

ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS EM MARINGÁ E CAMPO MOURÃO-PR

Analysis of pluviometric trends in Maringá and Campo Mourão-PR

Análisis de tendencias pluviométricas en Maringá y Campo Mourão-PR

Lucas Eduardo Fonseca Szapak¹ 

Maria Cleide Baldo² 

Leandro Zandonadi³ 

RESUMO

A identificação de tendências climáticas ganhou notoriedade e passou a ser muito utilizada nos últimos tempos. Conhecer melhor a dinâmica climática para um determinado local é uma maneira de preparar a sociedade para possíveis eventos extremos. Os locais escolhidos foram Maringá e Campo Mourão devido à importância econômica das atividades agrícolas. Os dados diários de precipitação, do período de 1976 a 2019, foram obtidos do Instituto das Águas do Paraná-SIH. O objetivo foi verificar a existência de tendências nas séries anuais e mensais da precipitação máxima, da precipitação total e do número de dias com chuva, através do teste de Mann-Kendall. Foi identificadas tendências negativas na precipitação máxima anual em Campo Mourão. Quanto ao número de dias com chuva para cada mês, observou-se tendência negativa apenas em Maringá, no mês de setembro.

Palavras-chave: Precipitação pluvial; teste de Mann-Kendall; teste de Mann-Kendall sazonal.

ABSTRACT

The identification of climate trends has gained notoriety and has come to be widely used in recent times. Knowing the climate dynamics for a given location better is a way of preparing society for possible extreme events. The locations chosen were Maringá and Campo Mourão due to the economic importance of agricultural activities. The daily rainfall data, from 1976 to 2019, were obtained from the Instituto das Águas do Paraná-SIH. The objective was to verify the existence of trends in the annual and monthly series of maximum precipitation, total precipitation and the number of rainy days, using the Mann-Kendall test. Negative trends were identified in the maximum annual precipitation in Campo Mourão. As for the number of rainy days for each month, a negative trend was observed only in Maringá, in September.

Keywords: Rainfall; Mann-Kendall test; Mann-Kendall seasonal test.

RESUMEN

La identificación de tendencias climáticas ha ganado notoriedad y ha llegado a ser ampliamente utilizada en los últimos tiempos. Conocer mejor la dinámica climática de un lugar determinado es una forma de preparar a la sociedad para posibles eventos extremos. Los lugares elegidos fueron Maringá y Campo Mourão debido a la importancia económica de las actividades agrícolas. Los datos de precipitación diaria, de 1976 a 2019,

¹ Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campo Mourão, Paraná, Brasil. **E-mail:** lucaseszapak@gmail.com

² Doutora em Geografia. Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Departamento de Engenharia Ambiental, Campo Mourão, Paraná, Brasil **E-mail:** mcbaldo@utfpr.edu.br

³ Doutor em Geografia. Docente na Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia e Agronomia, Maringá, Paraná, Brasil. **E-mail:** lzandonadi@uem.br

se obtuvieron del Instituto das Águas do Paraná-SIH. El objetivo fue verificar la existencia de tendencias en las series anuales y mensuales de precipitación máxima, precipitación total y número de días de lluvia, mediante la prueba de Mann-Kendall. Se identificaron tendencias negativas en la precipitación máxima anual en Campo Mourão. En cuanto al número de días lluviosos de cada mes, se observó una tendencia negativa solo en Maringá, en septiembre.

Palabras-clave: Lluvia; Prueba de Mann-Kendall; Prueba estacional de Mann-Kendall.

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos padrões climáticos predominantes numa dada área ou região é de notável importância e incide diretamente sobre as atividades dos mais diferentes seguimentos econômicos como turismo, planejamento urbano e rural, dimensionamento de aterro sanitário, dentre muitas outras áreas de aplicações. Os estudos produzidos sob esta ótica produzem informações importantes e que visam, por exemplo, reduzir as consequências associadas a eventos extremos de chuvas ou estiagens prolongadas.

Os eventos extremos de chuva provocam sérios problemas nas áreas urbanas, rurais e nas rodovias, e muitas vezes causam perdas materiais e humanas. Nas áreas urbanas, por exemplo, as chuvas concentradas provocam inundações, alagamentos e deslizamentos devido a impermeabilização do solo e à urbanização precária e a ocupação irregular. Estes eventos extremos são mais sentidos pela população que ocupa as áreas mais susceptíveis a riscos ambientais, pois estão mais vulneráveis e à mercê das condições do tempo atmosférico.

É neste sentido que estudos que empregam metodologias voltadas para a identificação de tendências em dados de precipitação pluviométrica tenham ganhado cada vez mais notoriedade, sendo amplamente utilizados nos últimos tempos. Esse interesse está atrelado, de forma majoritária, às discussões referentes às mudanças climáticas, um assunto há muito tempo em pauta nos mais diversos meios de comunicações e nas diversas documentações técnico-científicas.

De modo geral, o conhecimento das tendências para um determinado local é importante por ser uma maneira de preparar a sociedade para possíveis eventos extremos. Na área rural, por exemplo, quanto mais precisas e eficazes forem às informações acerca do clima e seus padrões comportamentais, melhor será a condução das atividades agrícolas em todas as dimensões, manejo e conservação do solo, plantio, desenvolvimento, colheita e armazenamento, propiciando maior produtividade das culturas.

Portanto, são vários os trabalhos já realizados com o intuito de se compreender os padrões e as mudanças nas tendências pluviométricas. Dentre eles está o de Marengo et al. (2009), que concluíram que em todos os cenários climáticos futuros considerados para a América do Sul,

experimentariam tendências de mudanças significativas nos extremos de temperaturas e de chuvas, bem como nos períodos de secas em diversas regiões.

O aumento significativo nos totais mensais e anuais de pluviosidade para diversos locais foram apresentados por Back (2001); Back, Della Bruna e Vieira (2012); Marengo (2009); Pedron et al. (2013); Zandonadi et al. (2015); e Montanher e Minaki (2020).

Alguns desses trabalhos frequentemente atribuem esses resultados às mudanças climáticas. Porém, a maioria dos estudos mostra que as tendências, tanto positivas quanto negativas, não acontecem de maneira homogênea para uma determinada área de estudo. As tendências são muito pontuais, não sendo possível atribuí-las a uma mudança climática global, apenas a mudanças locais do uso da terra.

Com relação a esta falta de homogeneidade nos resultados, Santos, Lúcio e Silva (2015) consideram que tudo depende do conjunto de dados utilizados, com isso as tendências podem ser variáveis quando observadas sob diferentes períodos de duração, o que justifica o alto grau de incerteza.

Marengo (2009) considera que uma das mais importantes questões relacionadas aos eventos extremos em curto prazo é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo; se há uma tendência a cenários propícios à ocorrência desses eventos.

O fato é que, diante de tantas incertezas, muitas pesquisas foram e estão sendo elaboradas ao redor de todo o planeta, nas mais diversas áreas do conhecimento, com o intuito de se compreender quais são os possíveis reflexos provocados pelas mudanças climáticas.

Considerando a importância do conhecimento do clima para os mais diversos setores da economia, sobretudo para a agricultura, é que se optou por fazer uma análise da tendência da precipitação em diversas escalas (diária – dias com chuva, mensal, anual), no período de 1976 a 2019, para os municípios de Campo Mourão e Maringá, no estado do Paraná, tendo em vista que ambos apresentam alto potencial agrícola.

