

TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E DO NÚMERO DE DIAS COM CHUVA NO MUNICÍPIO DE ALTO PIQUIRI-PR POR MEIO DO TESTE DE MANN KENDALL

BALDO, Maria Cleide¹
TOMMASELLI, José Tadeu Garcia²
KAWAHARA, Luiz Felipe Yuiti³
NUMAI, Alessandra Arissa⁴

Recebido (Received): 12-01-2021 Aceito (Accepted): 01-09-2021

Como citar este artigo: BALDO, M. C.; TOMMASELLI, J. T. G.; KAWAHARA, L. F. Y.; NUMAI, A. A. Tendência da precipitação anual e do número de dias com chuva no município de Alto Piquiri-PR por meio do teste de Mann Kendall. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 885-903, 2021.

Resumo

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas mais estudadas pois tanto o excesso quanto a falta podem ocasionar diversos transtornos. O objetivo deste estudo consistiu em analisar os padrões predominantes da distribuição temporal da precipitação diária, mensal, sazonal e anual no período de 1976 a 2019, no município de Alto Piquiri-PR. Procurou-se, também, verificar a presença de tendências significativas nas séries de precipitação total anual e no total da quantidade de dias com ocorrência de chuva, por meio do teste não paramétrico de Mann (1945) e Kendall (1975). Os resultados obtidos apontaram que a média anual de pluviosidade foi de 1651 mm, enquanto os anos anômalos chuvosos foram 1982, 1983, 2015 e 2016, e o seco, 1991. A média de dias com chuva atingiu 90 dias e a primavera registrou as maiores alturas de chuva. Quase todos os valores máximos absolutos mensais foram registrados nos doze anos mais chuvosos de todo o período. Não foi detectada tendência no total anual de pluviosidade, porém na quantidade de dias com chuva houve tendência significativa, ou seja, as chuvas ficaram mais concentradas principalmente a partir do ano de 1999. Associar esta tendência com as alterações no clima não seria correto com apenas 44 anos de dados, na verdade, fica implícito que se trata de uma variabilidade ocorrida num determinado período.

Palavras-chave: Pluviosidade. Tendência pluviométrica. Variabilidade temporal.

ANNUAL RAINFALL TREND AND THE NUMBER OF DAYS WITH RAIN IN THE MUNICIPALITY OF ALTO PIQUIRI-PR THROUGH THE MANN KENDALL TEST

Abstract

Rainfall is one of the most studied meteorological variables for both excess and lack can lead to several disturbances. The aim of this study consisted in analyzing the predominant patterns of temporal distribution of daily, monthly, seasonal and annual precipitation in the period 1976 to 2019 in the municipality of Alto Piquiri-PR. We also sought to verify the presence of significant trends in the total annual precipitation series and the total number of days with rainfall occurrence by means of the non-parametric Mann (1945) and Kendall (1975) test. The results obtained pointed out that the average annual rainfall was 1651 mm, while the anomalous rainy years were 1982, 1983, 2015 and 2016, and the dry one in 1991. The average number of rainy days came to 90 and the spring has recorded the highest rainfall heights. Almost all absolute monthly highs were recorded in the twelve wettest years of the entire period. No trend was detected in the total annual rainfall, but in the number of days with

¹ Professora Dra. na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Campo Mourão-PR. E-mail: mcbaldo@utfpr.edu.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6243-8329>.

² Professor Dr. na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente. E-mail: tadeu.tommaselli@unesp.br; ORCID: <https://orcid.org/0000.0003-3839-0932>.

³ Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Campo Mourão-PR. E-mail: luizkawahara@alunos.utfpr.edu.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2466-7443>

⁴ Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Campo Mourão-PR. E-mail: alessandra.numai@outlook.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5204-2649>.

rain there was a significant trend, that is, the rains have become more concentrated mainly as of the year 1999. Associating this trend to climate change would not be correct with just 44 years of data, in fact, it is implied that this is a variability which took place in a given period.

Keywords: Rainfall. Rainfall trend. Temporal variability.

TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL Y NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA EN EL MUNICIPIO DE ALTO PIQUIRÍ-PR MEDIANTE LA PRUEBA MANN KENDALL

Resumen

Las precipitaciones son una de las variables meteorológicas más estudiadas porque tanto el exceso como la escasez pueden provocar diversos impactos. El objetivo de este estudio fue analizar los patrones predominantes de distribución temporal de la precipitación diaria, mensual, estacional y anual en el período 1976 a 2019, en el municipio de Alto Piquirí-PR. Así como de verificar la presencia de tendencias significativas en la serie total de precipitación anual y en el número total de días con incidencia de lluvia, mediante la prueba no paramétrica de Mann (1945) y Kendall (1975). Los resultados obtenidos mostraron que el promedio anual de precipitaciones fue de 1651 mm, aseverando que los años lluviosos anómalos fueron 1982, 1983, 2015 y 2016, y los secos, 1991. El número promedio de días lluviosos alcanzó los 90 días y la primavera registró los mayores niveles de lluvia. Casi todos los valores máximos absolutos mensuales se registraron en los doce años más húmedos de todo el período. No se detectó tendencia en la precipitación total anual, pero sí una tendencia significativa en el número de días de lluvia, es decir, la precipitación estuvo más concentrada, especialmente a partir de 1999. Asociar esta tendencia con cambios climáticos no sería correcto con tan solo 44 años de datos, de hecho, se da a entender que se trata de una variabilidad que se produjo en un período determinado.

Palabras clave: Lluvia. Tendencia de las precipitaciones. Variabilidad temporal.

1 Introdução

O ser humano sempre buscou condições climáticas favoráveis para iniciar o seu desenvolvimento, seja ele econômico ou social. Porém, com o passar dos anos, os avanços tecnológicos permitiram a sociedade a se adaptar às condições adversas. A partir disso, a precipitação pluviométrica tornou-se uma das variáveis meteorológicas mais estudadas visto que tanto o excesso quanto a falta podem ocasionar diversos transtornos. Viera *et al.* (2010) afirmam que nas regiões de recursos hídricos escassos, a pluviosidade é a forma mais econômica e ambientalmente correta de uso da água na agricultura, pois não há necessidade de se importar água através de irrigação, além de manter em equilíbrio os recursos hídricos existentes em outras regiões, diminuindo, conseqüentemente, os custos de produção e preservando o meio ambiente.

A importância do conhecimento da variação temporal e espacial da distribuição da precipitação é que determina a realização de estudos com intuito de compreender as tendências, frequências e a intensidades das chuvas. Quando se fala em tendências climáticas, os elementos temperatura e pluviosidade são os mais ressaltados. A tendência climática, crescente ou decrescente, por ocorrer em períodos curtos, não deve ser confundida com mudanças climáticas

(ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Muitos trabalhos estão sendo realizados nesta temática, para os mais variados recortes territoriais e até mesmo na escala pontual, como neste caso.

