

Thornton et al. (2014) alertam para a necessidade de se focar a variabilidade climática e não apenas as mudanças climáticas, tamanha a sua importância em sistemas biológicos, alimentares, saúde e nutrição. Portanto, Thompson et al. (2015) desenvolveram um modelo analítico simples com o objetivo de estimar as incertezas nas projeções de tendências climáticas, considerando a variabilidade das áreas. Independente das insuficiências geradas pelo uso de modelos, variabilidade e tendências, embora tenham perspectivas diferentes, são potencialmente viáveis em análises conjuntas.

O estudo de tendência consiste em determinar, de forma estatística, se a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória mudou ao longo do tempo, ou seja, se seus valores aumentaram ou diminuíram, de acordo com a variável e a série considerada (HELSEL; HIRSCH, 2002, p. 324). Resumidamente, trata-se da mudança sistemática de longo prazo, do valor médio ao longo do tempo (MUDELSEE, 2019, p. 311). Enquanto a variabilidade remete às oscilações naturais e antropogênicas do clima, o estudo de tendência pode apontar se a dinâmica de uma oscilação irá se repetir. Embora a técnica e o refinamento estatístico permeiam os limites entre os conceitos de variabilidade e tendência climática, ambos impactam a curto prazo, o dia a dia das sociedades.

Nesse sentido, a presente pesquisa buscou verificar a tendência de elementos climáticos em Maringá-PR, tais como a temperatura do ar e as modalidades de temperatura máxima e mínima, a precipitação e a umidade relativa do ar, respondendo para cada elemento, se está ou não ocorrendo tendência. A metodologia utilizada de forma predominante para a estimativa de tendências anual e sazonal consistiu na aplicação da regressão linear simples.

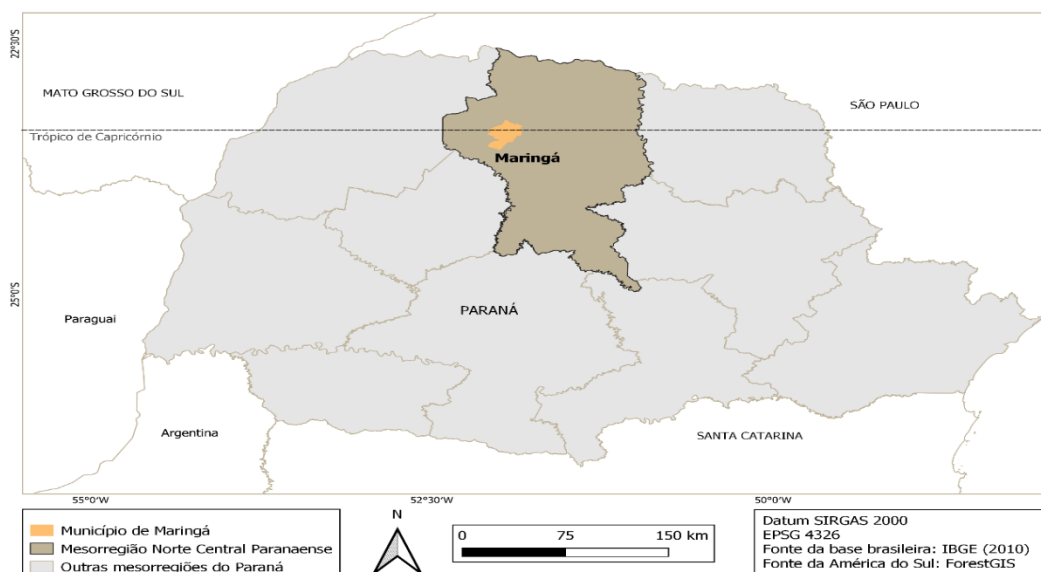
METODOLOGIA

Área de estudo

Maringá compõe a Mesorregião Norte Central Paranaense (IBGE, 1990, p. 105-106), com população aproximada de 409.657 habitantes (IBGE, 2022), sendo um município paranaense de porte populacional médio, clima subtropical, que se destaca pela pluviosidade média elevada e temperaturas também elevadas ao longo do ano (MINAKI, 2021). A escolha da área de estudo considerou o aspecto da localização em latitude de transição entre as zonas térmicas Intertropical e Temperada do Sul, conferindo uma dinâmica climática local diferenciada (Figura 1). Os objetivos foram: 1) Identificar se a variabilidade climática de Maringá contém tendências; 2) Caracterizar a dinâmica de alguns de seus elementos climáticos; 3) Reforçar a importância da variabilidade de curto prazo em complemento aos estudos de tendência.

Diante do questionamento sobre a existência de tendências, algumas considerações foram importantes, com base na observação dos dados do município: a temperatura média do ar elevou-se na estação de inverno; houve a diminuição da precipitação desde 2019, após um período de chuvas anuais significativas de 2013 a 2018; e houve a redução média da umidade relativa do ar nos períodos considerados.

Figura 1 - Município de Maringá-PR.



Elaboração - A autora, 2023.

Coleta e processamento dos dados

É possível mensurar o quanto a precipitação e a temperatura do ar são frequentemente consideradas nos estudos das ciências, as duas últimas alavancadas por uma rede de coleta e de registro relativamente grande.

Logo, nesta pesquisa, a temperatura do ar, a precipitação e a umidade relativa do ar receberam destaque não só pela existência de uma série histórica de dados sem falhas para a área de enfoque, mas também pela necessidade de compreender se existe ou não tendência climática mediante as variações observadas anual e sazonalmente.

A temperatura do ar é uma modalidade de temperatura que pode ser avaliada com base nos seus dois extremos - máxima e mínima (WMO, 2018, p. 16). Sua caracterização em diferentes escalas espaciais e temporais demonstra o quanto este elemento tem sido influenciado por áreas construídas, pelo desmatamento de áreas urbanas e rurais e pela impermeabilização das superfícies. No entanto, essas percepções não equivalem à certeza de que existe tendência em uma série de dados, tal como concluído por Montanher e Minaki (2020, p. 144), a respeito do aumento da precipitação em Maringá, sem constituir uma alteração no padrão local.

Sobre a precipitação, sua forma líquida é a principal entrada de água no sistema climático dos municípios brasileiros, e neste caso, o aspecto mais relevante é o regime pluviométrico. A distribuição da chuva ao longo do ano, sua variabilidade e existência ou não de tendência pode importar tanto quanto sua intensidade, a depender da natureza do estudo. Blain (2010) detectou tendência de elevação em séries mensais para municípios paulistas, e Alves, Prado e Specian (2011) verificaram aumento da intensidade diária da precipitação em Barra do Garças-MT. Mesmo que os estudos de aquecimento global tragam mais conclusões sobre a elevação da temperatura, e para se detectar as tendências regionais sejam necessárias séries mais consistentes e que algumas regiões não as possuem, a precipitação poderia ser consideravelmente afetada, como concluíram Obregón e Marengo (2011) acerca da Amazônia.

E se a umidade relativa do ar é determinada pela precipitação, embora sua dinâmica esteja associada a outros fatores, como a evaporação local e o transporte por advecção de umidade (BARRY; CHORLEY, 2013, p. 80), a alteração em um elemento influenciará outro. Embora a umidade seja menos recorrente nos estudos nacionais em comparação à temperatura e à precipitação, destaca-se a importância de compreender sua colaboração como mecanismo de variabilidade climática e de tendências.

A incidência de dinâmicas extremas destes elementos pode causar riscos à população e à perspectiva das atividades econômicas, tal como a agricultura. A temperatura, a partir de ondas de calor e ondas de frio; a precipitação a partir de eventos extremos de pluviosidade elevada e de estiagem/seca; e a umidade, por meio de períodos pouco úmidos, propícios à incêndios ou de períodos muito úmidos sujeitos à intensificação de fungos e de perda da boa sanidade das plantas.

