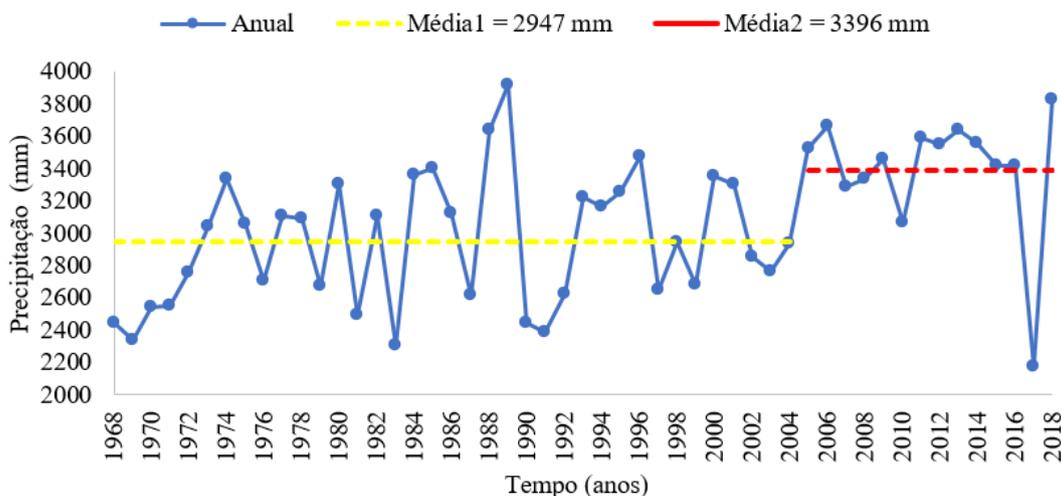


Figura 3 Variação interanual da precipitação total anual da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018).

Teste	Pettitt (p-valor)	ZMK (p-valor)	Sen (mm/ano)	ZMK Tendência*
Janeiro	0,523	0,262	0,932	NS
Fevereiro	0,702	0,559	0,550	NS
Março	0,239	0,006	3,050	S+
Abril	0,012	0,000	3,993	S+
Mai	0,372	0,326	0,938	NS
Junho	0,060	0,012	1,957	S+
Julho	0,369	0,615	-0,291	NS
Agosto	0,364	0,709	0,186	NS
Setembro	0,598	0,500	-0,287	NS
Outubro	0,681	0,505	0,292	NS
Novembro	0,382	0,380	0,497	NS
Dezembro	0,025	0,017	2,440	S+
Anual	0,011	< 0,0001	14,845	S+

Tabela 2 Resultado dos testes estatísticos não paramétricos para precipitação da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018). *NS (Tendência não significativa); S+ (Tendência significativa positiva); S- (Tendência significativa negativa).

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

alteração brusca na média da precipitação total anual da estação pluviométrica, sendo a mudança identificada no ano de 2004 (*changing point*), pois o p-valor calculado ($<0,001$) é menor que o nível de significância α de 5% (0,05). Esta mudança no comportamento médio da precipitação dividiu a série em dois períodos, onde estima-se cerca de 450 mm de diferença entre os dois períodos formados. O período correspondente de 1968 a 2004 apresentou precipitação

média de 2.947 mm (representado pela linha Amarela), sendo que este valor é menor que a média de todo o período analisado (3.070 mm). Enquanto isso, o período de 2005 a 2018 apresentou precipitação média de 3.396 mm (representado pela linha vermelha), maior que a média de todo período analisado.

Analisando a variação interanual da série de precipitação dos meses do período mais chuvoso (Figura 4),