O estudo da tendência pluviométrica em Irati-PR foi realizado por Pinheiro; Vide (2018), no período de 1983 a 2010, através do método de Mann (1945) e Kendall (1975), e não constatou nenhuma tendência para a precipitação anual e sazonal. Utilizando a mesma metodologia, na região metropolitana de São Paulo, Raimundo *et al.* (2014) verificaram tendência positiva nos totais anuais de chuva em 4 estações das 21 estudadas, além de uma negativa. Nos dados sazonais houve tendência significativa somente no verão, em 5 estações houve decréscimo e somente em 1 estação foi registrada acréscimo da pluviosidade.

No trabalho realizado por Baldo; Tommaselli; Oikawa (2018) da análise da tendência do número de dias de chuva na bacia do rio Piquiri-PR, dos 37 postos pluviométricos analisados, 18 postos exibiram tendências, sendo 12 postos com tendências negativas e 6 positivas. É importante destacar que os postos com tendências, tanto de aumento dos totais pluviométricos quanto no decréscimo na quantidade de dias com chuva, estão todos localizados em diferentes compartimentos na área de estudo. Houve também, os estudos de Silva; Montenegro; Souza, (2017) que analisaram as tendências climáticas para 75 postos com dados de precipitação diária, no período de 1962 a 2011, nas principais bacias hidrográficas de Pernambuco. Constataram indícios de aceleração no processo de aridez de algumas bacias e a tendência de aumento de eventos extremos máximos de precipitação para as bacias dos rios de Mundaú, Sirinhaém e Garças.

No Paraná, Silva *et al.* (2015) analisaram uma série de dados diários de temperatura e precipitação, entre os anos de 1976 a 2010, em 20 estações meteorológicas do IAPAR. Em conjunto, foram aferidos dados de totais pluviométricos anuais e mensais, entre os anos de 1961 a 1990, de 17 estações pertencentes ao INMET. A partir disso, foram calculados os indicadores de extremos climáticos tendo como conclusão, em relação à temperatura, um padrão de aquecimento generalizado estatisticamente significativo em grande parte do estado do Paraná. Por outro lado, a precipitação mostrou-se sem significância estatística embora exista uma tendência significativa que apresentou uma diminuição de cerca de 5 mm/ano nas chuvas severas nas estações de Cambará, Ibiporã e Umuarama.

No Espírito Santo, Regoto *et al.* (2018) elaboraram uma análise sobre a variabilidade espacial das tendências dos indicadores de extremos de precipitação com 80 postos no estado, através do teste de Mann–Kendall. Os resultados mostraram um aumento tanto na precipitação acumulada nos eventos de chuvas fortes, quanto na frequência de ocorrência dessas chuvas em

vários locais do estado, contudo, evidenciou também, um acréscimo dos dias sem chuva em outras regiões.

Analisando os trabalhos acima apresentados, indiferente da escala temporal e espacial, fica claro que as tendências tanto positivas quanto negativas não foram unânimes e sim muito pontuais. Considerando que as tendências são pontuais, torna-se evidente a importância da análise meticulosa dos dados diários de um determinado local, não apenas considerar a quantidade de precipitação, mas também a quantidade de dias com precipitação em diferentes escalas de análises.

Dada à importância do estudo local que o objetivo desse estudo foi de examinar os padrões predominantes da distribuição temporal da precipitação diária, mensal, sazonal e anual no período de 1976 a 2019, além de verificar através do teste não paramétrico de Mann-Kendall se há presença de tendências significativas nas séries de precipitação total anual e no total da quantidade de dias com ocorrência de chuva em Alto Piquiri-PR. Considerando que o município é essencialmente agrícola, sendo dependente exclusivamente dos regimes pluviométricos, é que se justifica a importância desse estudo. Lembrando que o conhecimento climático de um determinado local não está estritamente voltado à agricultura, as demais atividades desenvolvidas também dependem desta informação.

2 Materiais e métodos

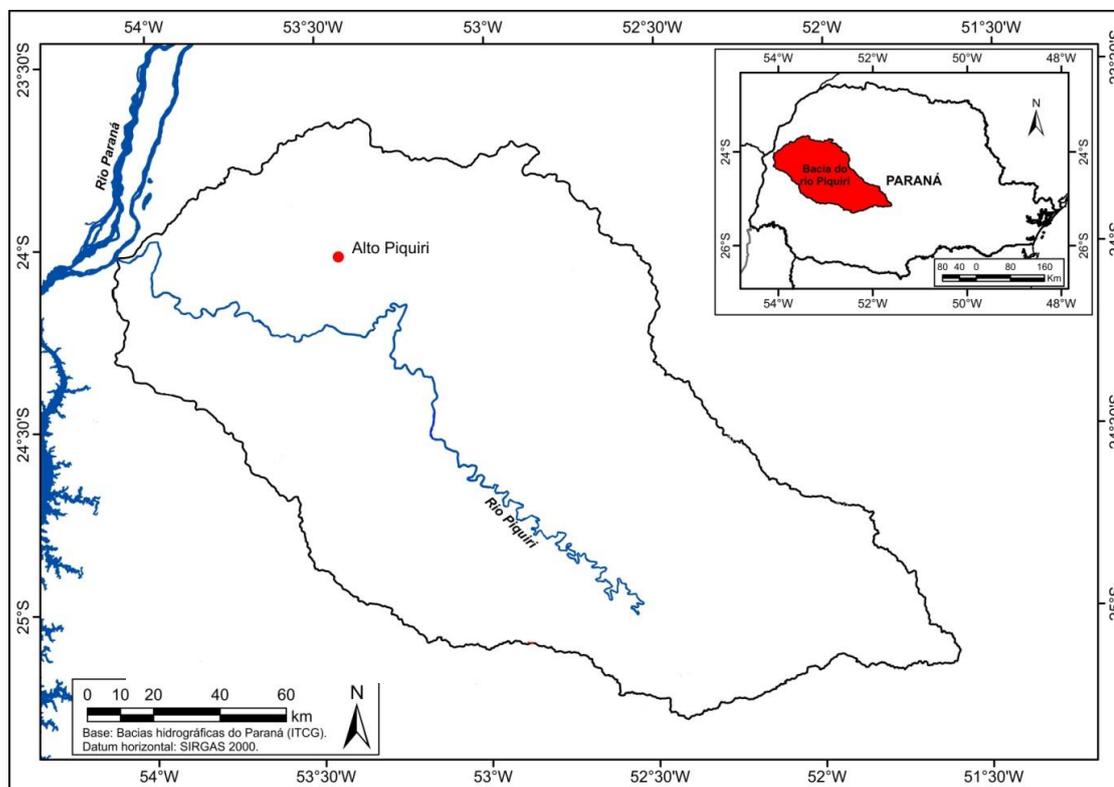
2.1 Localização da área de estudo e características físico-geográficas

O município de Alto Piquiri está inserido na bacia hidrográfica do Rio Piquiri – PR (Figura 1) e possui uma população total estimada de 9.836 habitantes segundo o IBGE (2020). No que se refere à Geologia, o município de Alto Piquiri está localizado numa área de transição entre a Formação Caiuá, na porção Norte, e a Formação Serra Geral de rochas eruptivas básicas do derrame de basalto (trapp), em toda a porção Sul e Sudoeste (MAACK, 1981).