Os municípios têm sua economia fortemente voltada para a agricultura, sendo está uma atividade dependente das condições climáticas e, portanto, é de suma importância avaliar e identificar a existência de possíveis tendências positivas ou negativas nos valores pluviométricos.

A escolha pelos dois municípios adveio também de uma percepção pessoal temporal, em que empiricamente se acreditava que embora estejam geograficamente próximos, em torno de 90 km, os valores pluviométricos de Campo Mourão pareciam maiores quando comparados com os de Maringá. Logo, para sanar esta dúvida, era necessária a comprovação através da quantificação desses dados, nas diferentes escalas de análises já mencionadas.

Por fim, os dois municípios escolhidos estão situados próximos a linha do Trópico de Capricórnio, ou seja, numa zona de transição climática entre os grandes domínios do clima tropical e o subtropical, sendo, assim, influenciados pelos mesmos sistemas atmosféricos, o que leva a indagar também o quanto isso influencia nas tendências dos valores pluviométricos dos locais comparados, já que a altitude e a forma do relevo da região são muito similares. Somente a análise pontual propiciaria uma visualização mais detalhada dos padrões de distribuição das chuvas ao longo de toda a série histórica, e a quantificação das interferências nestes padrões foi a principal motivação para a realização deste trabalho.

MATERIAL E MÉTODO

Descrição da área de estudo

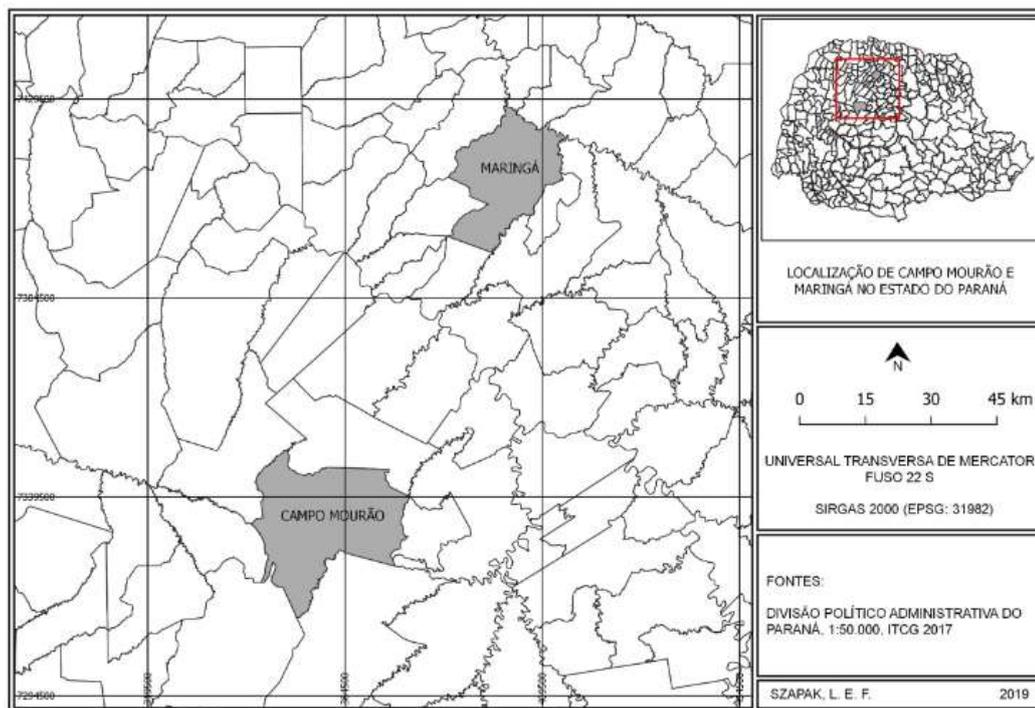
As duas localidades, escolhidas neste estudo, estão a uma distância entre elas de aproximadamente 90 km, utilizando-se a rodovia PR-317.

O município de Maringá está localizado na Mesorregião Norte Central do estado do Paraná, na Latitude 23° 25' Sul e Longitude de 51° 57' Oeste (Figura 1), a uma altitude média de 584m. Este possui extensão territorial de 487,012 km², população estimada de 430.157 mil habitantes e densidade demográfica de 733,14 hab/km², segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

De grande importância para a produção agrícola do Paraná, destaca-se na produção de milho, soja e cana-de-açúcar, conforme informações do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES (2019a, 2019b). A vocação agrícola do município e região levou à implantação, em 1963, de uma grande cooperativa, hoje conhecida como Cocamar Cooperativa Agroindustrial.

Campo Mourão está localizada na Mesorregião Centro Ocidental do estado do Paraná, na Latitude 24° 02' Sul e Longitude 52° 22' Oeste (Figura 1), em uma altitude média de 591m, com área territorial de 749,637 km², população estimada de 95.488 mil habitantes e densidade demográfica de 115,05 hab/km² (IBGE, 2020). O município é predominantemente agrícola, com cultivos principais de soja, milho e trigo, sendo também a sede da maior cooperativa da América Latina, a COAMO (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2019a)

Figura 1 – Localização das áreas de estudo



Fonte: Autoria própria (2019).

Portanto, é de suma importância o estudo da variabilidade climática da região, devido a atividade agrícola destes municípios e da relevância dos fatores edafoclimáticos, os quais estão diretamente atrelados ao desenvolvimento das diversas culturas nela implantadas.

Diferentes sistemas atmosféricos influenciam a precipitação no Sul do Brasil, e de modo consequente na área de estudo, ao longo do ano. São eles: sistemas frontais, os ciclones, complexos convectivos de mesoescala, as linhas de instabilidades, os sistemas convectivos alongados persistentes, os vórtices ciclônicos em altos níveis e as circulações de brisas (REBOITA *et al.*, 2010; REBOITA *et al.*, 2012). Além desses sistemas, a área também sofre influência indireta da Zona de Convergência do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988; QUADRO, 1994; CARVALHO *et al.*, 2004).

Mota (2003) constatou que a pluviosidade associada aos sistemas convectivos de mesoescala de longa duração contribui com mais de 50% da precipitação em diversas áreas da região subtropical da América do Sul.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante em Maringá e Campo Mourão é o Cfa: Clima subtropical úmido mesotérmico, com verão quente com médias de temperatura superiores a 22°C e o mês mais frio com temperatura inferior a 18°C e as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, conforme Nitsche, *et. al* (2019).

Segundo Szapak (2020), o verão é a estação mais chuvosa para Campo Mourão e Maringá,

com uma média 507,6 e 530,4 mm, respectivamente, já o inverno é a estação mais seca para ambas as localidades, com médias de 288,8 e 250,8 mm, período em que há atuação mais intensa da massa Polar Atlântica, que sendo mais fria, ao confrontar com as massas quentes, provoca a estabilidade no tempo atmosférico. Mesmo sendo uma diferença sutil nos valores, chove mais em Maringá no verão, enquanto que no inverno os maiores valores são registrados em Campo Mourão. Quanto ao total anual de precipitação e a média climatológica, Campo Mourão apresentou maiores valores quando comparado a Maringá, sendo 1675,5 mm e 1598,6 mm, respectivamente.