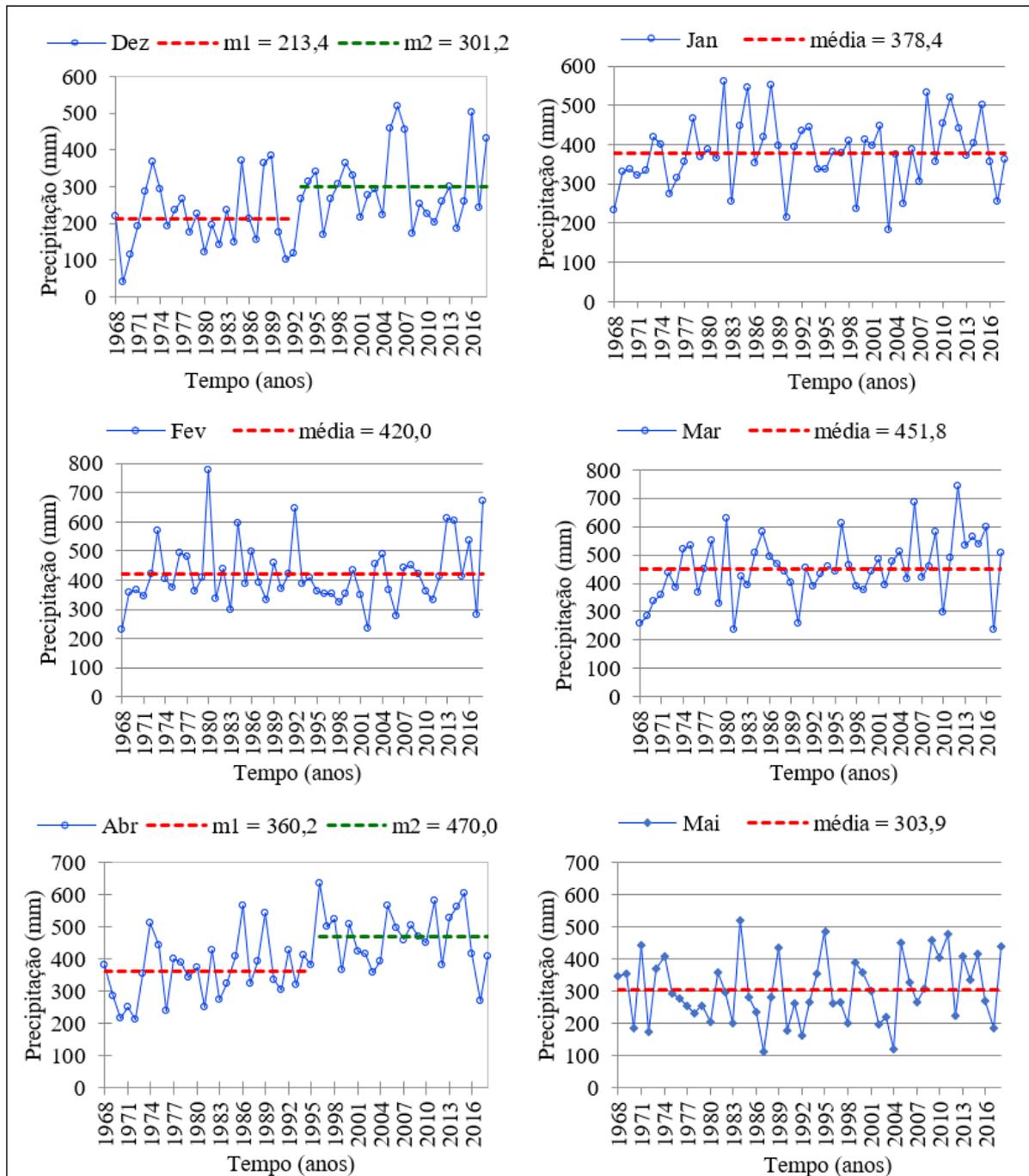


Figura 4 Variação interanual da precipitação dos meses do período mais chuvoso (de dezembro a maio) da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018).

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

conforme o teste de Pettitt, os meses de janeiro, fevereiro, março e maio apresentaram um comportamento homogêneo, sem mudanças na série temporal. Entretanto, os meses de abril e dezembro apresentaram mudança brusca, com p-valor calculado de 0,025 e 0,012, respectivamente. Em 1992 ocorreu a mudança na série de dezembro e em 1995

ocorreu a mudança na série de abril, ambas indicando aumento da precipitação média.

Analisando a variação interanual da série de precipitação dos meses do período menos chuvoso, no período de 1968 a 2018 (Figura 5), de acordo com o teste de Pettitt, os meses analisados deste período não apresentaram