O município está inserido em duas subunidades morfoesculturais ambas situadas no Terceiro Planalto Paranaense. A primeira denominada Planalto de Campo Mourão, apresenta dissecação baixa com declividade predominante menor que 6%. As formas predominantes são topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha, modeladas em rochas da Formação Serra Geral. A segunda, denominada Planalto de Umuarama, apresenta dissecação média com classe de declividade predominante menor que 12%. As formas predominantes são

topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas da Formação Caiuá (MINEROPAR, 2006).

Figura 1 – Localização do posto pluviométrico na bacia do rio Piquiri - PR.



Org.: Elaborado pelos autores.

As principais classes de solos predominantes na área de estudo são Argissolo vermelho amarelo (textura arenosa/média) e Latossolo vermelho (textura média), todos formados a partir da alteração do Arenito Caiuá. Na porção Sul e Sudoeste são encontrados os Latossolos, Nitossolos e Cambissolos e nas de relevo mais movimentado aparecem os Neossolos Regolíticos, Neossolos Litólicos oriundos da Formação Serra Geral (EMBRAPA, 2007).

O município está sob o domínio do Clima Subtropical (Cfa), segundo a classificação de Köppen, este apresenta uma temperatura média no mês mais frio, inferior a 18°C (mesotérmico), com geadas pouco frequentes. A temperatura média no mês mais quente está acima de 22°C, o verão é quente e com tendência a concentração das chuvas, segundo (NITSCHKE, *et al.* 2019). A precipitação média anual é de 1651 mm e a estação mais chuvosa é a primavera.

Os aspectos físicos do município, já elencados, como as formações geológicas, as formas de relevo e as classes de solos predominantes, assim como o clima, propiciaram o

desenvolvimento econômico voltado para pecuária e agricultura mecanizada, com destaque na produção de soja, milho e trigo (IPARDES, 2020).

2.2 Procedimentos metodológicos

O critério da escolha, do recorte temporal de 1976 a 2019, foi pela disponibilidade de dados contínuos e de qualidade. Para tanto, foi utilizado o posto pluviométrico convencional de Alto Piquiri (código 2453008), localizado nas Latitudes 24° 01' 48" S, Longitude 53° 26' 17" W e altitude 427 metros. Os dados foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná - Sistema de Informações Hidrológicas. Os dados, consistidos, foram organizados e tratados por meio de planilhas eletrônicas, o que possibilitou a correção de falhas e a tabulação. As falhas foram preenchidas pelo método da ponderação regional, conforme Villela e Mattos (1975).

Na análise preliminar, foi aplicada a estatística descritiva como média, desvio padrão, coeficiente de variação, utilizando-se de toda a série histórica, 1976 a 2019, para a elaboração dos gráficos. O intuito dessa análise é ter um conhecimento dos padrões de distribuição em diferentes escalas de análises do município e detectar os erros grosseiros.

Foi aplicado o teste de Mann-Kendall visando a detecção de tendências significativas, tanto positivas quanto negativas. O teste foi aplicado para os totais anuais de pluviosidade e para a quantidade de dias com chuva no período de 1976 a 2015. O teste de Mann-Kendall é um dos testes não paramétricos mais utilizados para a detecção de tendência em séries de dados hidrológicos (BACK, 2001; TODESCHINI, 2012; SILVA; SOUZA, 2013; SANTOS; LUCIO, SILVA, 2015).

O teste não paramétrico de Mann-Kendall avalia a presença de tendência em uma série temporal, tanto linear quanto não linear (MACHIWAL; JHA, 2012). Seja a série x_t , com $t = 1, \dots, n$, a estatística S de Mann-Kendall representa a diferença entre o número de diferenças positivas e negativas de todas as comparações consideradas, e é calculada a partir de: Equação (1)

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

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

Equação (2)

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

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)

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

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

Equação (4)

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

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. Foi obtida, ainda, 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)

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

Para a determinação do intervalo de classe para a elaboração dos histogramas mensais da série histórica de 1976 a 2019, foi utilizado o método de Sturges, este é um critério aplicado para definir o número de intervalo de classes da série analisada a fim de classificar um conjunto de dados representando uma amostra ou população. Sendo assim, é possível calcular por meio da Eq. 6, onde k representa o número de classes, N o número total de observações na amostra.

Equação (6)

$$k = 1 + 3,22 * \log_{10}(N)$$

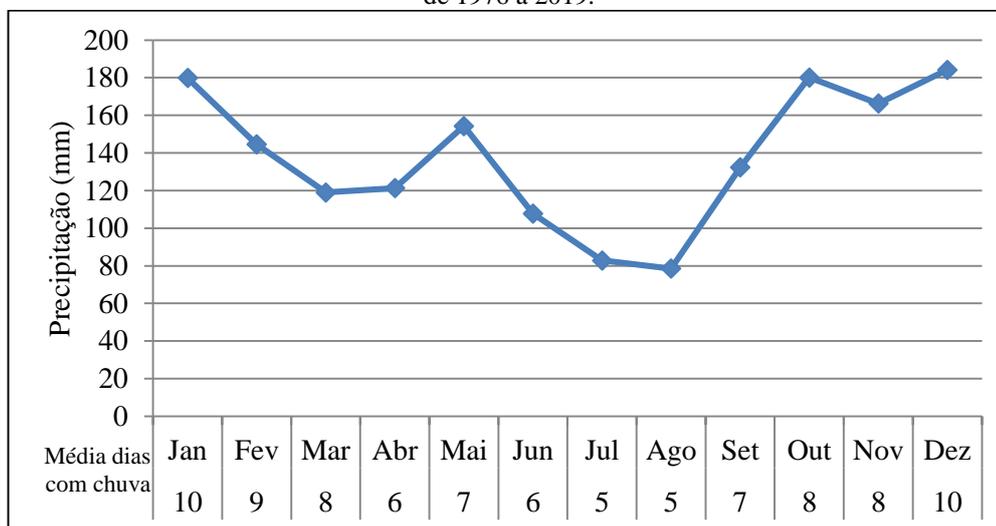
3 Resultados

3.1 Análise da precipitação

Embora a precipitação seja uma variável muito dinâmica no tempo e no espaço, é possível estabelecer certos padrões através de uma série de dados. O padrão observado na distribuição da média mensal de pluviosidade, dos 44 anos analisados, é que os meses de janeiro, maio, outubro e dezembro apresentaram os maiores valores, os quais, devido às altas temperaturas registradas, faz com que os processos convectivos sejam mais intensos (Figura 2). Nos meses de julho e agosto são registrados os menores valores, devido atuação da massa de ar frio, provocando a estabilidade do tempo.