Tratamento dos dados

Os dados de precipitação pluviométrica diária, dos dois postos pluviométricos, foram obtidos no site do Instituto Água e Terra – IAT (2020), através do Sistema de Informações Hidrológicas - SIH. São dados já repassados para os usuários em geral com as devidas análises de consistências e os preenchimentos das falhas existentes, o que garante maior confiabilidade e rapidez no processo de tratamento das informações, além de contemplarem toda a série histórica compreendida entre o período de 1976 a 2019, para as duas localidades estudadas.

O posto pluviométrico de Campo Mourão possui código cadastral 2452007, a uma altitude de 591 metros, na Latitude de 24° 02' 50" Sul e Longitude 52° 22' 03" Oeste, e está localizado na bacia do rio Ivaí. O posto de Maringá, código 2351045, é denominado de posto Guaiapó, estando na altitude de 584 metros, Latitude 23° 24' 00" Sul e Longitude de 51° 52' 26" Oeste e localizado na bacia do rio Pirapó, que faz divisas com a bacia do rio Ivaí (Quadro 1).

Os dados diários de precipitação de toda a série histórica foram tabulados em planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel®, a fim de realizar-se uma análise preliminar, e por serem dados já consistidos não houve a necessidade de preenchimento de falhas de registros.

Quadro 1 – Informações cadastrais e geográficas dos postos pluviométricos utilizados

Nº	Município	Posto	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Bacia
1	C. Mourão	C. Mourão	2452007	24° 02' 50"	52° 22' 03"	591m	Rio Ivaí
2	Maringá	Guaiapó	2351045	23° 24' 00"	51° 52' 26"	584m	Rio Pirapó

Fonte: autoria própria (2021).

Inicialmente, foram aplicadas algumas técnicas relacionadas à estatística descritiva (média, desvio padrão, máximos e mínimos) e através dos resultados obtidos foram elaborados os gráficos e tabelas com o intuito de caracterizar-se o padrão pluviométrico predominante para as áreas, na escala diária, mensal, sazonal, anual e interanual.

Análise descritiva

A princípio, foi realizada uma análise descritiva dos resultados para a obtenção de gráficos de linhas, com o intuito de caracterizar o comportamento das séries anuais e mensais da precipitação máxima, da precipitação total e do número de dias com chuva.

O gráfico de linhas de uma série temporal apresenta os valores da variável para cada mês ou ano do período avaliado, em ordem, ligados por uma única linha. Ainda, foi acrescentado ao gráfico uma linha de tendência, obtida por meio do ajuste de um modelo de regressão linear simples entre a variável de interesse e o tempo. Todas as análises, tanto descritiva quanto a de tendência foram realizadas no ambiente estatístico R (*R Development Core Team, 2016*), versão 3.3.1.

Análise de tendência

Para verificar a existência de tendências nas séries anuais e mensais da precipitação máxima, da precipitação total e do número de dias com chuva, foi utilizado o teste de Mann (1945) e Kendall (1975), além da aplicação do teste de Mann-Kendall Sazonal para o caso das séries mensais.

O teste de Mann-Kendall é um dos testes não paramétricos mais utilizados para a detecção de tendências em séries de dados hidrológicos, utilizados por autores como Back (2001), Back, Della Bruna e Vieira (2012), Pinheiro *et al.* (2013), Carmello e Santanna Neto (2015), Pinheiro e Martin-Vide (2018), Hiera, Lima Júnior e Zanella (2019), dentre tantos outros.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall avalia a presença de tendência em uma série temporal, seja linear ou não linear (MACHIWAL, 2012). Seja a série x_t , com $t = 1, \dots, n$, a estatística de Mann-Kendall representa o número de diferenças positivas menos o número de diferenças negativas de todas as comparações consideradas, calculada por:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k),$$

Equação (1)

em que cada observação $\text{sgn}(x_j - x_k)$ é definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1, & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0, & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1, & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{aligned}$$

Equação (2)

E sua respectiva variância, sendo g o número de empates e e_i o número de observações no i -ésimo grupo empatado, é dada por:

Equação (3)

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right].$$

Para $n \rightarrow \infty$, S é normalmente distribuída. Assim, a estatística do teste Z pode ser escrita:

Equação (4)

$$Z = \frac{S + m}{\sqrt{\text{var}(S)}}$$

com $m = 1$ se $S < 0$ ou $m = -1$ se $S > 0$. Se o valor de S é igual a zero, a estatística Z também é tomada como zero. Os valores absolutos obtidos para Z são comparados com os valores críticos obtidos da distribuição normal padrão. Ainda, foi obtida a estatística τ de Mann-Kendall, cujo sinal indica se a tendência é crescente ($\tau > 0$) ou decrescente ($\tau < 0$), e é dada por:

Equação (5)

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

Já o teste Mann-Kendall Sazonal, que avalia a presença de tendência em uma série considerando a presença de sazonalidade, foi proposto por Hirsch, Slack e Smith (1982), sendo que a estatística S_i ($i = 1, \dots, 12$) é calculada similarmente a estatística S da versão original do teste para cada mês. Assim, a estatística S' da versão sazonal é dado por:

Equação (6)

$$S' = \sum_{i=1}^{12} S_i.$$

Considerando independência entre os meses, a variância de S' também é dada pelo somatório das variâncias calculadas para cada mês, isto é, $\text{var}(S') = \sum_{i=1}^{12} \text{var}(S_i)$, enquanto a estatística do teste é obtida do mesmo modo, considerando os valores de S' e $\text{var}(S')$. Já a estatística τ' de Mann-Kendall referente ao teste sazonal é dada pela média dos valores de τ_i , calculados para cada mês.

Equação (7)

$$\tau' = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \tau_i.$$

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do ambiente estatístico R (*R Development Core Team, 2016*), versão 3.3.1.

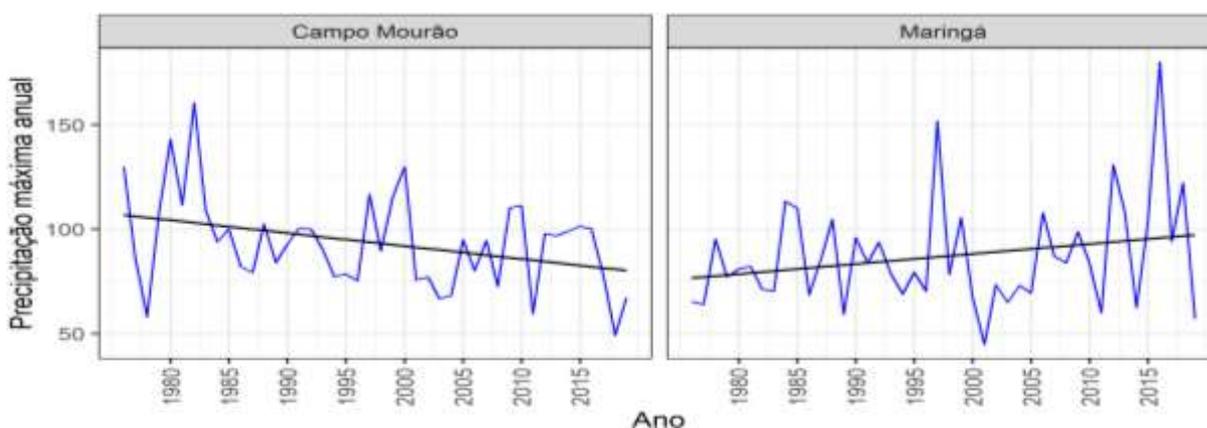
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Análise anual: máximos, totais e número de dias com chuva

A seguir são apresentadas as séries de tendência anuais, por postos, considerando a precipitação máxima, precipitação total e número de dias com chuva.