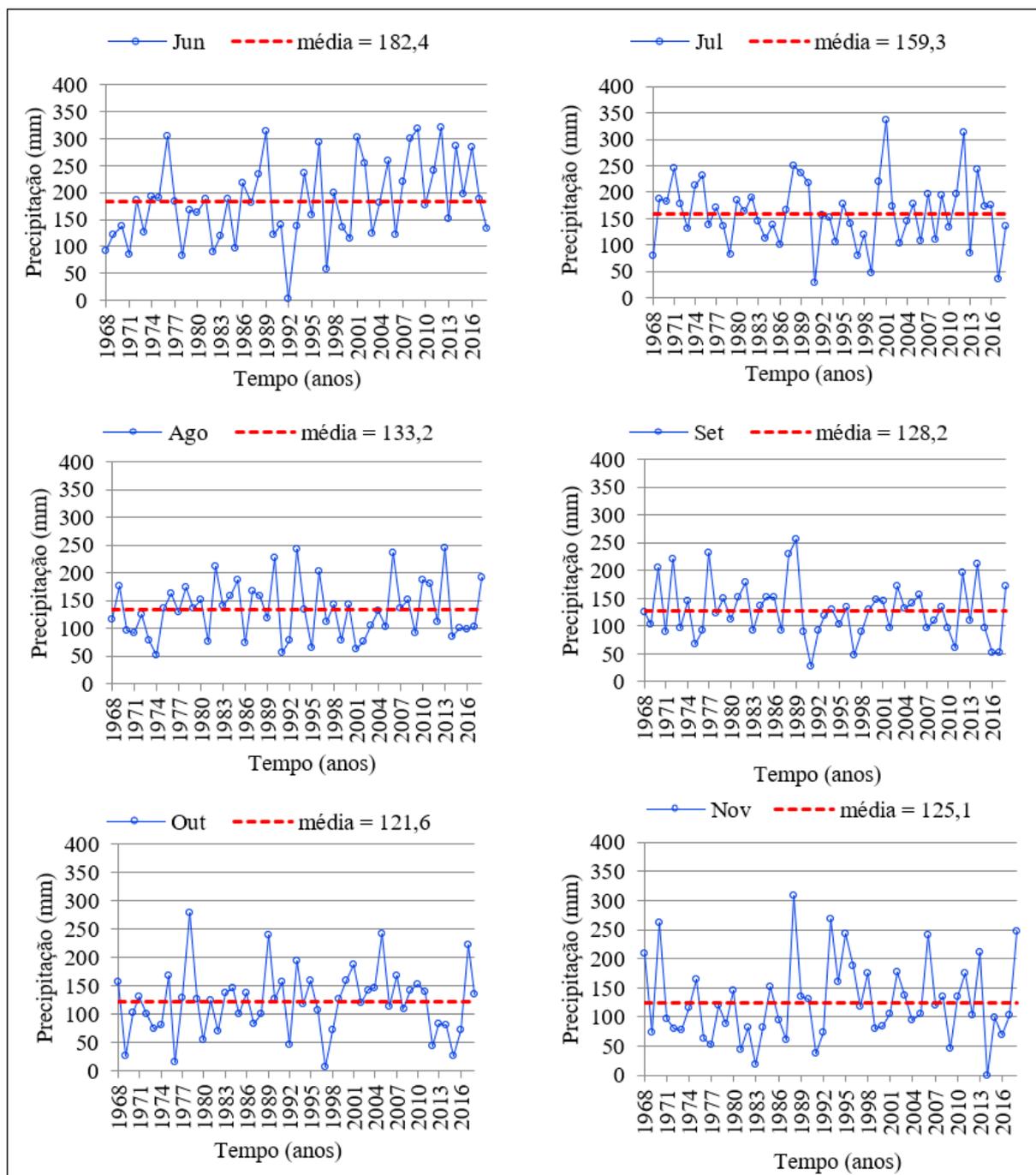


Figura 5 Variação interanual da precipitação período menos chuvoso (de junho a novembro) da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018).

mudanças bruscas na média da série temporal, ou seja, os meses de junho até novembro apresentaram comportamento homogêneo.

A análise da variação interanual da precipitação pelo método Mann-Kendall indicou presença de tendência positiva significativa na série temporal de precipitação total anual da estação pluviométrica Belém, pois o *p*-valor calculado ($<0,001$) foi menor que o nível de significância α de 5% (0,05). Na Figura 6 apresenta-se o comportamento pluviométrico ao longo dos anos, junto com a linha de inclinação da tendência obtida por meio do método da Curvatura de Sen. Estima-se uma taxa crescente de aproximadamente 14,85 mm/ano na precipitação anual em Belém. Dessa forma, pode-se estimar que na série de 51 anos (1968 a 2018) houve um aumento de cerca de 757 mm.

Os resultados obtidos na pesquisa corrobora com os de Moreira et al. (2019), pesquisou os principais fatores climatológicos que explicam a distribuição de chuvas em Belém e sua relação com a ocorrência de leptospirose, ainda destacou que as anomalias de precipitação anual apresentam tendência de aumento de precipitação no período de 2000 a 2017. Do mesmo modo, Ishihara et al. (2014) fizeram uma avaliação da precipitação na Amazônia, no período de 1978 a 2007, e detectaram um ligeiro aumento na precipitação no quadrante do norte da Amazônia, porém não foram significativos.