A maior quantidade média de ocorrência de dias com chuva foi registrada nos meses da primavera e verão, algo esperado. É possível observar que no mês de maio as chuvas são mais concentradas, considerando os totais de precipitação em relação ao número de dias com ocorrência de chuva (Figura 2).

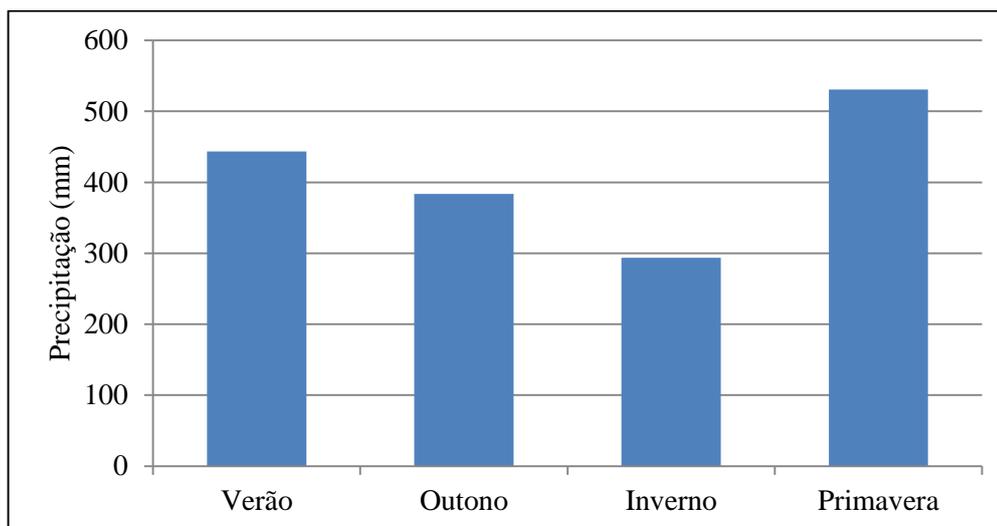
Figura 2 - Precipitação média mensal e a ocorrência média de dias com chuva em Alto Piquiri - PR, no período de 1976 a 2019.



Org.: Elaborado pelos autores.

A primavera foi a estação mais chuvosa, período em que as precipitações se mostraram mais frequentes e intensas, devido ao aumento gradativo da temperatura e da umidade (Figura 3). Os complexos convectivos neste período são mais intensos, fato que provoca grande quantidade de chuva em períodos relativamente curtos (VELASCO; FRITSCH, 1987; GRIMM, 2009).

Figura 3 - Precipitação média sazonal do município de Alto Piquiri – PR, para os anos de 1976 a 2019.



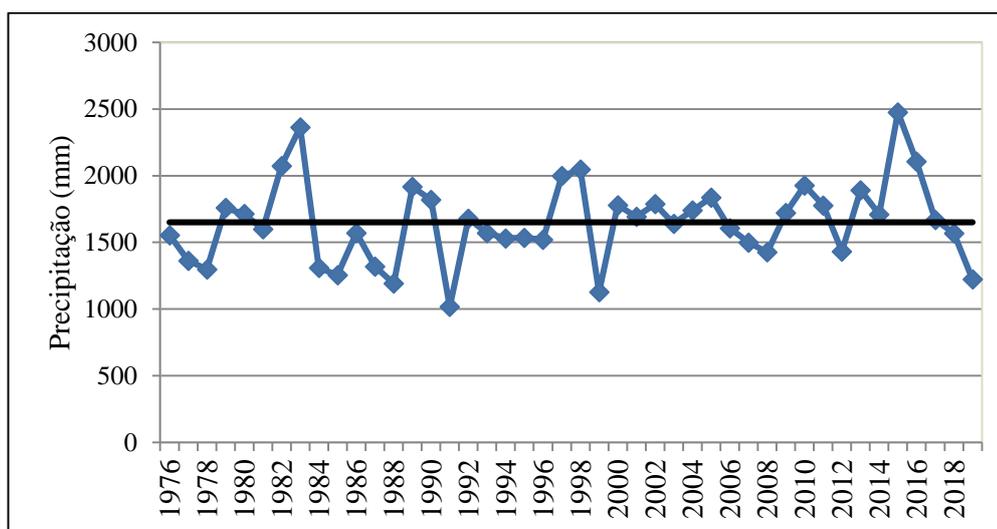
Org.: Elaborado pelos autores.

No verão é muito comum ocorrer mudanças repentinas nas condições diárias do tempo, com chuvas intensas e de curta duração, sendo bem localizadas em função dos processos convectivos típicos dessa estação do ano. Nesta estação a convergência de umidade e o aquecimento da superfície tendem a instabilizar a atmosfera e a produzir precipitação, principalmente na área norte da região Sul (GRIMM, 2009).

Alguns padrões de sistemas atmosféricos atuantes no inverno explicam a redução das chuvas. Segundo Reboita *et al.* (2015), após a passagem de uma frente fria, a massa de ar frio, na retaguarda da frente fria, provoca uma queda nas temperaturas fazendo com que a precipitação cesse e o tempo em geral fique ensolarado, pois a massa de ar frio é densa, seca e desfavorece a formação de nuvens criando condições de alta estabilidade atmosférica.

O total anual de precipitação apresentou uma grande variabilidade ao longo de todo o período. A média climatológica foi de 1651 mm e os anos anômalos de toda a série foram 1982, 1983, 2015 e 2016 com chuva muito acima da média sendo os valores totais de 2073,9 mm; 2363,5 mm; 2476,7 mm; 2106,5 mm respectivamente, e 1991 abaixo da média, com 1016,9 mm (Figura 4).

Figura 4 - Variação da precipitação total anual para toda a série histórica de 1976 a 2019 em Alto Piquiri - PR.