Sobre essas situações extremas e sobre a própria marcha diária, mensal, sazonal ou anual dos elementos, que os estudos de tendência buscam responder questionamentos acerca de sua variabilidade em uma série temporal. Com relação à precisão das mensurações dos elementos climáticos avaliados nesta pesquisa, conforme especificado em WMO (2021b) elas possuem as seguintes resoluções: 0,1 °C para a temperatura do ar, 0,1 mm para precipitação e 1% para a umidade relativa do ar.

Análises estatísticas

Para a execução dos objetivos propostos utilizaram-se séries temporais da Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM, código perante a Organização Meteorológica Mundial - OMM: 83767) dos elementos temperatura do ar, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação. Os instrumentos dos quais se obteve os registros foram, respectivamente, termômetro comum, termômetro de máxima, termômetro de mínima, termômetro de bulbo úmido (por meio de psicrômetro) e pluviômetro Ville de Paris. A ECPM, localizada nas coordenadas de 23°24' S e 51°55' O, em altitude de 542 m, pertence à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para todos os elementos climáticos, realizou-se testes de tendência anual e sazonal, utilizando-se no primeiro caso, o período de 1980 a 2020 e no segundo caso, o período de outubro de 1979 a setembro de 2021. A diferença dos períodos refere-se à possibilidade na análise de tendência sazonal de se utilizar meses quando não se tem um ano completo. Além disso, as estações podem passar por

mudanças em razão da variação na variável “y” (HELSEL; HIRSCH, 2002, p. 337). Logo, além da série de anos completos de 1980 a 2020, considerou-se o ano de 1979, desde o primeiro mês de funcionamento da ECPM no local em que se encontra atualmente (setembro), além de três estações de 2021 (verão, outono e inverno). Para esta análise sazonal, assumiu-se janeiro-fevereiro-março como meses do verão; abril-maio-junho como meses do outono; julho-agosto-setembro como meses do inverno e outubro-novembro-dezembro como meses da primavera. Esta divisão permitiu que o ano de 1979 fosse incluído na análise sazonal, a partir dos meses da primavera.

Conforme menção anterior, as séries dos elementos não possuem falhas, logo, não se aplicou nenhuma metodologia de preenchimento de dados. Organizaram-se os dados nas escalas anual e sazonal, calculando-se a média dos elementos por estação, e no caso da precipitação, somando-se os valores médios de cada conjunto de três meses, equivalente a uma estação. Com os dados organizados nas escalas anual e sazonal, avaliou-se a possibilidade de usar a regressão linear simples para verificar a tendência linear ao longo da série temporal, uma vez que tais modelos de regressão “[...] exploram a relação existente entre um grupo de variáveis para prever o comportamento de outra” (GARBER, 1995, p. 94). A regressão foi utilizada em trabalhos como os de Back (2001), Ferrari, Vecchia e Colabone (2012) e Sanches, Verdum e Fisch (2013).

Nesse sentido, consideraram-se os valores médios anuais e sazonais como a variável “y”, enquanto o período de outubro de 1979 a setembro de 2021 foi considerado a variável “x”. Dos resultados da regressão utilizou-se o valor p em comparação ao nível de significância adotado que foi de 5%. Logo, se valor $p \leq \alpha$, aceitou-se a hipótese de que há tendência na série (h_1); por outro lado, se valor $p > \alpha$, não foi rejeitada a hipótese nula (h_0), de que não há tendência na série. No caso de existência de tendência, a análise também considerou a verificação se ela é crescente ou decrescente, por meio da interpretação do valor do coeficiente angular.

Para a tendência sazonal, gerou-se uma regressão linear para cada estação e para cada elemento climático, não havendo dessa forma, a necessidade de compensar ou remover a sazonalidade dos dados para melhor discernir a tendência da variável “y” (HELSEL; HIRSCH, 2002, p. 337). Uma das formas de remover a sazonalidade seria normalizar os dados, mas isso não foi preciso já que se realizou uma regressão para cada estação. Utilizou-se as mesmas hipóteses apresentadas para a tendência anual, e as vantagens pelas quais se justifica a aplicação dos dois tipos de tendências são: - os resultados sazonais podem ser diferentes dos anuais, sendo possível estender um pouco mais a série temporal; - o teste separado em estações permite detectar se haveria tendência em uma delas, apesar da resposta negativa para a série anual, por exemplo.

Por ser um teste paramétrico, o uso da regressão necessita atender algumas exigências, a saber: a relação linear entre x e y ; os erros não variarem com x ; os resíduos serem independentes; e para cada valor de x , os erros possuem uma distribuição normal sobre a reta de regressão (ROGERSON, 2012, p. 201). Logo, o suporte para a escolha da regressão linear se deu em função dos testes de normalidade aplicados aos resíduos. Para um total de pouco mais de 40 anos, estes testes consistiram no de Shapiro Wilk e no de Lilliefors, que é uma adaptação do teste de Kolmogorov-Smirnov. A maioria dos resultados alcançou valores acima do valor p , para ambos os testes, podendo-se assumir que os resíduos possuem distribuição normal, o que possibilitou o uso da regressão linear simples para a análise de tendências. Como dois resultados do Teste de Shapiro-Wilk e de Lilliefors não apontaram distribuição normal, para estes casos – temperatura média do ar e precipitação, ambas no outono – procedeu-se com o teste não paramétrico Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), que não possui esta exigência e que também foi aplicado, a exemplo de Blain (2010).

Por ser um teste não paramétrico, não é feita nenhuma pressuposição a respeito da distribuição dos dados, tal como acontece com a regressão linear simples, logo, o Teste de Mann-Kendall pode ser aplicado em qualquer série climatológica, desde que não haja falhas (SILVESTRE, 2016, p. 138). Mann (1945) sugeriu o uso do teste de significância do tau de Kendall, análogo à regressão que utiliza o teste de significância do coeficiente de correlação r , sendo utilizado para determinar se os valores de y tendem a aumentar ou diminuir com a variável x (HELSEL; HIRSCH, 2002, p. 326). Assim como na regressão linear, havendo valor p menor que 5%, rejeitou-se H_0 e considerou-se que havia tendência significativa.

Um último procedimento estatístico foi aplicado para verificação adicional das tendências observadas na temperatura do ar (conforme será apresentado na seção de resultados, essa foi a única variável que apresentou consistentemente tendências significativas de aumento). Além do teste de hipótese convencional, elaborou-se uma simulação de Monte Carlo (SCIENCE DIRECT, 2024) em que os dados originais de temperatura do ar foram alterados, conforme uma distribuição normal com média equivalente à própria medida e desvio-padrão de 0,05 °C (WMO, 2021b). Após a geração de valores simulados, eles foram utilizados no cálculo das médias anuais e a regressão linear foi aplicada sobre cada série gerada. Foram computadas 10.000 simulações, e para cada interação se registrou o valor- p e o coeficiente angular resultante da regressão. Esses procedimentos foram elaborados com uso de linguagem Python (VAN ROSSUM; DRAKE, 2009).