Referente à precipitação máxima anual, para Campo Mourão e Maringá (Figura 2) foi detectado um decréscimo na sua tendência ao longo dos anos em Campo Mourão, em que o valor máximo da série é atingido no início do período analisado, sendo acima de 160,0 mm em 1982.

Figura 22 – Tendência da precipitação máxima anual em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Entretanto, em Maringá é observado um aumento da precipitação máxima anual, com máximos diários acima de 180 mm em 2016. Estes valores estiveram relacionados com o El Niño de 2015/2016, onde a anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) alcançou +2,64°C no trimestre novembro-dezembro-janeiro, a maior desde 1950 (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION; NATIONAL WEATHER SERVICE; CLIMATE PREDICTION CENTER, 2020).

Muitos episódios negativos foram registrados naquele período na região de Maringá e, de acordo com Zandonadi (2020), um dos destaques foi a fortíssima elevação no nível do rio Pirapó (em torno de 10 metros), que inundou a área de captação e bombeamento de água da empresa responsável pelo abastecimento hídrico do município, gerando caos para toda a população por

aproximadamente 10 dias. Em outra ocasião, Mito (2017) também constatou que no ano de 2009 foram registrados 84 eventos de chuvas intensas em Maringá.

Os resultados da aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall à precipitação máxima anual dos dois municípios indicam que apenas para Campo Mourão foi observada uma tendência significativa (valor p de 0,035), ao nível de 5% de significância, sendo essa tendência negativa de acordo com o valor de tau, de -0,222 (Tabela 1), ou seja, os valores máximos anuais do período analisado estão diminuindo. Em Maringá, embora apresentando um aumento da precipitação máxima, não pode ser considerada tendência significativa pelos resultados da tabela.

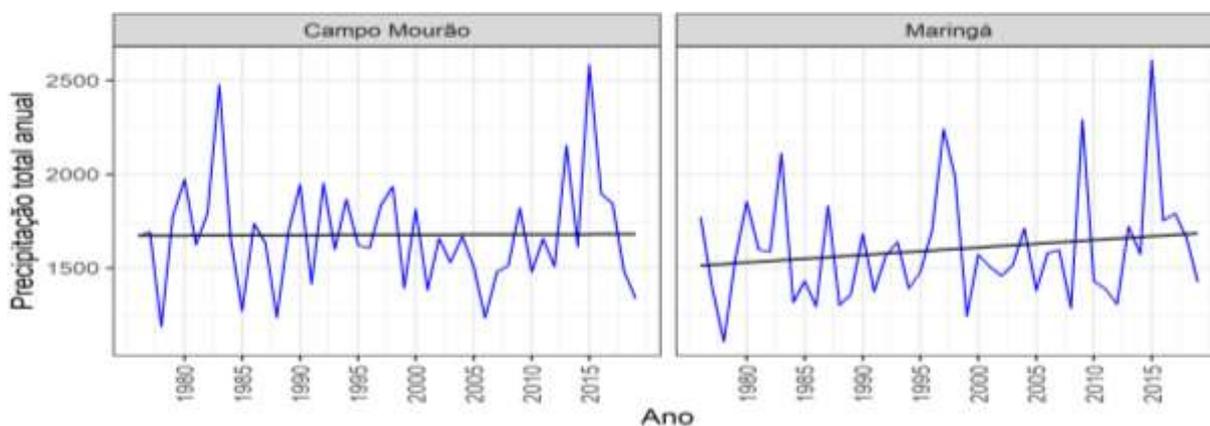
Tabela 1 – Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de precipitação máxima em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-2,124	-0,222	0,035	-0,301	-0,222
2351045	Maringá	0,971	0,101	0,337	0,161	0,101

Fonte: Autoria própria (2021).

Com relação à precipitação total anual, embora oscile bastante entre os anos, de modo geral não há uma tendência clara na série histórica de Campo Mourão, e apenas um leve acréscimo ao longo dos anos em Maringá (Figura 3).

Figura 3 – Tendência da precipitação total anual em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Corroborando com os indícios visuais da Figura 3, vê-se na Tabela 2 que nenhum dos municípios apresentou tendência significativa da precipitação total anual, ao nível de 5% de significância, de acordo com os resultados do teste de Mann-Kendall, sendo estes resultados semelhantes aos obtidos por Montanher e Minaki (2020) para Maringá, em que utilizaram o método da regressão linear.

Tabela 2 – Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de precipitação total em Campo Mourão e Maringá

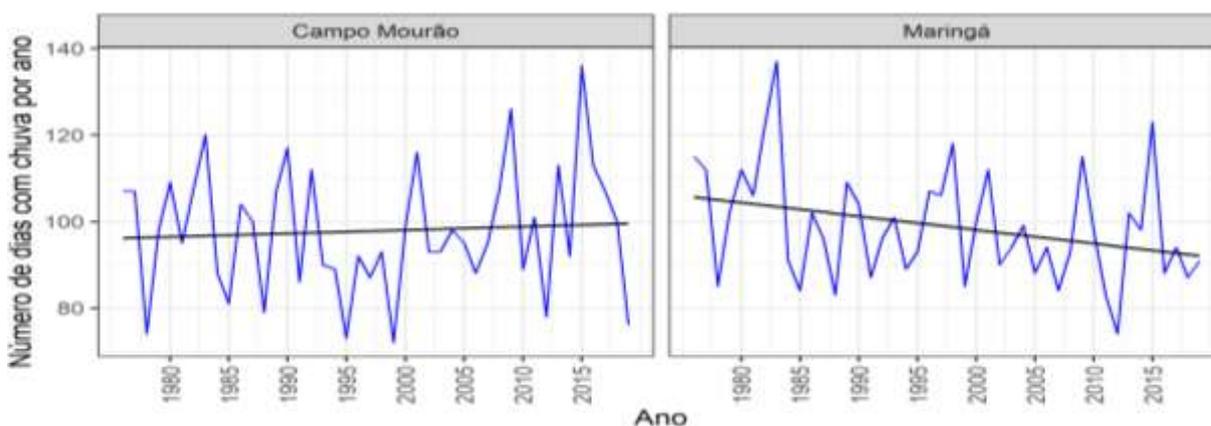
Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-1,193	-0,125	0,237	-0,176	-0,125
2351045	Maringá	1,335	0,140	0,185	0,180	0,140

Fonte: Autoria própria (2021).

Considerando o número de dias com chuva anual, vê-se na Figura 4 que Maringá apresenta uma leve tendência de decrescimento ao longo do período, enquanto Campo Mourão, embora também leve, a tendência é de aumento.

Os municípios analisados estão inseridos numa área de transição climática, isso pode explicar esta diferença sutil, nos dados. Referente a esta transição, Nimer (1989) explica que a localização geográfica do Paraná apresenta características de transição climática, em que o norte do estado tem a influência dos sistemas atmosféricos tropicais e o Sul é condicionado pelos sistemas frontais. Embora as duas localidades estejam geograficamente próximas, essas diferenças podem ser explicadas pela intensidade dos deslocamentos dos sistemas atmosféricos.