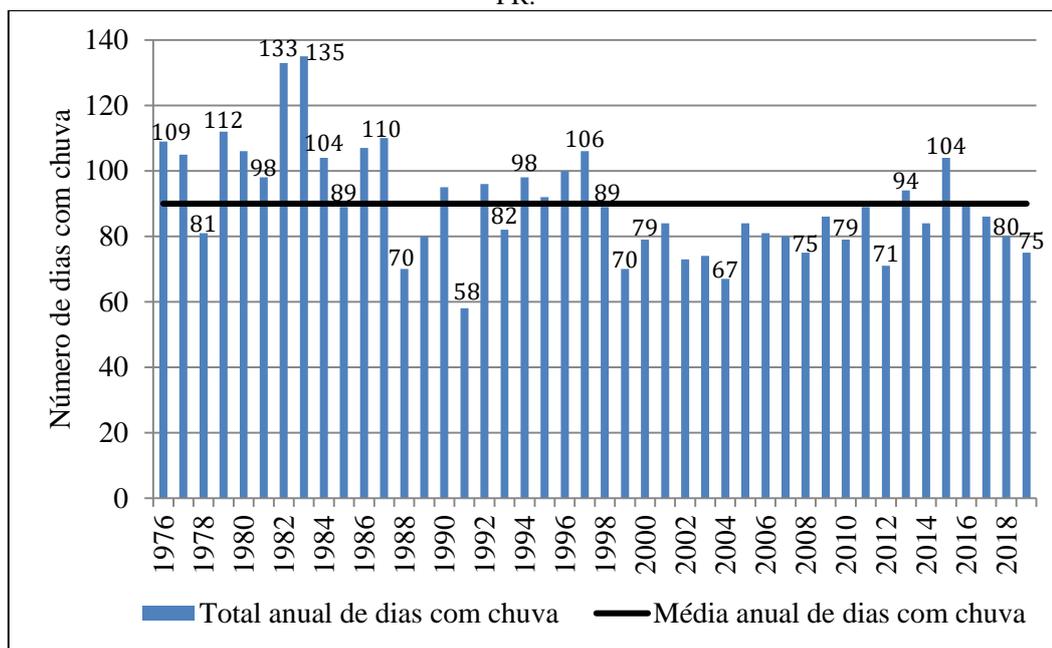


Org.: Elaborado pelos autores.

A média de dias com chuva na área de estudo é de 90 dias e observa-se uma redução de dias com chuvas a partir de 1999, confirmada pelo teste de tendência. Com exceção dos anos de 2013 e 2015, todos os demais apresentaram valores abaixo da média (Figura 5).

Faz-se importante destacar que os anos anômalos de 1982 e 1983, com valores extremos de precipitação, também apresentaram valores elevados de dias com chuva sendo 133 e 135 respectivamente. Entretanto, no ano de 2015, o mais chuvoso da série estudada, a quantidade de dias com chuva foi de 104, não muito acima da média de 90 dias (Figura 5). Nery (2005), constatou que os anos de 1982 e 1983 apontaram valores significativos de precipitação pluviométrica, sendo 300 mm acima da média climatológica na região Sul do Brasil.

Figura 5 - Total anual e a média de dias com chuva para toda a série histórica de 1976 a 2019 em Alto Piquiri - PR.

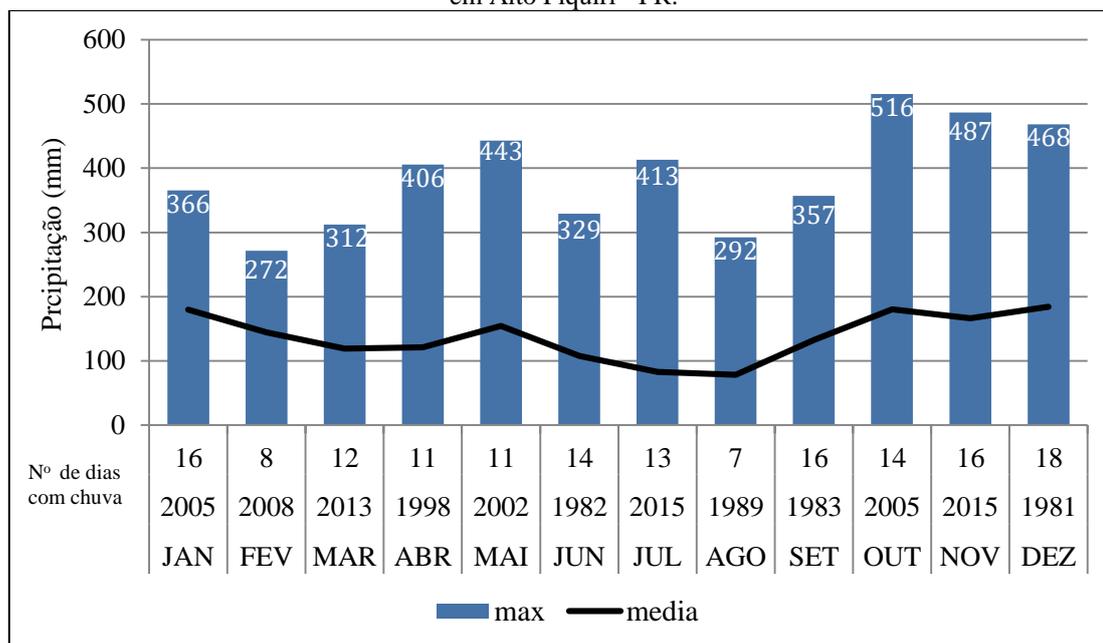


Org.: Elaborado pelos autores.

Uma tendência negativa significativa para a quantidade de dias com chuva na área de estudo foi confirmada, ou seja, nos últimos 20 anos houve diminuição do número de dias com chuva, indicando que neste período as chuvas foram mais concentradas, considerando que a quantidade de chuva anual permaneceu a mesma. Essa tendência não pode ser confundida com alteração do clima, pois este é um padrão inserido dentro da variabilidade climática.

Analisando as precipitações máximas absolutas foram constatados, com exceção dos anos de 1981 e 2008, que todos os demais anos estão entre os 12 anos mais chuvosos de toda a série (Figura 6). O ano de 2015 foi o ano mais chuvoso de toda a série, isso explica a ocorrência de dois meses, julho e novembro, com registro de precipitação máxima absoluta para este ano. Em julho de 2015, por exemplo, choveu aproximadamente 412,9 mm, enquanto a média climatológica para este mês foi de 82,8 mm. A quantidade de dias com chuva foi acima da média para quase todos os meses com as precipitações máximas absolutas.

Figura 6 - Precipitação máxima absoluta e quantidade de dias com chuva e ano de ocorrência de 1976 a 2019 em Alto Piquiri - PR.