A simulação de Monte Carlo é uma opção nesta situação, pois se entende que o valor verdadeiro da temperatura do ar não é conhecido, mas conhece-se sua distribuição de probabilidades. Segundo (WMO, 2021b), a resolução de 0,1 °C dos termômetros utilizados nas estações convencionais é equivalente a 95% de uma distribuição normal, igual a 2σ , sendo o desvio-padrão de 0,05 °C. Dessa forma, é possível observar por meio de muitas simulações, se os resultados são consistentes com aqueles feitos com a série de dados registrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores anuais dos elementos climáticos

A regressão linear testada apontou tendência de aumento para a temperatura média e as temperaturas médias extremas, enquanto a umidade registrou uma leve tendência de redução, mas não significativa, e a precipitação registrou leve tendência de aumento, também não significativa. Logo, não é possível afirmar que há tendência linear constante na umidade relativa do ar e na precipitação registradas pela ECPM, na série considerada (Tabela 1).

Tabela 1 - Tendências anuais dos elementos climáticos.

Elemento analisado	Tendência	Valor p ($\alpha = 95\%$)
Temperatura máxima (°C)	Positiva (0,0453)	Significativo ($5,63e^{-09}$)
Temperatura mínima (°C)	Positiva (0,0325)	Significativo ($1,68 e^{-06}$)
Temperatura média (°C)	Positiva (0,0358)	Significativo ($1,94 e^{-08}$)
Umidade relativa do ar (%)	Negativa (-0,0437)	Não significativo (0,2208)
Precipitação (mm)	Positiva (2,993)	Não significativo (0,460)

Elaboração - A autora, 2023.

Tanto a temperatura média do ar quanto a temperatura média mínima tiveram tendência positiva de pouco mais de 0,03 °C/ano, com valor p significativo. A temperatura média máxima registrou tendência um pouco maior, equivalente a 0,0453 °C/ano e valor p ainda mais significativo. Ressalta-se que esses valores se referem à taxa média anual de aumento da temperatura do ar. Assim, levando-se em conta todo o período, houve uma variação de 1,81 °C, 1,3 °C e 1,43 °C para as temperaturas máxima, mínima e média, respectivamente. Esses valores superam em mais de uma ordem de magnitude a resolução das medições (0,1 °C), o que corrobora com a hipótese de que tais tendências provenham da própria dinâmica temporal das variáveis, e não da limitação inerente à precisão dos equipamentos.

Os resultados da simulação de Monte Carlo estão resumidos na Tabela 2. A coluna "Maior valor p" apresenta o maior valor encontrado, segundo os resultados das 10.000 simulações geradas para cada variável. Assim, em nenhum caso o valor p foi maior do que o nível de significância adotado (0,05), os quais ainda se mostraram muito pequenos. Como mesmo em muitas simulações aleatórias, não se observou nenhum resultado contrário aos apresentados na Tabela 1, pode-se afirmar que as tendências não são resultantes das margens de erro inerentes às medições.

Tabela 2 - Resultados das simulações de Monte Carlo.

Elemento analisado	Menor tendência (°C)		Maior tendência (°C)		Maior valor p
	Anual	Série total	Anual	Série total	
Temperatura máxima (°C)	0,0443	1,7702	0,0459	1,8371	$8,049e^{-9}$
Temperatura mínima (°C)	0,0320	1,2800	0,0336	1,3423	$2,33e^{-6}$
Temperatura média (°C)	0,0350	1,4016	0,0364	1,4575	$3,605e^{-8}$

Elaboração - A autora, 2023.

Outra informação constante na Tabela 2 refere-se aos coeficientes angulares das retas ajustadas, apresentados para as três variáveis, por ano e para a série total (1980-2020). Considerando as 10.000

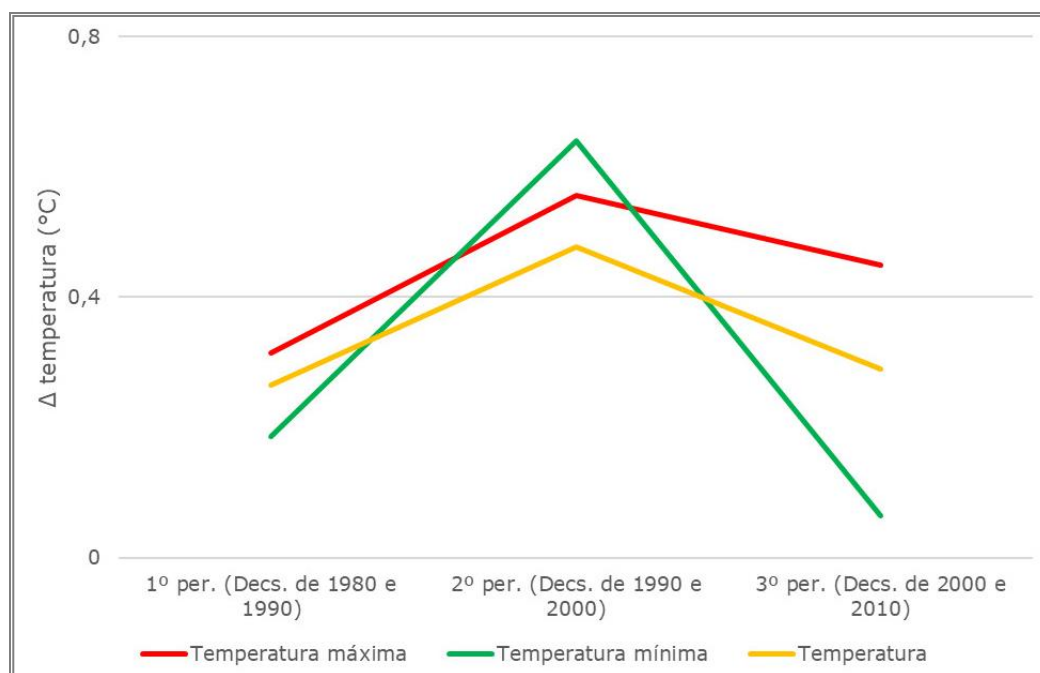
simulações, a menor tendência de aumento da temperatura máxima foi de 1,77 °C e a máxima de 1,83 °C. Levando em conta que a variação obtida com os dados registrados foi de 1,81 °C, nota-se que mesmo em situações pouco prováveis, os resultados seriam pouco diferentes daqueles apresentados na Tabela 1. Resultados similares foram observados para as temperaturas mínima e máxima.

Na série 1980-2020, a temperatura máxima do ar variou de 26,7 °C (1983, ano de El Niño) a 29,6 °C (2019), alcançando o valor médio de 28,1 °C. Ao comparar as temperaturas máximas médias dos decênios, 1980-89 a 1990-99, que aqui se denominarão 1º período; 1990-99 a 2000-09, que se denominarão 2º período; e 2000-09 a 2010-20, que se denominarão 3º período, tem-se que o 2º período registrou o maior aumento de 0,55 °C, seguido do 3º período (Figura 2).

A temperatura do ar variou de 21,2 °C (1989, ano de La Niña) a 23,8 °C (2019), alcançando a média de 22,3 °C (1980 a 2020). Destaca-se que o último ano a registrar o valor de 21 °C foi 1996, sendo que os registros mais recentes predominaram entre 22 °C e 23 °C. O maior aumento da temperatura ocorreu no 2º período e atingiu 0,47 °C (Figura 2).

A temperatura mínima do ar variou de 16,8 °C (1989, ano de La Niña) a 19,2 °C (2019), alcançando a média na série de 17,8 °C. Assim como as demais modalidades, o 2º período foi o que atingiu o maior aumento, e para o conjunto de dados predominou valores dentro dos 17 °C (Figura 2).

Figura 2 - Síntese da comparação entre as temperaturas médias por período.



Fonte dos dados - ECPM/INMET.