Figura 4 – Série anual e tendência do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 3, referente série anual de número de dias com chuva, nota-se que ao nível de 5% de significância, nenhuma das séries apresentou tendência significativa, seja positiva ou negativa, de acordo com os resultados do teste de Mann-Kendall.

Tabela 3 – Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	1,050	0,114	0,298	0,169	0,114
2351045	Maringá	-0,889	-0,097	0,380	-0,130	-0,097

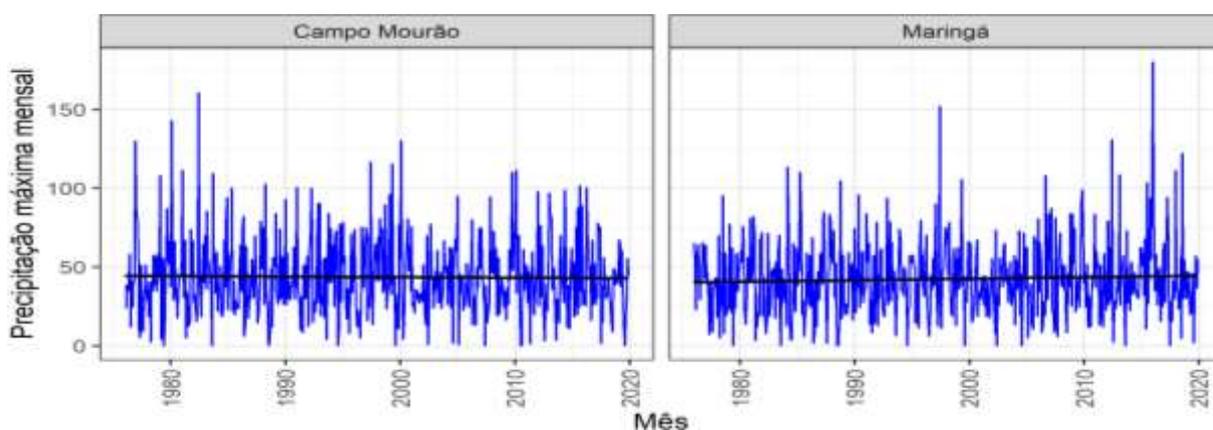
Fonte: Autoria própria

Análise mensal: máximos, presença de sazonalidade, totais e números de dias com chuva

Além do cálculo das variáveis anuais, também foram avaliadas as séries mensais, tanto da precipitação máxima e total, quanto do número de dias com chuva.

A série mensal da variável referente a precipitação máxima para os 2 postos avaliados é apresentada na Figura 5. Ao contrário das séries anuais, visualmente é difícil detectar no gráfico tendências de acréscimo ou decréscimo na precipitação máxima ao longo do período, dado a grande oscilação dos dados e também a presença de sazonalidade nas séries.

Figura 5 – Série mensal e tendência da precipitação máxima em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Assim, para avaliação mais detalhada das tendências, na sequência são apresentados os resultados do teste de Mann-Kendall e o de Mann-Kendall Sazonal, aplicados às séries mensais.

Pelos resultados do teste de Mann-Kendall (Tabela 4), nota-se que o coeficiente tau foi negativo para Campo Mourão e positivo para Maringá, entretanto, com valores muito próximos de zero, indicando que ambos não são significativos. E considerando a versão sazonal do teste de Mann-Kendall (Tabela 5), observa-se ainda que os coeficientes tau mantiveram-se próximos de zero, não sendo expressivos, portanto, ao nível de 5% de significância.

Tabela 4 – Resultado do teste de Mann-Kendall da série mensal de precipitação máxima em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-0,031	-0,001	0,976	-0,001	-0,001
2351045	Maringá	0,530	0,015	0,596	0,021	0,015

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 5 – Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da série mensal de precipitação máxima em Campo Mourão e Maringá

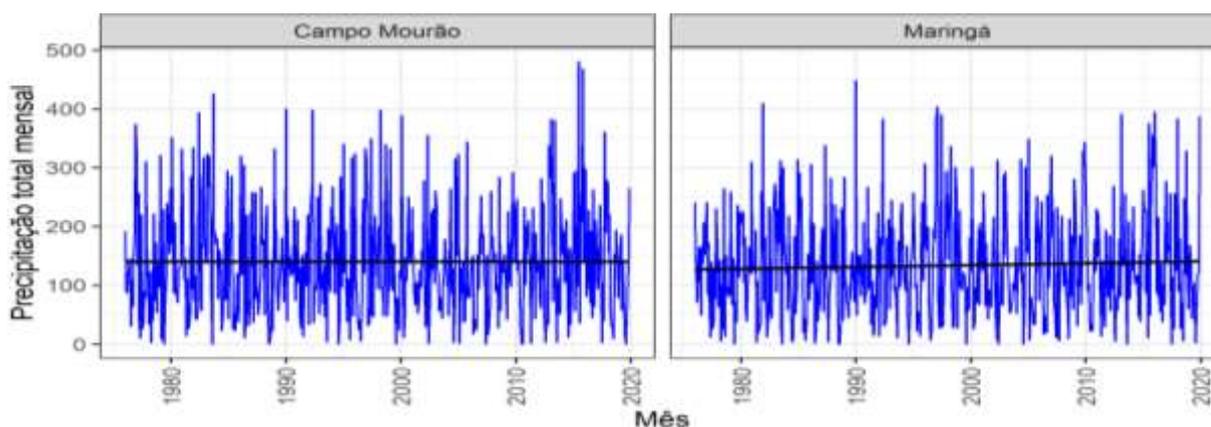
Código	Posto	Z	tau	P	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-0,245	-0,007	0,806	-0,001	-0,001
2351045	Maringá	0,567	0,017	0,571	0,021	0,015

Fonte: Autoria própria (2021).

As séries mensais de precipitação total nos 2 municípios são apresentadas na Figura 6. Assim como para a análise anual, observa-se tanto na Figura 6, quanto na Tabela 6 que não foram observadas evidências suficientes de uma tendência significativa de acréscimo ou decréscimo da precipitação total, para todos os postos avaliados, através dos resultados do teste de Mann-Kendall aplicado a série mensal.

Da mesma forma, aplicando-se a versão sazonal do teste de Mann-Kendall, vê-se que os totais mensais pluviométricos se mantiveram constantes entre o período de 1976 a 2019, ao nível de 5% de significância (Tabela 7).

Figura 6 – Série mensal e tendência da precipitação total em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 61 – Resultado do teste de Mann-Kendall da série mensal de precipitação total em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	0,250	0,007	0,803	0,010	0,007
2351045	Maringá	0,658	0,019	0,511	0,026	0,019

Fonte: Autoria própria (2021).