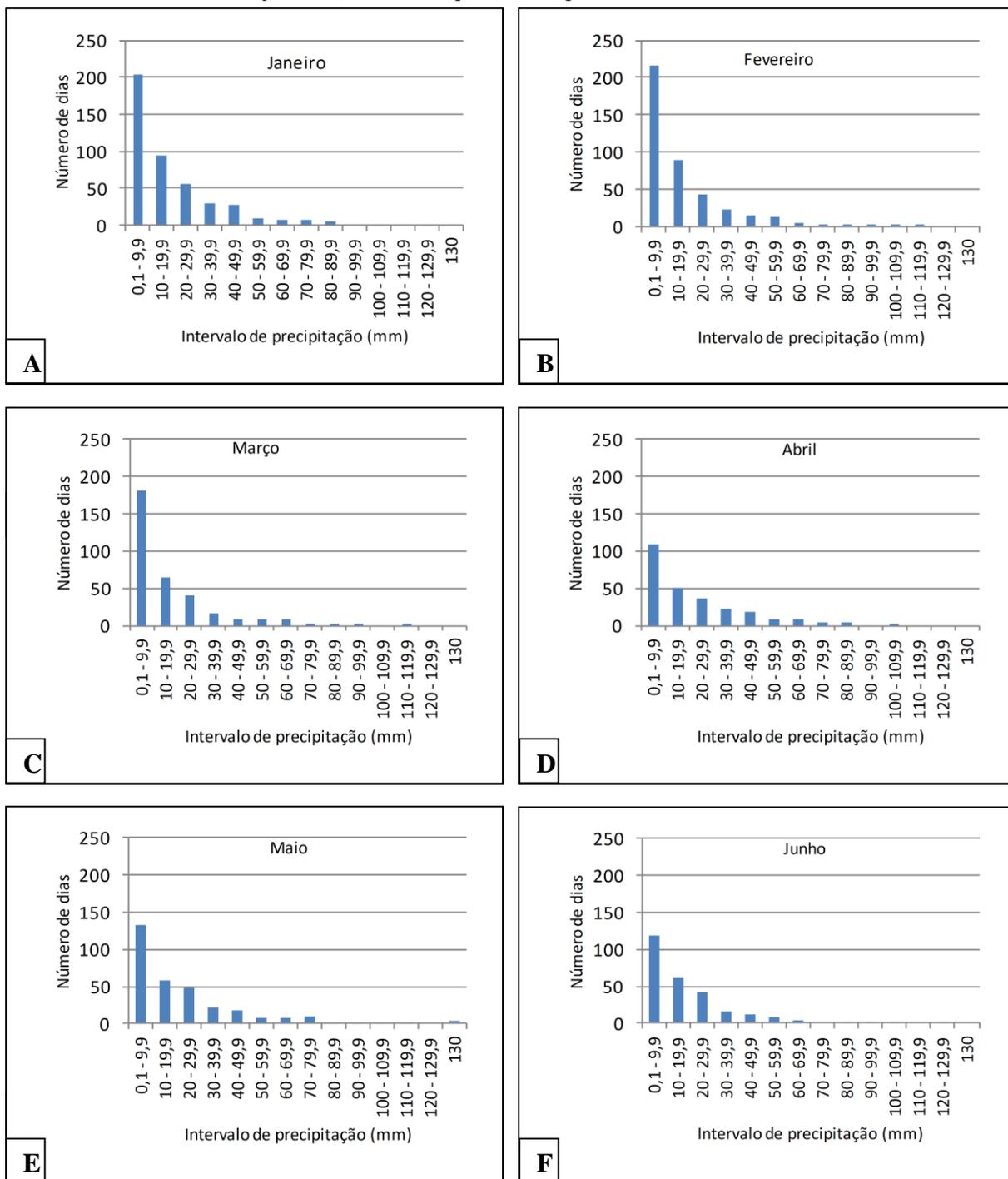
Org.: Elaborado pelos autores.

Numa análise geral de todos os histogramas de frequência de dias com precipitação, para todos os meses do ano em diferentes intervalos de chuva, observou-se que o intervalo de 0,1 a 9,9 mm prevaleceu com o maior número de ocorrência para todos os meses do ano, destacando fevereiro, que neste mesmo intervalo registrou mais de 200 dias com chuva seguido por dezembro, com os valores elevados para toda a série histórica analisada. Ambos estão inseridos nas estações mais chuvosas, verão e primavera (Figuras 7B e 8L).

As maiores quantidades de ocorrência no intervalo de 0,1 a 9,9 mm foram registradas no verão, ou seja, janeiro, fevereiro e março (Figuras 7 A, B, C). A primavera é a estação mais chuvosa do período analisado, e nesse intervalo, de 0,1 a 9,9 mm, só foi elevado para o mês de dezembro. Isso leva a conclusão de que as chuvas são mais concentradas na primavera. No mês de outubro, por exemplo, o intervalo de 40 a 49,9 mm registra a maior quantidade de ocorrência quando comparado aos demais meses do ano.

O mês de maio inserido no outono, apresentou ocorrência elevada para intervalos com valores maiores, sendo o único mês com ocorrência no intervalo de 130 mm (Figura 7E).

Figura 7 - Frequência dos intervalos de precipitação em janeiro (A) fevereiro (B); março (C) abril (D); maio (E) e junho (F) em Alto Piquiri-PR, no período de 1976 a 2019.

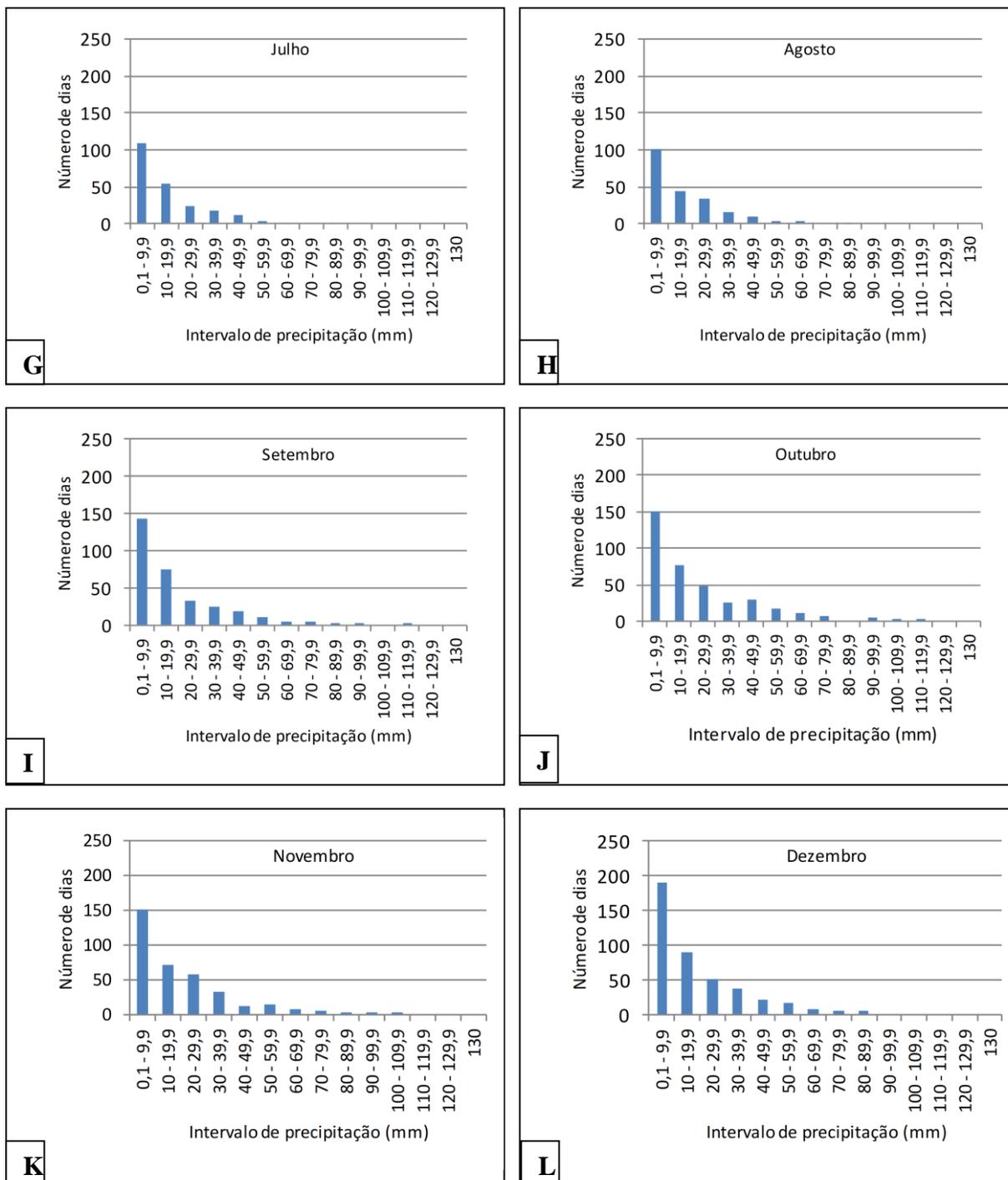


Org.: Elaborado pelos autores.