Na Figura 7 apresenta-se o comportamento pluviométrico dos meses do período mais chuvoso, junto com a linha de inclinação obtida pelo método da Curvatura de Sen. Nota-se que a precipitação está aumentando significativamente e estima-se uma magnitude 2,44 mm/ano para o mês de dezembro, 3,05 mm/ano para o mês de março e 3,99 mm/ano no mês de abril. As taxas de janeiro

(0,932 mm/ano), fevereiro (0,550 mm/ano) e maio (0,938 mm/ano) não apresentaram tendências significativas.

Na Figura 8 apresenta-se o comportamento pluviométrico dos meses do período menos chuvoso, junto com a linha de inclinação obtida pelo método da Curvatura de Sen (mm/ano). Destes, apenas o mês de junho teve taxa significativa, aumentando +1,95 mm no mês a cada ano. Entretanto, as taxas de junho (1,957 mm/ano), julho (-0,291 mm/ano), agosto (0,186 mm/ano), setembro (-0,287 mm/ano), outubro (0,292 mm/ano) e novembro (0,497 mm/ano) não apresentaram tendências significativas.

Segundo Penereiro (2020), as tendências climáticas estão relacionadas às mudanças antropogênicas ou causadas pela variabilidade natural do clima, que ainda são um desafio para a ciência. De acordo com Uliana et al. (2015), é necessário realizar pesquisas adicionais para identificar as causas deste comportamento, entretanto estes estudos são complexos, visto ser grande o número de combinações entre os fatores envolvidos.

4 Conclusão

A partir das análises estatísticas da série histórica da cidade de Belém, obteve-se a precipitação anual média de 3.070 mm, entretanto, as chuvas se distribuem de maneira diferente durante o ano, formando um período muito chuvoso (dezembro e maio) e um período menos chuvoso (junho a novembro), com ampla variabilidade temporal pluviométrica, influenciada pelos principais sistemas atmosféricos atuantes na região. Os resultados dos testes não paramétricos indicam que a série anual de precipitação teve uma mudança brusca na média, com tendência crescente e uma taxa de aumento de cerca de 15 mm/ano, dentro do período analisado. Da mesma forma,

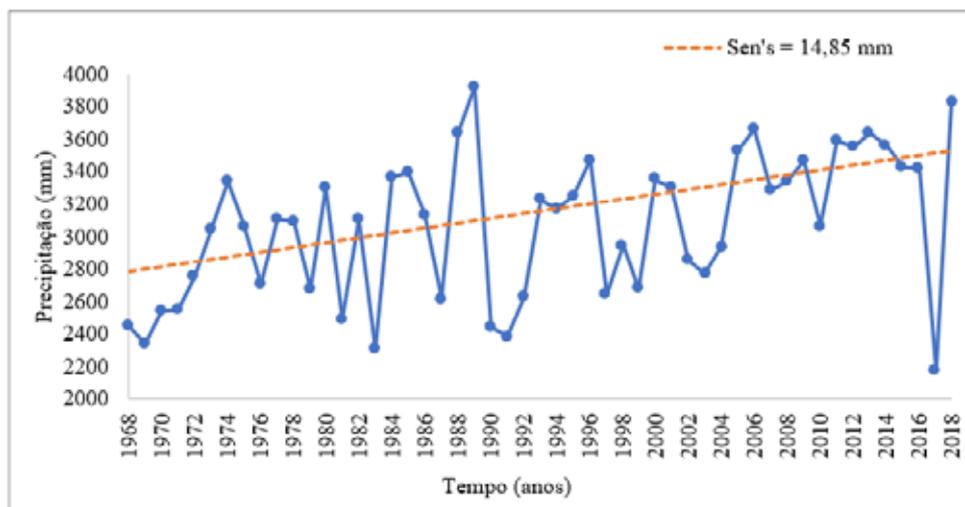


Figura 6 Tendência da precipitação anual da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018), ainda com a inclinação obtida pelo teste de Sen.