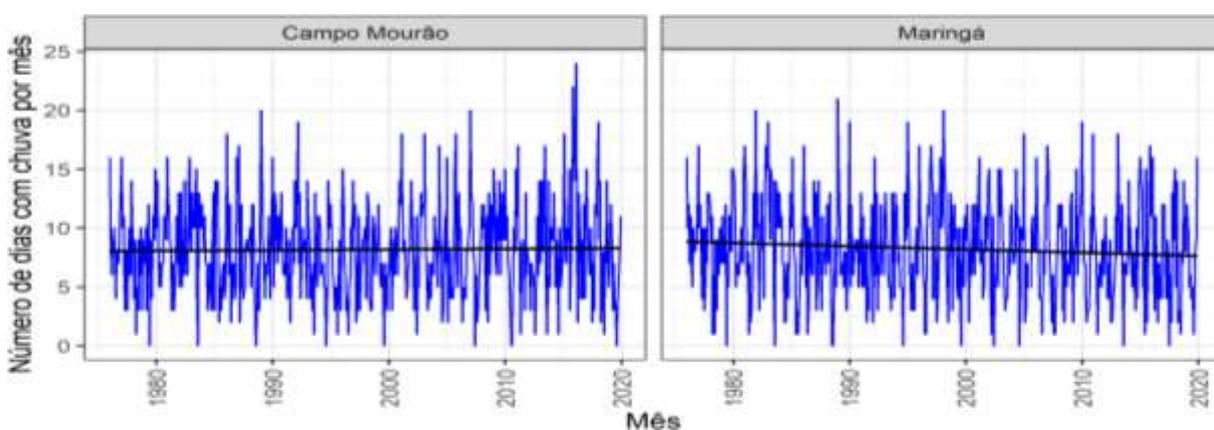
Tabela 72 – Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da série mensal de precipitação total em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-0,032	-0,001	0,974	0,010	0,007
2351045	Maringá	0,835	0,025	0,404	0,026	0,019

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 7 é apresentada a série mensal do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá. Visualmente, é possível verificar-se que em Campo Mourão a linha de tendência praticamente não sofre distorção, praticamente acompanhando o plano horizontal do gráfico. Por outro lado, para Maringá é mais evidente a queda na linha de tendência, indicando que houve diminuição nos dias de chuvas mensais para o município ao longo da série histórica. Porém, o grau de intensidade dessa tendência só pode ser, melhor, observado a partir da Tabela 8.

Figura 7 – Série mensal e tendência do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 8 3 – Tendência mensal do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	0,060	0,002	0,952	0,003	0,002
2351045	Maringá	-2,030	-0,061	0,042	-0,088	-0,061

Fonte: Autoria própria (2021).

Nota-se, assim, a partir da Tabela 8, que para Maringá foi observada uma tendência negativa significativa do número de dias com chuva (valor p de 0,042), embora fraca (tau de -0,061), enquanto que para Campo Mourão não foi detectada significância na tendência da série para a mesma variável.

Considerando agora o efeito da sazonalidade nas séries mensais do número de dias com chuva, por meio da aplicação do teste Mann-Kendall Sazonal (Tabela 9), observa-se que a tendência negativa observada na série de Maringá se acentuou, além de manter-se um pouco mais significativa (valor p de 0,009 e tau de -0,082).

Tabela 9 – Tendência sazonal da série mensal de número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá

Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
2452007	Campo Mourão	-0,209	-0,007	0,835	0,003	0,002
2351045	Maringá	-2,617	-0,082	0,009	-0,088	-0,061

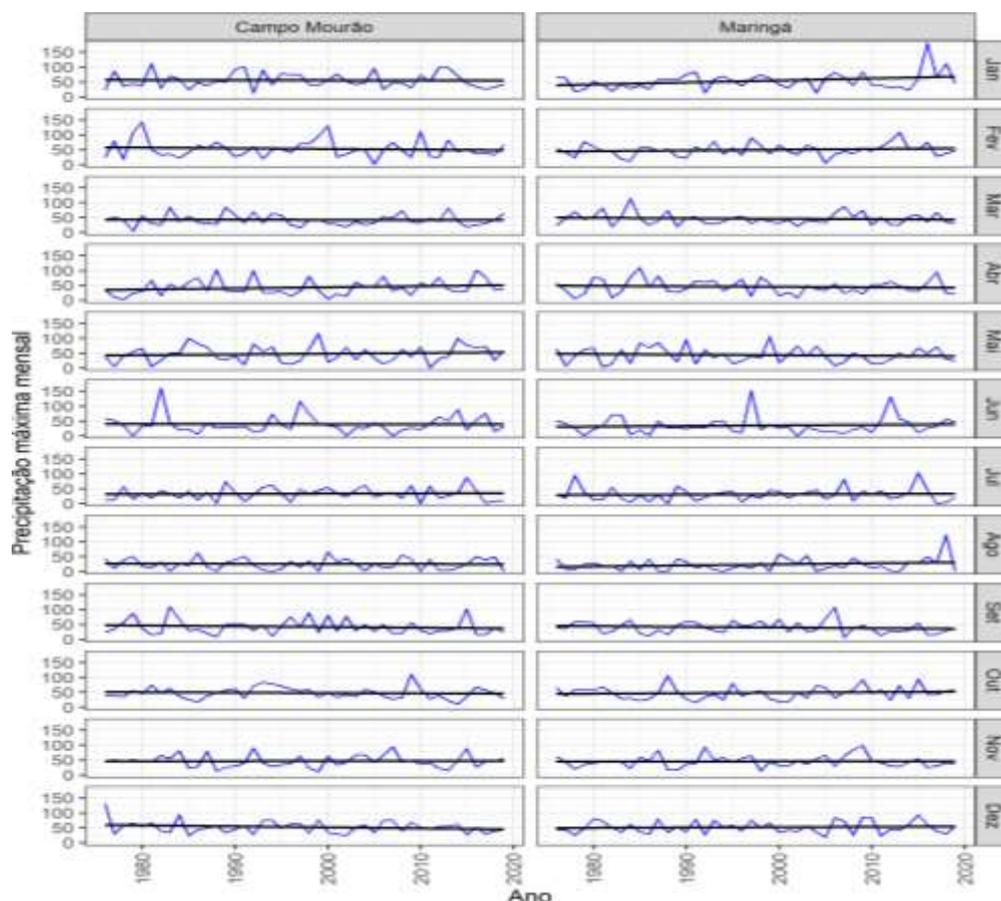
Fonte: Autoria própria (2021).

Análise da precipitação máxima mensal: máxima mensal, total mensal, número de dias com chuva

A seguir são apresentadas para cada mês, a precipitação máxima, precipitação total e número de dias com chuva (Figuras 8, 9 e 10 e Tabelas 10, 11 e 12).

Inicialmente, foi possível observar que, mesmo os locais analisados estando próximos, o padrão de precipitação máxima foi diferente. No município de Campo Mourão, durante o mês de fevereiro, por exemplo, foram registrados vários picos de chuvas ao longo de toda a série, o que não ocorreu em Maringá.

Figura 83 – Tendência da precipitação máxima mensal em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Chama atenção ainda que, de todos os meses, maio e junho foram os que apresentaram as maiores quantidades de picos de precipitação máxima, tanto para Campo Mourão, quanto para Maringá (Figura 8), possivelmente associados a passagens de sistemas frontais mais intensos, bastante comuns na região durante a fase do final do outono, aumentando a instabilidade atmosférica. Apesar disso, não foram detectadas nenhuma tendência significativa ao longo dos anos ao nível de 5% de significância (Tabela 10).