Nos meses de junho, julho e agosto o padrão predominante dos sistemas atmosféricos atuantes, segundo Reboita *et al.* (2015), são as inserções de frentes frias seguidas de massas de ar frio, provocando a estabilidade do tempo, essa dinâmica atmosférica explica os baixos valores encontrados nesses meses. O mês de agosto foi o que apresentou o menor número de

dias com chuva, em todos os intervalos de classes, valor esperado para um mês inserido na estação do inverno (Figura 8H).

Figura 8 - Frequência dos intervalos de precipitação em julho (G); agosto (H); setembro (I); outubro (J); novembro (K) e dezembro (L) em Alto Piquiri-PR, no período de 1976 a 2019.

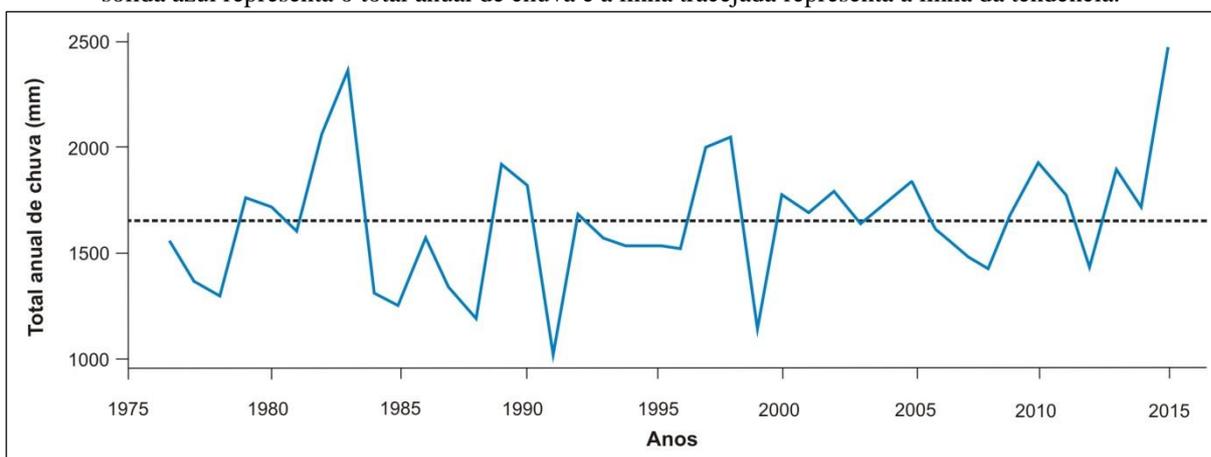


Org.: Elaborado pelos autores.

3.2 Análise da tendência do total anual e da quantidade de dias com chuva

Em relação à precipitação anual total, embora apresente variação ao longo de todo o período da série histórica, não foi detectada tendência significativa ao nível de 5% de significância, pois o valor Z foi de 1,5; quando esse é positivo isso indica que o dado está acima da média. Seus valores oscilam entre $-3 < Z < +3$ e isto corresponde a 99,72% da área sob a curva da distribuição normal. O valor tau de 0,164 implicam em correlações mais fracas ou inexistentes e o p-valor foi de 0,138, ou seja, não existe evidência de tendência para os totais anuais da série estudada de acordo com os resultados do teste de Mann-Kendall apresentado (Figura 9 e Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Pinheiro; Vide, (2018), Baldo; Tommaselli; Oikawa, (2018).

Figura 9 – Tendência para o total anual de chuva no período de 1976 a 2015 para Alto Piquiri – PR. A linha sólida azul representa o total anual de chuva e a linha tracejada representa a linha da tendência.



Org.: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 – Resultado do teste de Mann-Kendall da precipitação do total anual no período de 1976 a 2015 em Alto Piquiri -PR

Código	Posto	Z	tau	p-valor	Spearman	Kendall	Pearson
2453008	Alto Piquiri	1.5	0.164	0.138	0.271	0.164	0.256

Org.: Elaborado pelos autores.

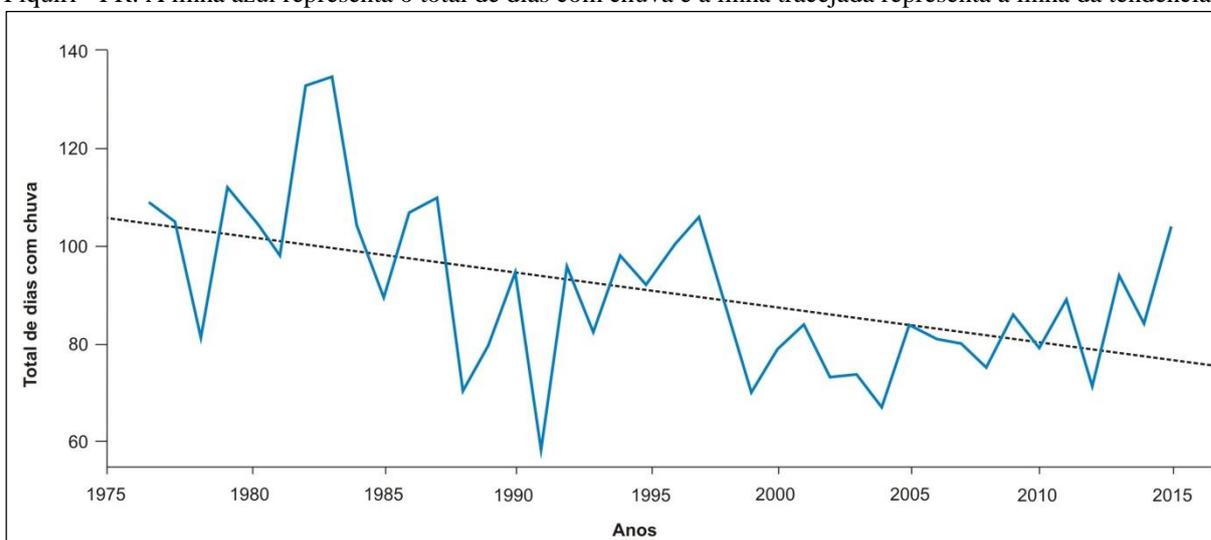
A respeito da quantidade dos dias com chuva, observa-se variação no período analisado, que representa uma tendência de redução na quantidade de dias com chuva a partir do ano de 1999 (Figura 10). Uma tendência significativa (negativa) ao nível de 5% de confiança foi detectada nesta análise na qual o valor p-valor foi de 0,002 e tau de -0,332, de acordo com os

resultados do teste de Mann-Kendall (Tabela 2). Estudos realizados por Regoto *et al.* (2018), com dados diários para o estado do Espírito Santo, também mostram resultados semelhantes.