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

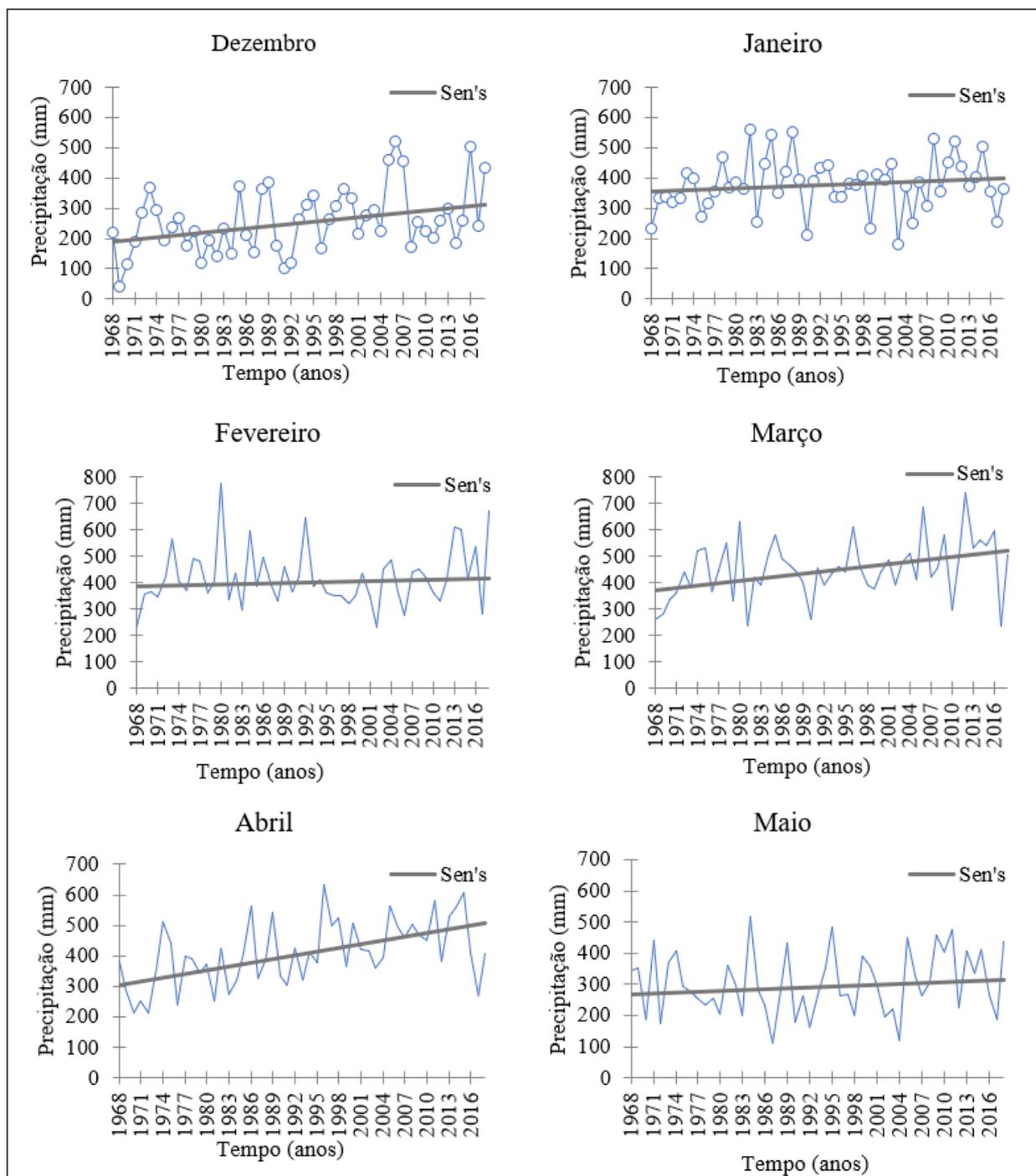


Figura 7 Tendência da precipitação mensal do período mais chuvoso (de dezembro a maio) da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018), ainda com a inclinação do teste de Sen.

as séries dos meses de março, abril, junho e dezembro apresentaram tendências crescentes significativas.

Pelo exposto, é possível afirmar que mudanças importantes estão ocorrendo no comportamento

pluviométrico na cidade de Belém, podendo ocasionar prejuízos de ordem material e/ou moral pela ocorrência de alagamentos e inundações, por consequência danos na agricultura, pecuária, obras hidráulicas e urbanísticas,