Observa-se o aumento no 2º período para a temperatura mínima, corroborando com Minuzzi, Caramori e Borrozino (2011), que identificaram uma tendência de aumento da temperatura do ar no Paraná, de forma discreta para a temperatura máxima e mais perceptível para a temperatura mínima, independente da homogeneidade ou não das séries temporais utilizadas. Os autores ainda apresentaram a premissa de que a temperatura mínima esteja sendo influenciada por variabilidades climáticas de escalas perceptíveis a um período inferior a 45 anos (MINUZZI; CARAMORI; BORROZINO, 2011, p. 473). Para Londrina-PR, Ricce et al. (2009) também identificaram tendência de aumento da temperatura fortemente associado ao aumento das mínimas.

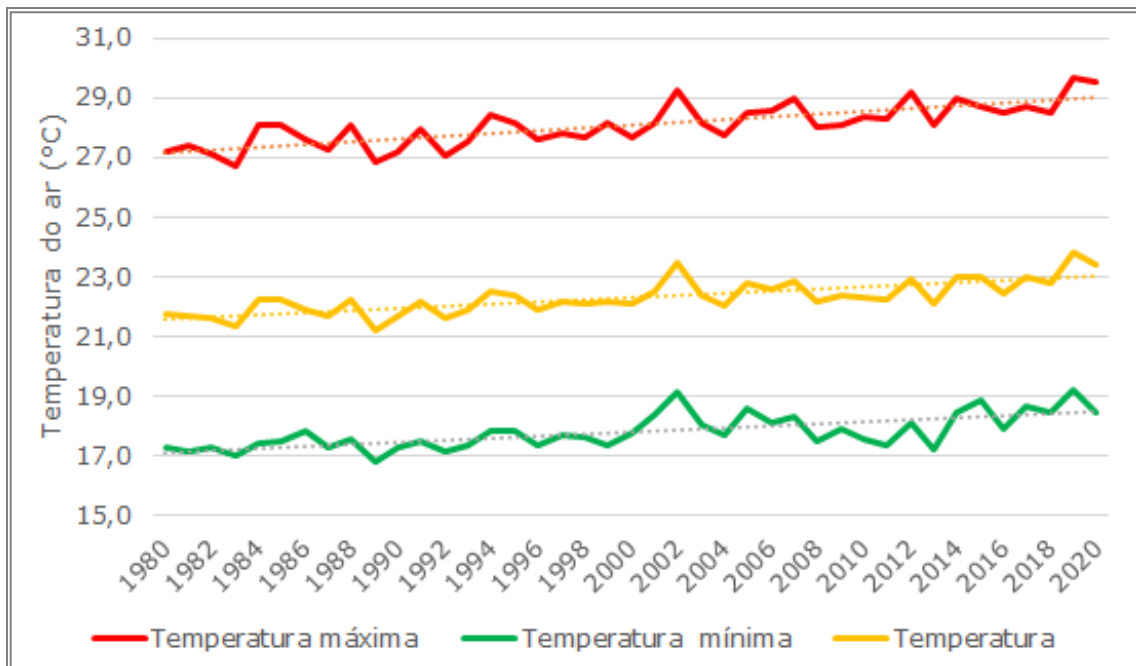
Portanto, todas as modalidades de temperatura tiveram aumento na análise de variabilidade, sobretudo no 2º período (Figura 2), coincidindo com o resultado de tendência linear positiva (Figura 3).

Deve-se ressaltar os valores extremos dentro de cada série, em alguns momentos observados sob a ocorrência de uma das fases do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), e o ano de 2019 destacando-se com temperaturas mais elevadas. Os efeitos do ENOS no município serão apresentados no próximo tópico.

Quanto à umidade relativa do ar, é possível observar decréscimos no 2º e no 3º período, indicando que os anos mais recentes foram mais secos (Figura 4). Este elemento climático atingiu média de 69%, variando de 61,3% (2020) a 74,2% (1986, ano de El Niño).

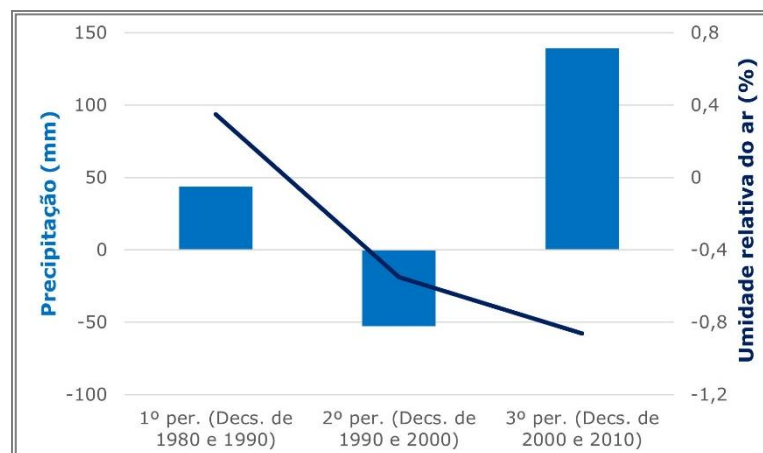
A precipitação decresceu no 2º período e aumentou principalmente no 3º período (Figura 4). Na série 1980-2020, a precipitação alcançou média de 1689,6 mm, variando de 1280,6 mm (1988, ano de El Niño e La Niña) a 2724 mm (2015, ano de El Niño).

Figura 3 - Valores médios de temperatura na série 1980-2020 e respectivas linhas de tendência.



Fonte dos dados - ECPM/INMET.

Figura 4 - Síntese da comparação dos elementos umidade relativa do ar e precipitação, por período.

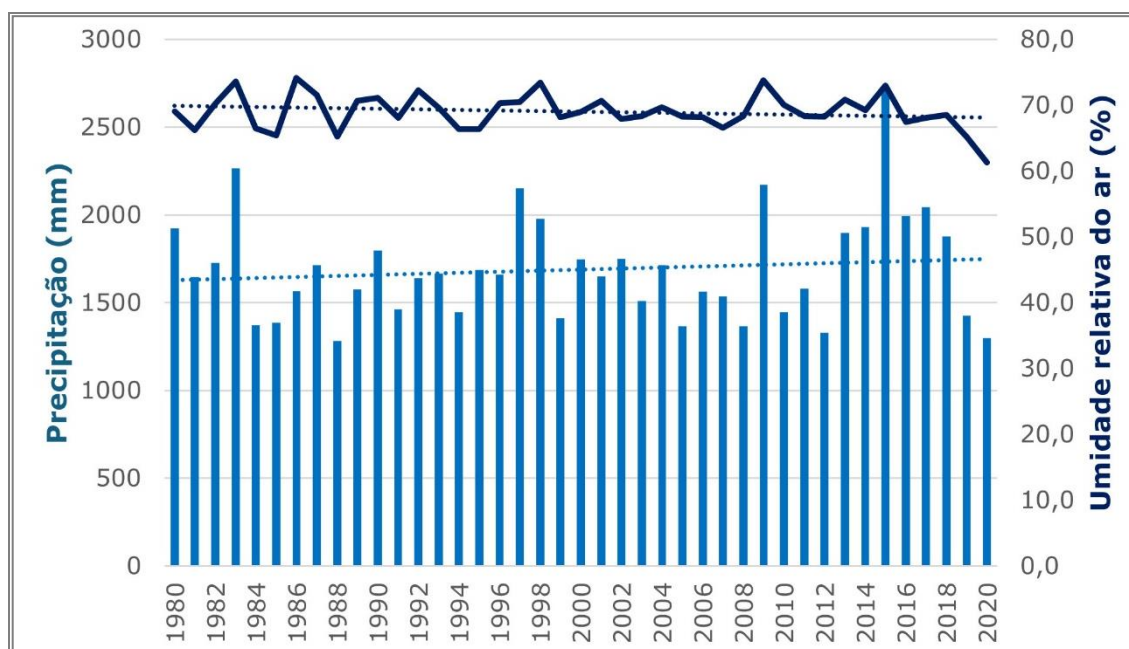


Fonte dos dados - ECPM/INMET.