Tabela 10 – Tendência da precipitação máxima mensal em Campo Mourão e Maringá

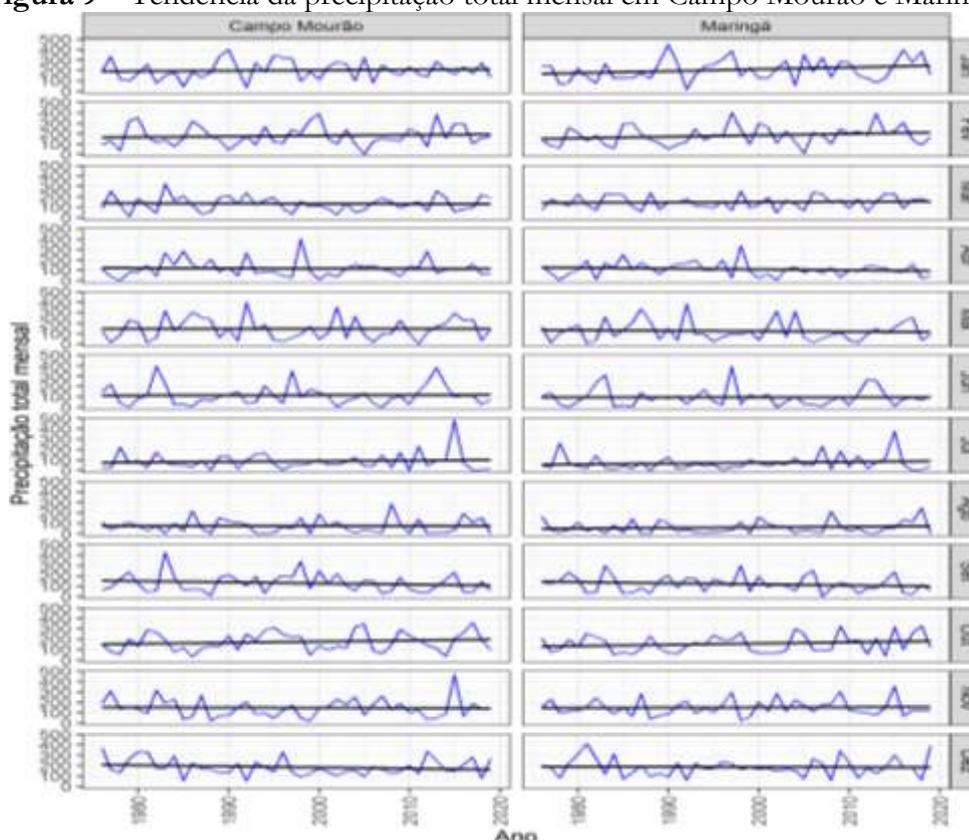
P	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	-0,011	-0,024	-0,023	0,163	0,082	0,002	0,017	-0,025	-0,097	-0,108	0,012	-0,077
2	0,151	0,083	-0,030	-0,059	-0,051	0,023	0,055	0,074	-0,119	0,052	-0,016	0,042

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$). **P** - Posto pluviométrico; **1** - Campo Mourão; **2** - Maringá.

Fonte: Autoria própria (2021).

A variabilidade do total pluvial mensal (Figura 9) apresentou picos mais acentuados ao longo da série nos meses de abril, maio e junho, sendo que estes dois últimos coincidem com os meses anteriormente indicados como os de maiores tendências de precipitação máxima mensal. No mês de julho é possível perceber ainda um padrão semelhante para Maringá e Campo Mourão.

Figura 9 – Tendência da precipitação total mensal em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Na análise das tendências da precipitação total mensal não foram identificadas evidências suficientes de valores significativos, sejam positivos ou negativos, ao nível de 5% (Tabela 11).

Tabela 4 – Tendência da precipitação total mensal em Campo Mourão e Maringá

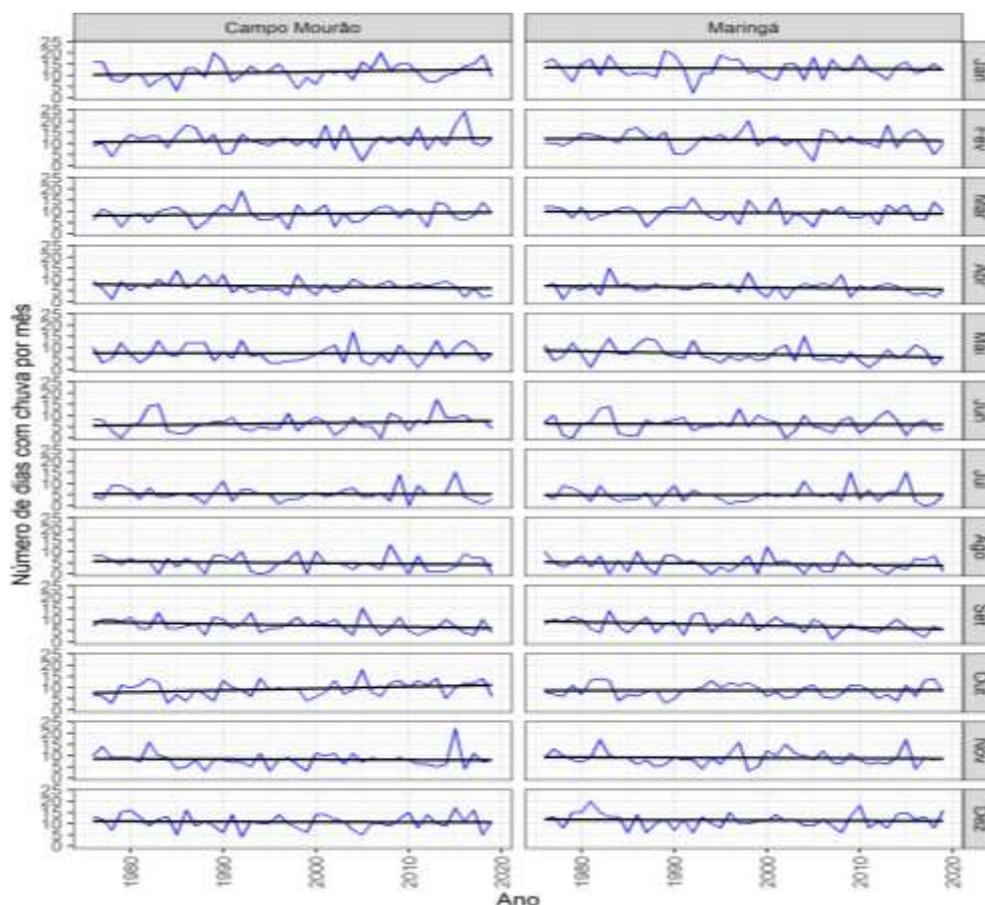
P	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,038	0,101	-0,012	0,013	0,031	0,050	-0,021	-0,065	-0,104	0,081	-0,032	-0,093
2	0,169	0,133	0,053	-0,104	-0,019	0,010	0,051	0,037	-0,112	0,097	0,017	-0,030

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$). P - Posto pluviométrico; 1 - Campo Mourão; 2 - Maringá.

Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto ao número de dias de chuva, por mês, visualmente não se observou nenhum valor significativo de tendências para ambos municípios (Figura 10).

Figura 10 – Tendência mensal do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá



Fonte: Autoria própria (2021).

Entretanto, de acordo com os resultados apresentados (Tabela 12), a série do número de dias com chuva referente ao mês de setembro, em Maringá, foi a única que apresentou tendência significativa (valor p 0,026), sendo ela negativa (tau de -0,243), ao nível de significância de 5%.