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

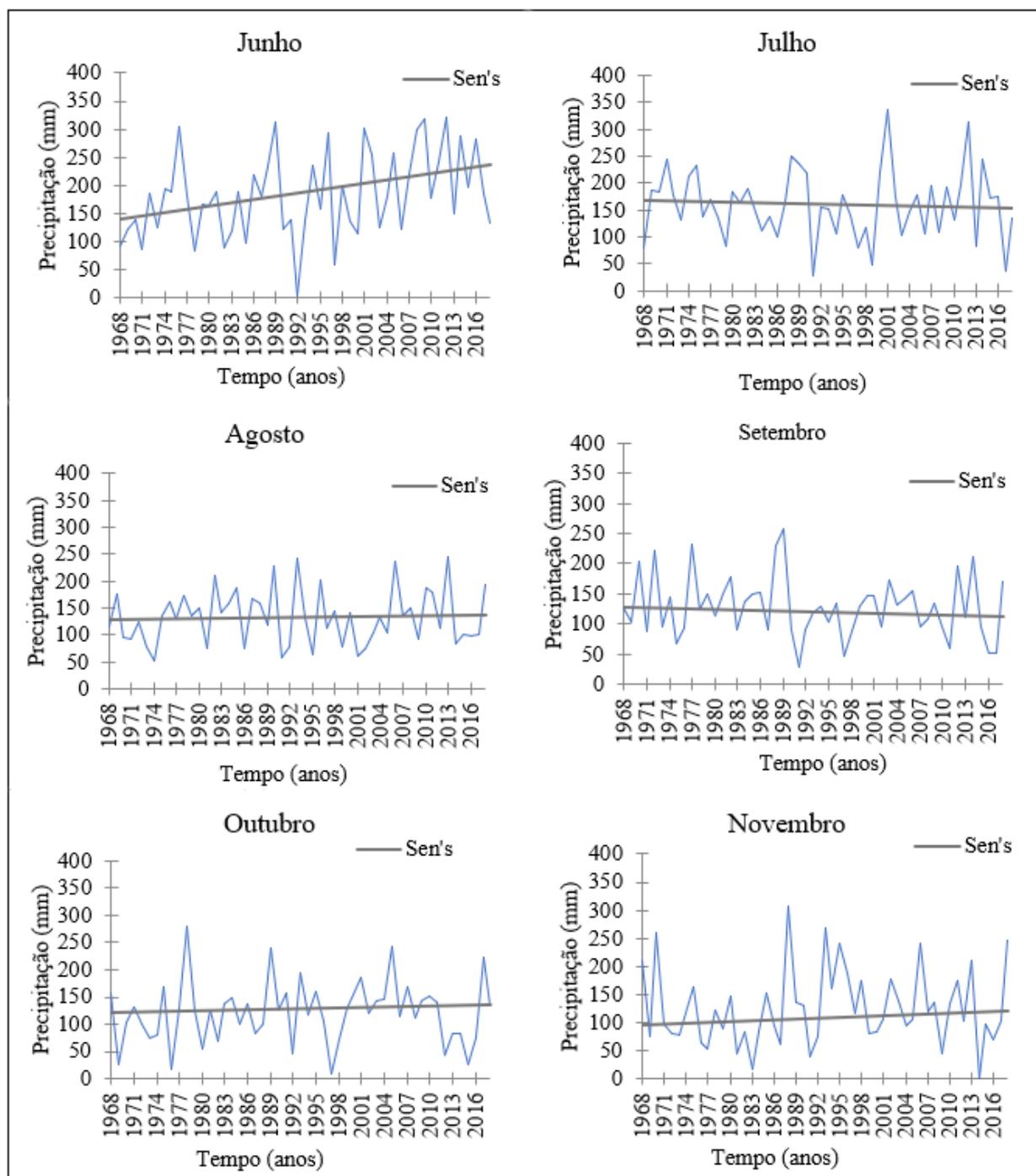


Figura 8 Tendência da precipitação mensal do período menos chuvoso (de junho a novembro) da estação pluviométrica de Belém (1968 a 2018), ainda com a inclinação do teste de Sen.

proliferação de vetores e doenças de veiculação hídrica e suspensão de serviços essenciais.

Em vista disso, o estudo é relevante para a compreensão da variabilidade climatológica na região, assim como para a gestão dos recursos hídricos, essenciais

para auxiliar no planejamento urbano, sistemas de saneamento, usos agrícolas e medidas mitigatórias. Além disso, recomenda-se pesquisas e estudos adicionais para identificar as tendências de precipitação, eventualmente as causas deste comportamento.