Considerando que não foi observada a tendência de aumento no total da precipitação anual e foi registrada tendência na redução da quantidade de dias com chuva, presume-se que as chuvas estão mais concentradas na área de estudo, padrão que foi observado a partir de 1999. A tendência de eventos extremos tem sido muito discutida na comunidade científica em inúmeros trabalhos publicados em diferentes locais e escalas de análises, entre eles Marengo (2009); Santos; Lúcio; Silva, (2015); Silva *et al.* (2017).

A quantidade de dias com chuva é um dado muito importante na análise temporal e espacial para verificar a concentração e a intensidade da precipitação. Porém, o ideal é trabalhar com dados numa escala mais fina, ou seja, horária, de meia em meia hora ou a cada 15 minutos, por exemplo, para visualizar melhor a sua distribuição. Mas devido à indisponibilidade desses dados é que se justifica a falta de trabalhos nessas escalas e para suprir essa necessidade é válido a utilização dos dados de dias com chuva, uma vez que que fornecem informações relevantes para detectar tanto a concentração quanto a tendência da chuva.

Figura 10 – Tendência para a quantidade de dias com chuva no segmento temporal de 1976 a 2015 para Alto Piquiri - PR. A linha azul representa o total de dias com chuva e a linha tracejada representa a linha da tendência.



Org.: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 – Resultados do teste de Mann-Kendall para o total de dias com precipitação no período de 1976 a 2015, em Alto Piquiri - PR.

Código	Posto	Z	tau	p-valor	Spearman	Kendall	Pearson
2453008	Alto Piquiri	-3	-0.332	0.002	-0.507	-0.334	-0.499

Org.: Elaborado pelos autores.

Não é possível associar esta tendência com as alterações no clima, considerando apenas 44 anos de dados trabalhados, o que indica uma possível variabilidade ocorrida no período considerado para a análise.

É difícil afirmar que este padrão mais concentrado de chuva, encontrada nesta série histórica de dados analisados do município de Alto Piquiri, irá se perdurar. O mais importante é pensar em termos de planejamento, tanto no que se refere a área urbana quanto a rural; no dimensionamento das obras hidráulicas que precisa ser pensado de forma mais adequada, considerando essas atipicidades pluviométricas.

4 Conclusão

A média de dias com chuva foi de 90 dias, sendo a maior quantidade média ocorrida nos meses da primavera e do verão. O mês de maio apresentou, na média mensal, poucos dias com chuva, porém altos valores de chuva, ou seja, houve maior concentração.

No geral, observou-se que o intervalo de 0,1 a 9,9 mm prevaleceu com o maior número de ocorrência para todos os meses do ano. Não foram detectadas tendências positivas e negativas estatisticamente significativas na precipitação dos totais anuais, apenas uma variação ao longo de todo o período, resultado esperado considerando a variação da chuva no tempo e no espaço. Entretanto, foi detectada tendência significativa negativa na quantidade de dias com chuva na área de estudo. Por não ter sido registrado aumento e redução nos totais anuais fica evidente que as chuvas estão mais concentradas.

Os resultados obtidos, através da análise dos dados diários do município, mostraram um padrão anunciado nos últimos relatórios do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas nos quais as chuvas estão ficando mais concentradas, porém, não é possível afirmar essa relação devido a série analisada ser de apenas 44 anos. Portanto, vale destacar que sejam realizados mais estudos locais em escalas mais finas, ou seja, escalas horárias com o intuito de verificar a tendência da intensidade, ocorrência e volume de chuva. Diante dos cenários de mudanças climáticas, apresentados pela comunidade científica, é urgente a realização de mais estudos locais cujo intuito seja pensar em medidas mitigadoras locais.

Referências

- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, Anomalia e Mudança Climática**. Apontamento de aula da disciplina LCE306 - Meteorologia Agrícola - Departamento de Ciências Exatas- setor de Agrometeorologia - ESAL/USP – 2007.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília-DF. v.36, n.5, p.717-726, 2001.
- BALDO, M. C.; TOMMASELLI, J. T. G.; OIKAWA, S. M. Análise da Tendência do número de dias de chuva na bacia do rio Piquiri-PR. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 2018, Juiz de Fora **Anais [...]** Minas Gerais: v.1. p.1418-1427. 2018.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de solos do Estado do Paraná**. Embrapa Solo, Rio de Janeiro. Escala 1:250.000, 2007.
- GRIMM, A. M. Clima na região Sul. In: CAVALCANTI, *et al.* (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.259-275.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. 2020 Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/alto-piquiri/panorama>. Acesso em: abr. 2020.
- IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno Estatísticos Municipais. 2020**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87580&btOk=ok>. Acesso em: abr.2020.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation Methods**. 4ª ed. Londres: Charles Griffin, 1975.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 438p.
- MACHIWAL, D.; JHA, M. K. **Hydrologic time series analysis: theory and practice**. Springer, Dordrecht, Capital Publishing Company, New Delhi, 2012.
- MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometria**. v.13, p.245-259, 1945.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS. p.4-19, 2009.
- MINEROPAR. Serviço Geológico do Paraná. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba. 2006.
- NERY, J. T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p.61-75, 2005.

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, Londrina-PR, 2019. 210 p.

PINHEIRO, G. M.; VIDE, J. M. Tendências pluviométricas no município de Irati, PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 14, v. 23, 2018.

RAIMUNDO, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; MOLION, L. C. B. Tendências de classes de precipitação na região metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n.3, p.397-408, 2014.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas, SP, v.8, n.1, p.34-50. 2015.

REGOTO, P.; DEREZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; CONFALONIERI, U. Tendências de extremos de precipitação para o estado do Espírito Santo. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v.41, n.1, 2018.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.04, p.1041-1052, 2015.

SILVA, D. F. da; SOUZA, A. B. de S. Detecção de tendências climáticas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.06, n.03, p.442-455, 2013.

SILVA, W. L. *et al.* Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n.2, São Paulo, 2015.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 22, n.3, p.579-589, 2017.

TODESCHINI, S. Trends in long daily rainfall series of Lombardia (northern Italy) affecting urban stormwater control. **International Journal of Climatology**. v.32, p.900-919, 2012.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 92, n.8, p. 9591-9613, 1987.

VIEIRA, J. P. G.; SOUZA, M. J. H. de; TEIXEIRA, J. M.; CARVALHO, F. P. de. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n.7, p.762--767, 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.