Mesmo com os resultados apresentados, a umidade relativa obteve tendência negativa (-0,0437%) e a precipitação obteve tendência positiva (2,993%), mas ambas com valor p acima do nível de significância adotado (Figura 5). Rejeitar a hipótese de que existe tendência não constitui uma prova de que não há tendência, pois se trata de uma afirmação de que as evidências disponíveis são insuficientes para a conclusão esperada (HELSEL; HIRSCH, 2002, p. 324).

O fato de os valores de umidade continuarem decaindo no 3º período, momento em que a precipitação aumenta, revela que o primeiro elemento embora se associe com o segundo, também se reveste de outras características do ambiente, tais como a vegetação e a permeabilidade da área. Ao longo dos anos e sucessivamente, o município passou por transformações tais como a redução da vegetação e o aumento dos espaços construídos e impermeabilizados, possivelmente refletindo na redução da média da umidade relativa. Outros aspectos importantes são os crescentes episódios diários de valores extremos de chuva no outono e na primavera, revelando volumes elevados de água na atmosfera, em alguns períodos do ano. Além disso, estudo anterior da área demonstrou que anos recentes (2013 a 2018) foram mais chuvosos que os demais anos da série da ECPM (1980 a 2012), e que em 2015 houve o registro de precipitação anual muito superior a um desvio padrão acima da média para Maringá (MONTANHER; MINAKI, 2020), contribuindo para o incremento pluvial no 3º período. No referido ano, a umidade relativa do ar aumentou 3,1% em relação a 2014, mas reduziu 5% em relação a 2016, demonstrando que a variabilidade interanual da precipitação se sobressai e chama a atenção.

Figura 5 - Valores médios de precipitação e umidade relativa do ar na série 1980-2020 e respectivas linhas de tendência.



Fonte dos dados - ECPM/INMET.

Para o Estado do Paraná, Minuzzi e Caramori (2011) concluíram que possivelmente, há uma tendência de aumento na quantidade de chuvas, desde meados do século XX até 2006, a partir de dados diários de precipitação de 21 estações hidrológicas da Agência Nacional das Águas (ANA). Ely e Dubreuil (2017) afirmaram a existência de tendências significativas de aumento na precipitação anual de várias mesorregiões paranaenses, incluindo a Norte Central, onde se localiza Maringá, utilizando dados de 1977 a 2014 do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR-EMATER), do INMET e da ANA.

A interação destes elementos como fatores climáticos deve ser considerada, tendo em vista que a constituição do clima é uma característica complexa para áreas também complexas, com dinâmicas naturais e antrópicas em constante modificação. Isso significa que uma variação não tende a ocorrer isoladamente, e os atributos não possuem o mesmo tempo de resposta.

Valores sazonais dos elementos climáticos

Os testes sazonais de tendência confirmaram em parte os testes anuais, incrementando o propósito da discussão (Tabela 3).

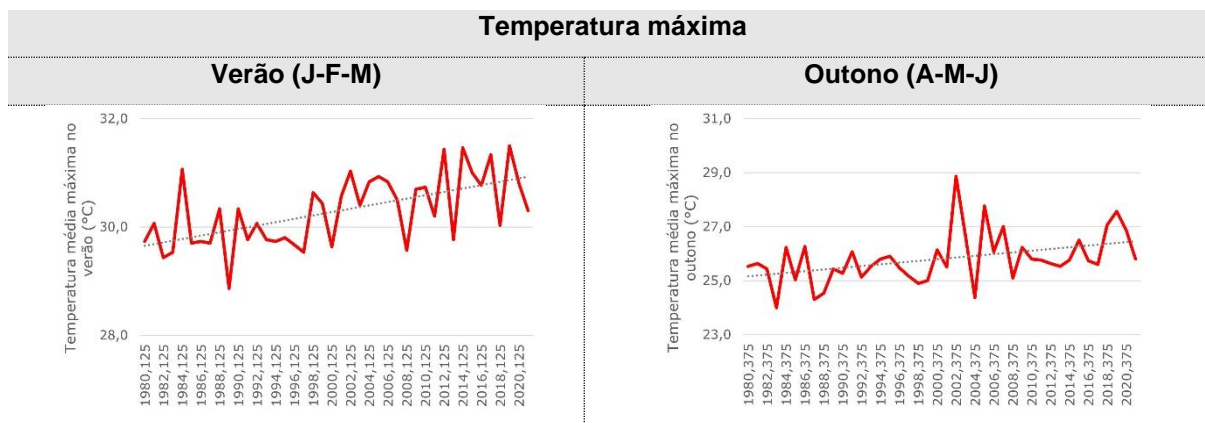
Tabela 3 - Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da temperatura do ar (°C), com nível de significância de 95%.

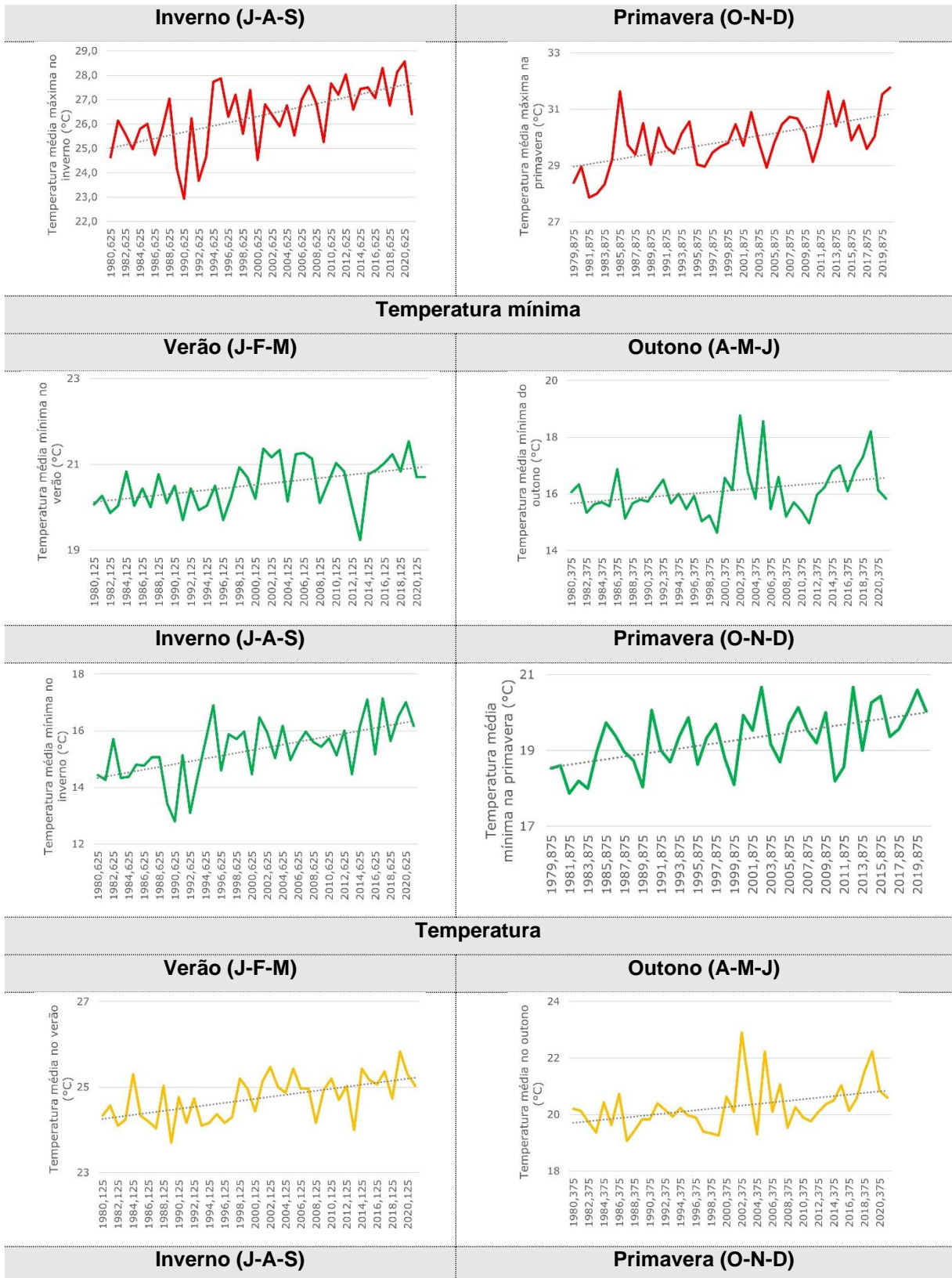
Temperatura máxima		
Período analisado	Tendência	Valor p (α = 95%)
Verão (J-F-M)	Positiva (0,031148)	Significativo (3,42e-05)
Outono (A-M-J)	Positiva (0,03247)	Significativo (0,00563)
Inverno (J-A-S)	Positiva (0,06523)	Significativo (1,91e-05)
Primavera (O-N-D)	Positiva (0,045628)	Significativo (4,45e-05)
Temperatura mínima		
Período analisado	Tendência	Valor p (α = 95%)
Verão (J-F-M)	Positiva (0,020004)	Significativo (0,00267)
Outono (A-M-J)	Positiva (0,02220)	Não significativo (0,05135)
Inverno (J-A-S)	Positiva (0,04917)	Significativo (2,89e-05)
Primavera (O-N-D)	Positiva (0,035335)	Significativo (0,000133)
Temperatura		
Período analisado	Tendência	Valor p (α = 95%)
Verão (J-F-M)	Positiva (0,023558)	Significativo (9,5e-05)
Outono (A-M-J)	Positiva (0,027799)	Significativo (0,00631)
Inverno (J-A-S)	Positiva (0,05542)	Significativo (8,36e-06)
Primavera (O-N-D)	Positiva (0,036172)	Significativo (3,89e-05)