Tabela 12 – Tendência mensal do número de dias com chuva em Campo Mourão e Maringá

P	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,119	0,035	0,098	-0,108	-0,024	0,152	-0,067	-0,124	-0,205	0,205	-0,125	-0,042
2	-0,042	-0,051	-0,085	-0,122	-0,193	-0,009	-0,043	-0,097	-0,243	0,014	-0,071	-0,046

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$). **P** - Posto pluviométrico; **1** - Campo Mourão; **2** - Maringá.

Fonte: Autoria própria (2021).

A pluviosidade é o elemento climático que mais varia no tempo e no espaço, e é de conhecimento comum, para os que trabalham com dados de chuvas, ser uma tarefa árdua estabelecer a existência de tendência, seja por problemas na qualidade dos dados, o tamanho da série histórica analisada ou a metodologia aplicada. Diante dessas limitações é que muitos trabalhos apresentam resultados divergentes quanto às tendências detectadas para um mesmo local ou região.

Mesmo diante de tantas incertezas e limitações é imprescindível testar as diversas metodologias com os dados temporais disponíveis. É relevante destacar que diante de um cenário de mudanças climáticas é necessário analisar, entender e certificar se estão ocorrendo alterações nos dados climáticos numa escala local.

Estudos desta natureza fornecem informações importantes para a população, propiciando que a mesma tenha condições de planejar e se adaptar aos novos cenários. São cada vez mais recorrentes nos noticiários os problemas causados por eventos extremos, principalmente nas áreas urbanas, como queda de árvores, alagamentos, inundações, enxurradas, problemas estes que muitas vezes ainda estão associados a planejamentos deficitários, que possibilitam ausências de áreas para a infiltração das águas das chuvas devido a impermeabilização dos solos urbanos.

CONCLUSÕES

Quanto à precipitação total anual e o número de dias com chuva nenhum dos municípios apresentou tendência significativa, já a precipitação máxima anual, indicou que apenas Campo Mourão foi registrada uma tendência negativa significativa ao nível de 5% de significância.

Nos totais mensais de precipitação não foram observadas evidências suficientes de tendência significativa para as duas localidades. Na série mensal do número de dias com chuva, foi observada uma tendência negativa significativa para Maringá enquanto para Campo Mourão, não foi detectada significância. Na tendência da precipitação máxima mensal, o coeficiente tau foi negativo para Campo Mourão e positivo para Maringá, entretanto ambos não se mostraram significativos.

Na análise da precipitação máxima para cada mês não houve evidência suficiente de tendência significativa, tanto para a precipitação máxima quanto para a precipitação total, e apenas na quantidade de dias com chuva, para Maringá, o mês de setembro, apresentou tendência significativa.

REFERÊNCIAS

BACK, Álvaro J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BACK, Álvaro J.; DELLA BRUNA, Emilio; VIEIRA, Hamilton J. Tendências climáticas e produção de uva na região dos Vales da Uva Goethe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 497-504, 2012.

CARMELLO, Vinicius; SANTANNA NETO, João L. Variabilidade das chuvas na vertente paranaense da bacia do rio Paranapanema - 1999-2000 a 2009-2010. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 33, p. 225-247, 2015.

CARVALHO, Leila M. V.; JONES, Charles; LIEBMANN, Brant. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal Climate**, Basel, v. 17, p. 88-108, 2004.

HIERA, Mitchel D.; LIMA JÚNIOR, Antônio F.; ZANELLA, Maria Elisa. Tendência da precipitação no Estado do Ceará no período 1974 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, v. 24, p. 300-321, 2019.

HIRSCH, Robert M.; SLACK, James R; SMITH, Richard A. Techniques for trend assessment for monthly water quality data. **Water Resources Research**, Washington, US, v. 18, n. 1, p. 107-121, 1982.

IBGE. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 nov. 2020.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA - IAT. **Sistema de informações hidrológicas**. Curitiba, PR: IAT, 2020. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 10 nov. de 2020.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. **Caderno estatístico**: Município de Campo Mourão. Curitiba: IPARDES-Fundação Edison Vieira, 2019a.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. **Caderno estatístico**: Município de Maringá. Curitiba: IPARDES-Fundação Edison Vieira, 2019b.

KENDALL, Maurice G. **Rank correlation methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

KOUSKY, Vernon E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American Sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 3, p. 217-231, 1988.

MACHIWAL, Deepesh; JHA, Madam K. **Hydrologic time series analysis: theory and practice**. Dordrecht: Springer; New Delhi: Capital Publishing Company, 2012.

MANN, Henry B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, Chicago, ILL, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, José A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: MUDANÇAS climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2009. p. 4-19.

MARENGO, José A.; JONES, Richard; ALVES, Lincoln M.; VALVERDE, María C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, Chichester, GB, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009.

MIOTO, Silvia. **Intensidade pluviométrica no alto curso do rio Pirapó-PR: uma comparação entre duas propostas metodológicas**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2017.

MONTANHER, Otávio C.; MINAKI, Cíntia. Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. 39, p. 138-153, 2020.

MOTA, Galdino V. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America**. 2003. 215 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de Utah, Salt Lake City, US, 2003.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION; NATIONAL WEATHER SERVICE; CLIMATE PREDICTION CENTER. **Cold & warm episodes by season**. Riverdale Park: University Research Court, 2020. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 15 dez. de 2020.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 422 p.

NITSCHKE, Pablo R.; CARAMORI, Paulo H.; RICCE, Wilian da S.; PINTO, Larissa F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, 2019. 210 p.

PEDRON, Isabel T.; MARIANI, Kelly L.; FARIAS, Jean Luca R.; ROSSETTO, Alda. Comportamento do clima de Palotina/PR de 1973 a 2010. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, p. 411-419, 2013.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendências das séries temporais de precipitação da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, p.281-290, 2013.

PINHEIRO, Gabriela M.; MARTIN-VIDE, Javier. Tendência pluviométrica no município de Irati – PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, v. 23, p. 60-71, 2018.

QUADRO, Mário F. Leal de. **Estudo de episódios de Zona de convergência do Atlântico Sul – ZCAS sobre a América do Sul**. 1994. 94f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1994.

REBOITA, Michelle S.; GAN, Manoel A.; ROCHA, Rosmeri P.; AMBRIZZI, Tercio. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, Michelle S.; KRUSCHE, Nisia; AMBRIZZI, Tercio; ROCHA, Rosmeri P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

SANTOS, Eliane B.; LUCIO, Paulo S.; SILVA, Cláudio M. Santos. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 8, n. 4, p. 1041-1052, 2015.

SZAPAK, Lucas E. F. **Análise comparativa da pluviosidade nos Municípios de Maringá e Campo Mourão – PR**. 2020. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2020.

ZANDONADI, Leandro. Chuvas extremas e o intenso EL Niño de 2015/2016: impactos na rede de coleta e abastecimento de água da cidade de Maringá, Paraná. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 11, n. 1, p. 38-69, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/BGJ-v11n1-a2020-52345>.

ZANDONADI, Leandro; ACQUAOTTA, Fiorella; FRATIANNI, Simona; ZAVATTINI, João Afonso. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River basin). **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, AT, v. 123, p. 741–756, 2015. DOI: 10.1007/s00704-015-1391-4.

Recebido em: 21 de dezembro de 2022
Aceito em: 03 de abril de 2023