5 Referências

- Almeida, C.T.; Oliveira Jr., J.F.; Delgado, R.C.; Cubo, P. & Ramos, M.C. 2017. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon. *International Journal of Climatology*, 37(4): 2013-2026.
- Azevedo, F.T.M.; Souza, E.B.; Franco, V.S. & Souza, P.F.S. 2017. Prognóstico sazonal de precipitação regionalizada na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(5): 1520-1534.
- Back, A.J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(5): 717-726.
- Bartels, R.J.; Black, A.W. & Keim, B.D. 2019. Trends in precipitation days in the United States. *International Journal of Climatology*, 40(2): 1038-1048.
- Bezerra, B.G.; Silva, L.L.; Silva, C.M.S. & Carvalho, G.G. 2019. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1-2): 565-576.
- Campos, T.L.O.B.; Mota, M.A.S. & Santos, S.R.Q. 2015. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Revista Ambiente e Água*, 10(1): 182-194.
- Carvalho, A.A.; Montenegro, A.A.A.; Silva, H.P.L.; Iug, M.; José E.F. & Silva, T.G. 2020. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(1): 15-23.
- Cohen, J.; Dias, M.A.F.S. & Nobre, C.A. 1995. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *Monthly Weather Review*, 123(11): 3163-3174.
- Dufek, A.S. & Ambrizzi, T. 2008. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(3-4), 167-178.
- Duncan, J.M.A.; Biggs, E.M.; Dash, J. & Atkinson, P.M. 2013. Spatio-temporal trends in precipitation and their implications for water resources management in climate-sensitive Nepal. *Applied Geography*, 43: 138-146.
- Ferreira, D.B.S.; Souza, E.B.; Moraes, B.C. & Meira Filho, L.G. 2015. Spatial and Temporal Variability of Rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. *The Scientific World Journal*, 2015: 1-9. 10.1155/2015/209783.
- Fisch, G.; Marengo, J.A. & Nobre, C.A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Revista Acta Amazônica*, 22(2): 101-126.
- Gilbert, R.O. 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York, John Wiley & Sons, 320p.
- Gocic, M. & Trajkovic, S. 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100(1): 172-182.
- Hamed, K.H. 2009. Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology*, 365(1-2): 86-94.
- IBGE. 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e estados: Belém. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>>. Acesso em: 2 dez. 2019.
- Ishihara, J.H.; Fernandes, L.L.; Duarte A.A.M.; Duarte, A.R.C.L.M.; Ponte, M.X. & Loureiro, G.E. 2014. Quantitative and spatial assessment of precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(1), 29-39.
- IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. Livelihoods and Poverty. In: Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: part A: global and sectoral aspects: working group II contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (Chap. 13, pp. 793-832). Cambridge: Cambridge University Press. Recuperado em 9 dezembro, 2019, de doi:10.1017/CBO9781107415379.
- Joseph, J.F.; Falcon, H.E. & Sharif, H.O. 2013. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950–2009. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(2): 1653-1662.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank correlation methods*. London, Charles Griffin, 272p.
- Li, G.; Zhang, J.; Ding, S.; Wu, P.; Wang, W. 2019. Reconstruction of sunspot activity, cold and warm events, and drought and flood events in the Central Plain of China during the Northern Song Dynasty using historical documents. *Quaternary International*, 525, 36-44.
- Lopes, M.N.G.; Souza, E.B. & Ferreira, D.B.S. 2013. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, 9(12): 84-102.
- Loureiro, G.E.; Fernandes, L.L. & Ishihara, J.H. 2015. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. *Acta Scientiarum*, 37(1): 89-98.
- Lucena, D.B.; Gomes Filho, M.F. & Servain, J. 2011. Impact evaluation of the extreme climatic events in the pacific and atlantic oceans on the northeast Brazil rainy season. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(2): 297-312.
- Luiz Silva, L.W.; Xavier, L.N.R.; Maceira, M.E.P. & Rotunno, O.C. 2019. Climatological and hydrological patterns and verified trends in precipitation and streamflow in the basins of Brazilian hydroelectric plants. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1-2): 353-371.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3): 245-259.
- Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Soares, W.R.; Rodriguez, D.A.; Camargo, H.; Paredes Riveros, M.; Diaz Pablo, A. 2013. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, 26(22): 9137-9154.
- Marengo J.A.; Liebmann B.; Kousky V.E.; Filizola N.P. & Wainer I.C. 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate*, 14: 833-852.
- Moraes, D. & Francisco Filho, M. 2018. Contribuição das chuvas do período da tarde em Belém e possíveis relações com a normal climatológica. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14(23): 17-32.
- Moreira, F.S.A.; Ferreira, G.R.B.; Dias, L.C. & Vitorino, M.I. 2019. Variabilidade espaço temporal da precipitação na cidade de Belém-PA e sua relação com a incidência de leptospirose. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(1): 71-80.
- Moura, M.N. & Vitorino, M.I. 2012. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à zona de convergência

Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018

Bruna Roberta Pereira Lira; Luiza de Nazaré Almeida Lopes; Juliane Ribeiro das Chaves; Laila Rover Santana & Lindemberg Lima Fernandes

- intertropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(4): 475-483.
- Nobre, C.A.; Obregón, G.O.; Marengo, J.A.; Fu, R. & Poveda, G. 2009. Características do clima amazônico: aspectos principais. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J. & DIAS, P.S. (ed.). *Amazonia and Global Change*. American Geophysical Union, p. 149-162.
- Oliveira, G.B.; Alcantara, C.R. & Souza, E.P. 2016. Caracterização de perfil de vento no ambiente de formação das linhas de instabilidade amazônicas. *Ciência e Natura*, 38(1): 393-403.
- Oliveira, L.F.C.; Fioreze, A.P.; Medeiros, A.M.M. & Silva, M.A.S. 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(11): 1186-1192.
- Oliveira, P.T.; Silva, C.M.S. & Lima, K.C. 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2): 77-90.
- OMM. 1984. Organização Meteorológica Mundial. Guia de práticas hidrológicas. *Aquisición y Proceso de Datos*, 1(168): 3-20.
- Onyutha, C. 2016. Variability of seasonal and annual rainfall in the River Nile riparian countries and possible linkages to ocean-atmosphere interactions. *Hydrology Research*, 47(1): 171-184.
- Pandey, B.K. & Khare, D. 2018. Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India). *Global and Planetary Change*, 161: 172-182.
- Penereiro, J.; Martins, L.L.S. & Beretta, V.Z. 2016. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidroclimáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 12(18): 219-241.
- Penereiro, J.C. 2020. Climatic trends of temperatures and precipitation in Brazilian localities. *Acta Scientiarum Technology*, 42(1): 1-9.
- Pettitt, A.N.A. 1979. Non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2): 126-135.
- Quadros, L.E.; Mello, E.L.; Gomes, B.M. & Araújo, F.C. 2019. Rainfall trends for the state of Paraná: present and future climate. *Revista Ambiente & Água*, 14(2): 1-13.
- Salehi, S.; Dehghani, M.; Mortazavi, S.M. & Singh, V.P. 2019. Trend analysis and change point detection of seasonal and annual precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(1): 308-323.
- Salmi, T.; Maatta, A.; Antilla, P. & Ruoho-Airola, T. (org.). 2002. *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS*. Helsinki, Finnish Meteorological Institute, 35p.
- Salviano, M.F.; Groppo, J.D. & Pellegrino, G.Q. 2016. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1): 64-73.
- Santos, E.F.N. & Sousa, I.F. 2018. Análise estatística multivariada da precipitação do Estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14(23): 205-222.
- Satyamurty, P.; Castro, A.A.; Tota, J.; Gularte, L.E.S. & Manzi, A. O. 2010. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 139-148.
- Sen, P.K. 1968. Estimativas of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- Severo, D.L.; Santos S.H. & Tachini, M. 2019. Flutuações climáticas da precipitação no Vale do Itajaí (SC). *Revista de Estudos Ambientais*, 20(2): 37-48.
- Silva, M.D.N.A.D.; Pessoa, F.C.L.; Silveira, R.N.P.D.O.; Rocha, G.S. & Mesquita, D.A. 2018. Determination of the Homogeneity and Tendency of Precipitations in the Tapajós River Basin. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(4): 665-675.
- Souza, E.B.; Ferreira, D.B.S.; Guimarães, J.T.F.; Franco, V.S.; Azevedo, F.T.M.; Moraes, B.C. & Souza, P.J.O.P. 2017. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Climatologia*, 13(21): 81-93.
- Tucci, C.E.M. (org.). 2007. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, EDUSP, 943p.
- Uliana, E.M.; Silva, D.D.; Uliana, E.M., Rodrigues, B.S. & Paula Corrêdo, L.P. 2015. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: Uso de teste estatístico não paramétrico. *Revista Ambiente e Água*, 10(1): 82-88.
- Zhang, W; Yan, Y; Zheng, J; Li, L; Dong, X; Cai, H. 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69: 35-47.
- Zilli, M.T.; Carvalho, L.M.V.; Liebmann, B. & Dias, M.A.S. 2017. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(5): 2269-2279.