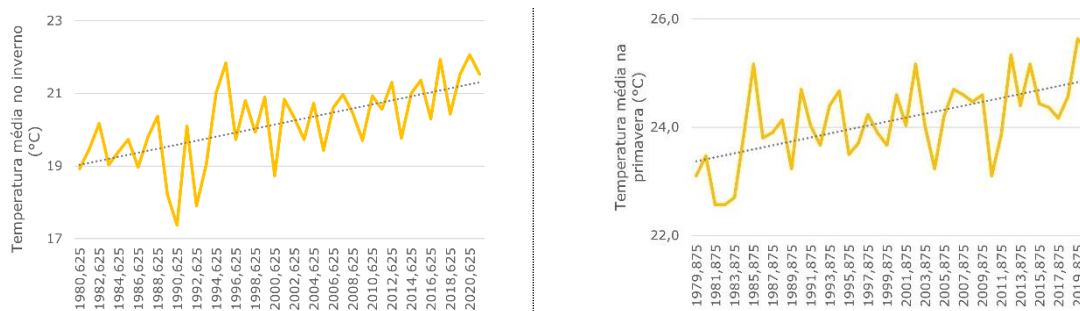
Elaboração - A autora, 2023.

A estação do outono para as modalidades de temperatura e temperatura máxima, embora tenha apresentado tendência positiva e significativa, o valor p ficou muito próximo do nível de significância adotado. Para a temperatura mínima, a estação do outono foi a única a resultar tendência positiva, mas não significativa. Ressalta-se, no entanto, que para a temperatura média, ainda será apresentado o teste de Mann-Kendall. As demais estações tiveram tendência positiva e com valor p significativo. Portanto, na análise sazonal é possível desdobrar mais detalhadamente períodos menores e obter resultados diferentes dos obtidos na tendência anual, como foi o caso da temperatura mínima do ar no outono (Figura 6).

Figura 6 - Trimestrais de temperatura e suas respectivas linhas de tendência.







Elaboração - A autora, 2023.

Portanto, para a temperatura média e os seus extremos, destaca-se a maior tendência linear positiva para o inverno, confirmando o observado pela análise da variabilidade (1° período: 0,45 °C; 2° período: 0,29 °C; 3° período: 0,86 °C). Não houve nenhuma tendência linear negativa, conforme se observou pelo valor do intercepto em cada gráfico.

Mesmo em um inverno mais quente, os sistemas frontais e polares mais rigorosos podem atuar durante o período. Logo, a alternância entre ondas de frio e de calor no inverno pode aumentar a frequência de eventos extremos relacionados à precipitação (chuvas intensas, granizo...) nesta estação e na primavera, tendo em vista a geração de contraste, sobretudo térmico, entre a atmosfera inferior e a superior.

Os testes sazonais da umidade relativa do ar e da precipitação equivaleram aos resultados de tendência anual (Tabela 4), embora tenha se verificado tendência de redução da umidade relativa do ar, a mesma não foi significativa. Para a precipitação, predominou a tendência de aumento, mas em nenhum caso – aumento ou diminuição, o valor p foi significativo.

Tabela 4 - Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da umidade relativa do ar (%) e da precipitação (mm), com nível de significância de 95%.

Umidade relativa do ar		
Período analisado	Tendência	Valor p ($\alpha = 95\%$)
Verão (J-F-M)	Negativa (-0,04459)	Não significativo (0,267)
Outono (A-M-J)	Negativa (-0,05904)	Não significativo (0,2845)
Inverno (J-A-S)	Negativa (-0,13862)	Não significativo (0,0601)
Primavera (O-N-D)	Negativa (-0,00524)	Não significativo (0,924)
Precipitação		
Período analisado	Tendência	Valor p ($\alpha = 95\%$)
Verão (J-F-M)	Positiva (2,565)	Não significativo (0,157)
Outono (A-M-J)	Negativa (-2,923)	Não significativo (0,1187)
Inverno (J-A-S)	Positiva (1,118)	Não significativo (0,504)
Primavera (O-N-D)	Positiva (0,4854)	Não significativo (0,822)

Elaboração - A autora, 2023.

Novamente destaca-se a estação outonal apresentando uma leve redução da precipitação em relação às demais, mas para este caso, também será apresentado o resultado do teste de Mann-Kendall. De acordo com os dados obtidos por estação, o outono foi a época do ano, com menos conclusões acerca de tendências. Esta época também se caracterizou por menos anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na região Niño 3.4 registradas na série de outubro de 1979 a setembro de 2021

(CPC/NOAA, ©2021), portanto, consiste em um período de maior neutralidade climática, o que permite compreender a ausência de tendência.

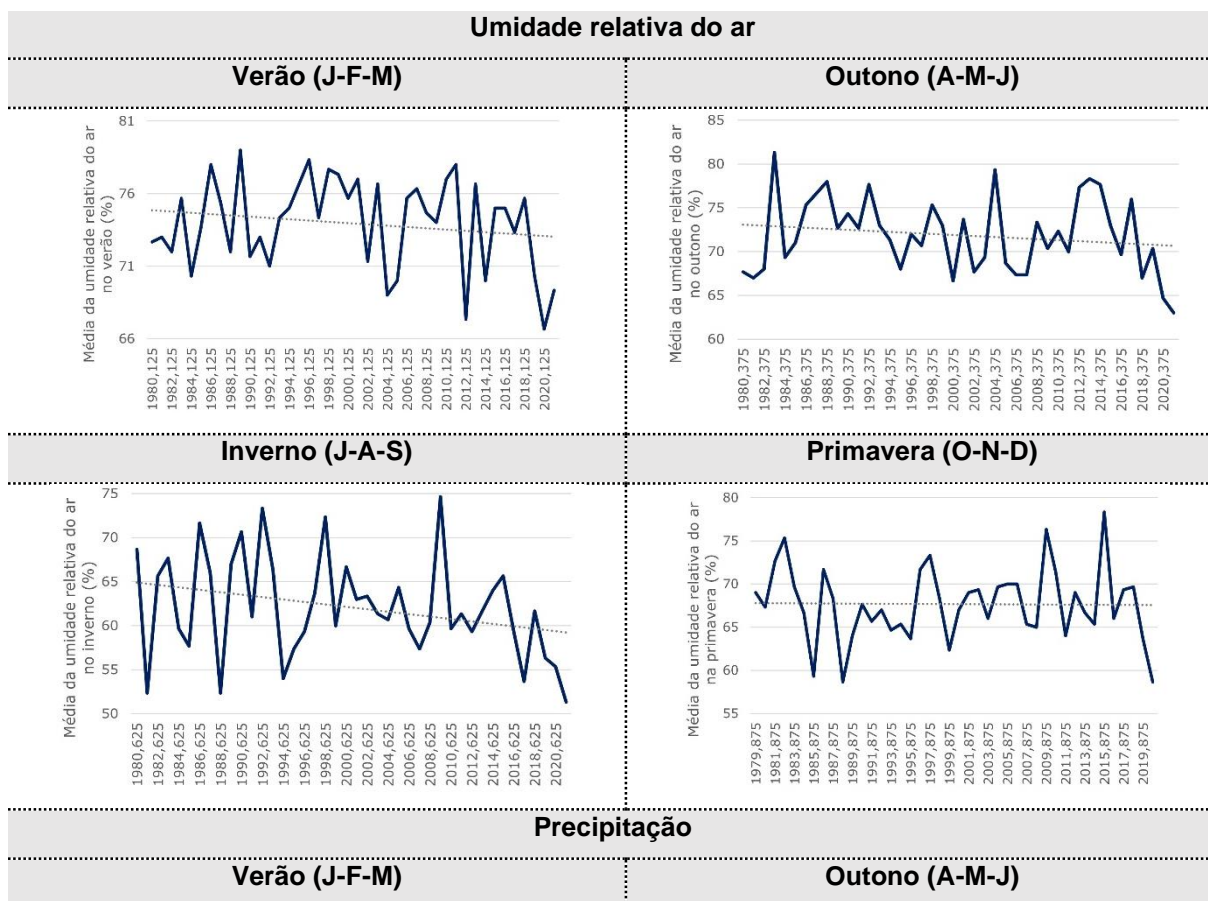
Sobre a influência do ENOS em Maringá, tem-se que as anomalias da pluviosidade podem ser explicadas pelo El Niño, principalmente no outono e na primavera, e que existe uma defasagem temporal entre a ocorrência do fenômeno no oceano Pacífico equatorial e o município, que pode alcançar de um a cinco meses. O inverso, a respeito das anomalias da pluviosidade, não foi concluído para La Niña na mesma intensidade (MINAKI; MONTANHER, 2019).

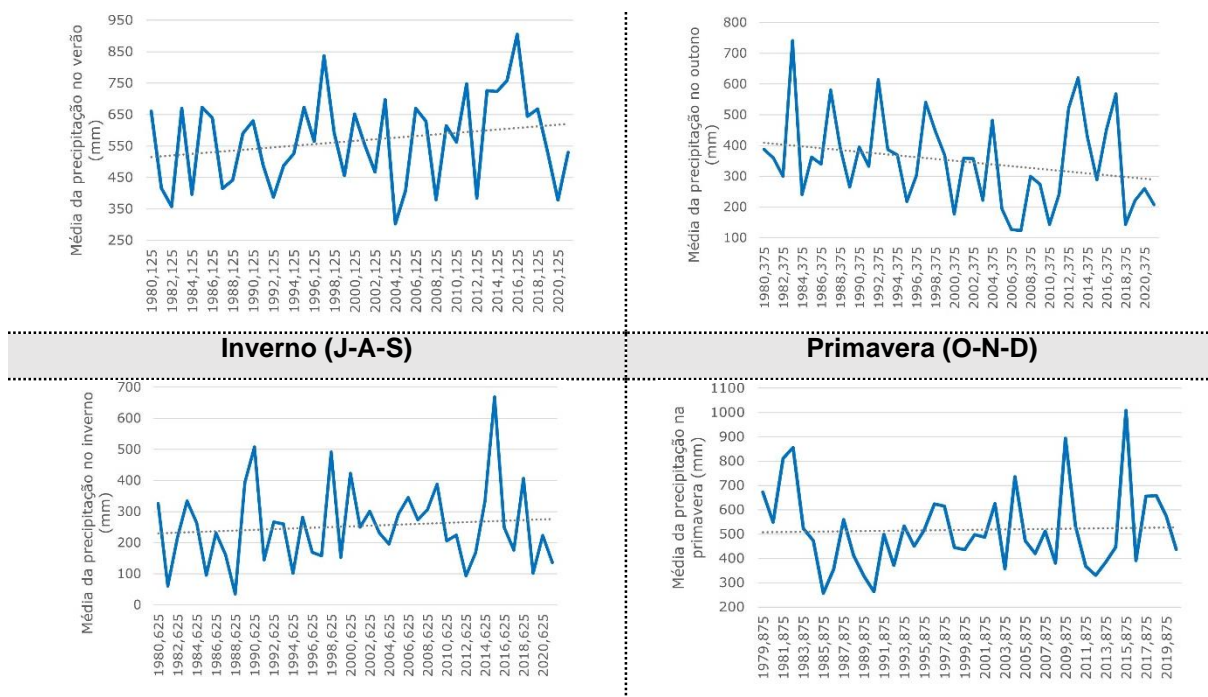
Não houve tendência significativa para a umidade relativa do ar, mas é importante observar o traçado decrescente das linhas de tendência, caso fossem representativas, e o traçado mais horizontal na primavera. Destaca-se o inverno com mais picos de redução e de aumento ao longo dos anos (Figura 7), ou seja, com mais variação.

A umidade relativa do ar mesmo sendo um elemento menos figurativo na percepção das pessoas, dentre os considerados na pesquisa, pode se tornar um problema a curto prazo, mediante sua interação com aspectos do meio, como a redução da vegetação e o consequente aumento da temperatura do ar.

No caso da precipitação, verifica-se tendência linear positiva não significativa no verão, inverno e primavera, e tendência linear negativa não significativa no outono (Figura 7).

Figura 7 - Trimestrais de umidade relativa do ar e precipitação, e suas respectivas linhas de tendência.





Elaboração - A autora, 2023.

No caso dos elementos temperatura média do ar e precipitação, por não haver normalidade dos dados sazonais, será também apresentado os resultados do Teste de Mann-Kendall (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado do Teste de Mann-Kendall para a temperatura média do ar e a precipitação, na estação do outono.

Temperatura média do ar		
Período analisado	Tendência	Valor p (α = 95%)
Outono (A-M-J)	Negativa (tau = -0,185)	Significativo (0,013129)
Precipitação		
Período analisado	Tendência	Valor p (α = 95%)
Outono (A-M-J)	Negativa (-0,305)	Significativo (4,0177e ⁻⁰⁵)

Elaboração - A autora, 2023.

Em ambos os casos, pode-se rejeitar a hipótese nula, H0, e aceitar que há tendência negativa. Na análise da variabilidade de outono da temperatura média do ar, tem-se os seguintes resultados: 1º período – decréscimo de 0,013 °C; 2º período – acréscimo de 0,856 °C; 3º período – decréscimo de -0,069 °C. No caso da precipitação de outono tem-se: 1º período – acréscimo de 0,57 mm; 2º período – decréscimo de 136,11 mm; 3º período – acréscimo de 91,8 mm. Portanto, os resultados de tendência e de variabilidade para os dois elementos no outono não corroboram totalmente.

Minuzzi e Caramori (2011) identificaram aumento de precipitação no Estado do Paraná, principalmente, durante o verão e a primavera, sendo que algumas estações hidrológicas utilizadas no referido trabalho, apresentaram tendência significativa em ambos os períodos sazonais, reforçando a constatação de Obregón e Marengo (2011) sobre o aumento no total de chuvas para o Sul do país.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os procedimentos utilizados mostraram-se aptos ao cumprimento dos objetivos, de acordo com os materiais disponíveis para a pesquisa. O estudo de tendência demonstrou-se necessário para compreender e apontar dinâmicas que podem se repetir na área de estudo.

Embora a análise da variabilidade climática indicasse aumento na média de alguns elementos, o resultado da análise de tendências não foi compatível com tais percepções. Pela análise de tendência anual, as modalidades de temperatura consideradas apresentaram tendência de aumento, enquanto a precipitação e a umidade relativa do ar não apresentaram tendência significativa. Pela análise de tendência sazonal, no método paramétrico, as estações verão, inverno e primavera apresentaram tendência de aumento para as modalidades de temperatura, e no caso do outono, não houve tendência significativa somente para a temperatura mínima do ar. A umidade relativa do ar e a precipitação não apresentaram tendência significativa. Já pelo método não paramétrico, a temperatura média do ar e a precipitação no outono, apresentaram tendência significativa de redução.

A verificação de tendência sazonal ampliou as conclusões da análise de tendência anual, sendo importante para o município, cujas estações de transição podem ter peculiaridades que o diferenciam em relação aos municípios com predomínio de clima tropical. Além disso, a variabilidade intercedenal considerada, foi capaz de explicar que o regime climatológico da área está sujeito a períodos mais chuvosos, mais secos, mais quentes ou mais frios. Isso significa que as marchas sazonal ou anual dos elementos analisados passam por dinâmicas extremas no decorrer de anos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. D. L.; PRADO, M. F. do; SPECIAN, V. Análise da variabilidade climática da precipitação pluvial em Barra do Garças, Mato Grosso. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia-MG, v. 2, n. 2, p. 512-523, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281208945_Analise_da_Variabilidade_Climatica_da_Precipitacao_pluvial_em_Barra_do_Garcas_Mato_Grosso. Acesso em: 28 out. 2021.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26350413_Aplicacao_de_analise_estatistica_para_identificacao_de_tendencias_climaticas. Acesso em: 22 out. 2021.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Tradução: Ronaldo Cataldo Costa. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Revista Bragantia**, Campinas-SP, v. 69, n. 4, p. 1027-1033, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400031>
- CPC/NOAA. Climate Prediction Center/ National Oceanic and Atmospheric Administration. Monthly Niño 3.4 index. ©2021. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.nino34.ascii.txt. Acesso em: 23 out. 2021.
- ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o Estado do Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v. 21, p. 553-569, 2017. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48643>
- FERRARI, A. L.; VECCHIA, F. A. da S.; COLABONE, R. de O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 8, v. 10, p. 30-46, 2012. <https://doi.org/10.5380/abclima.v10i1.30585>
- GARBER, R. **Análise de séries temporais**. São Paulo: 1995.
- GHIL, M.; LUCARINI, V. The physics of climate variability and climate change. In: **Reviews of Modern Physics**, v. 92, n. 3, p. 01-77, 2020. Disponível em: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.92.035002>. Acesso em: 13 dez. 2023. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.92.035002>
- HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. Trend Analysis. In: HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical Methods in Water Resources**. Book 4. U.S. Department of the interior; U.S. Geological Survey, set. 2002. p. 323-355.
- IBGE. **Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 135 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf. Acesso em: 8 ago. 2017.

- IBGE. Panorama Cidades. ©2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/maringa/panorama>. Acesso em: 08 jan. 2024.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. Charles Griffin: London, UK, p. 220, 1975.
- MANN, H. B. *Econometrica*. **The econometric Society**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.
- MINAKI, C. Características da variabilidade e do clima urbano em Maringá-PR. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 78, p. 610-634, 2021. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72350>
- MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 69, p. 266-281, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG206941220>
- MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 593-602, set/out 2011. Acesso em: 8 nov. 2022. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500009>
- MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H.; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 471-479, 2011. Acesso em: 12 jan. 2022. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000200031>
- MONTANHER, O. C.; MINAKI, C. 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. Acesso em: 31 out. 2021. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.164209>
- MUDELSEE, M. Trend analysis of climate time series: A review of methods. **Earth-Science Reviews**, n. 190, p. 310-322, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.005>
- OBREGÓN; G.; MARENGO, J. A. Variabilidade e tendências climáticas. In: MARENGO; J. A. (Coord.) **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**, 2011. p. 19-20. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP7W/3DJGBBE>. Acesso em: 31 out. 2021.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <http://www.Rproject.org/>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- RICCE, W. da S.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; SILVA, D. A. B.; ATAÍDE, L. T. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, estado do Paraná. 2009. Disponível em: <http://sbagro.org/files/biblioteca/2504.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para geografia: um guia para o estudante**. Tradução técnica: Paulo Fernando Braga Carvalho, José Irineu Rangel Rigotti. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- SANCHES, F. de O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté-SP, v. 8, n. 3, p. 214-228, set-dez 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiaqua/a/gbC9CdqTsxkxxNbR9HCbjzq/?lang=pt>. Acesso em: 5 maio 2014.
- SCIENCE DIRECT. Monte Carlo simulation. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/economics-econometrics-and-finance/monte-carlo-simulation>. Acesso em: 21 jan. 2024.
- SILVESTRE, M. R. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas**. 409 f. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137946>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- THOMPSON, D. W. J.; BARNES, E. A.; DESER, C.; FOUST, W. E.; PHILLIPS, A. S. Quantifying the role of internal climate variability in future climate trends. **American Meteorological Society**, ago. 2015, v. 28, p. 6443-6456. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26195970>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- THORNTON, P. K.; ERICKSEN, P. J.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A. J. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. **Global Change Biology**, 2014, 20, p. 3313-3328. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>. Acesso em: 18 dez. 2023.

VAN ROSSUM, G.; DRAKE, F. L. **Python 3 Reference Manual**. Scotts Valley, CA: CreateSpace. 2009.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to climatological practices**. n. 100, 2018.

Disponível em: <https://public.wmo.int/es/recursos/documentos-de-pol%C3%ADtica-y-normas>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WMO. World Meteorological Organization. ©2021a. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/about-us/frequently-asked-questions/climate>. Acesso em: 25 out. 2021.

WMO. World Meteorological Organization. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I – Measurement of Meteorological Variables. Vol. I, n. 8, 2021b. Disponível em: https://library.wmo.int/records/item/41650-guide-to-instruments-and-methods-of-observation?language_id=13&back=&offset=. Acesso em: 05 jan. 2023.

Recebido em: 18/04/2023

Aceito para publicação em: 24/01/2024