

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IGOR LUIZ DE ALMEIDA BARBAS

**UM ESTUDO TEMPORAL ESTATÍSTICO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO
EM REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**

LONDRINA

2024

IGOR LUIZ DE ALMEIDA BARBAS

**UM ESTUDO TEMPORAL ESTATÍSTICO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO
EM REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**

**A TEMPORAL AND STATISTICAL STUDY OF PRECIPITATION DISTRIBUTION
IN REGIONS OF THE STATE OF PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Prof. Dr. Jorge Alberto Martins.

LONDRINA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

IGOR LUIZ DE ALMEIDA BARBAS

**UM ESTUDO TEMPORAL ESTATÍSTICO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO
EM REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 23/setembro/2024

Jorge Alberto Martins
Doutorado em Meteorologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maurício Moreira Dos Santos
Doutorado em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rafael Montanhini Soares De Oliveira
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2024

Dedico este trabalho à minha família, a minha noiva,
e a todos que me auxiliaram durante a realização
deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão aos meus pais, Silva Matias dos Santos Barbas e José Luiz de Almeida Barbas (*in memoriam*). Eles foram os pilares inabaláveis que sustentaram meu caminho acadêmico, investindo incansavelmente em minha formação, me apoiaram e não me deixaram desistir nos momentos mais difíceis. Também agradeço minhas irmãs Thaís e Aline pelas ajudas prestadas durante esses anos.

Um agradecimento especial à minha noiva, Claudia Izabelli Ribeiro, cujo amor e dedicação foram inestimáveis durante os últimos anos da minha graduação. Seu apoio incansável e seu cuidado constante foram verdadeiras bênçãos de Deus em minha vida.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, o Prof. Dr. Jorge Alberto Martins. Sua orientação e parceria foram fundamentais ao longo deste percurso acadêmico. Agradeço o tempo dedicado, pelas conversas construtivas e pelos valiosos conselhos que me guiaram durante minha jornada. Sobretudo, agradeço por confiar em meus estudos e por acreditar no meu potencial. Sua orientação foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço ao Pablo, agrometeorologista do IAPAR, que gentilmente disponibilizou dados que contribuíssem para o andamento da minha pesquisa. Agradeço calorosamente a todos os amigos, professores, profissionais e colegas que fizeram parte da minha jornada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Suas contribuições, tempo dedicado e compartilhamento de conhecimento foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Esta conquista não seria alcançada sem o auxílio generoso de cada um de vocês, obrigado por fazerem parte da minha jornada e por tornarem este momento tão especial.

RESUMO

Este estudo examina as tendências históricas de dias chuvosos e intensidade de chuva em cinco regiões do Estado do Paraná, utilizando dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) de 24 estações meteorológicas. A compreensão desses padrões climáticos é essencial para o entendimento regional do clima e tem implicações significativas para o desenvolvimento socioeconômico. A análise estatística aplicada revela tendências temporais, destacando padrões de precipitação ao longo do tempo. Os dados foram filtrados para garantir sua integridade, eliminando dados imprecisos nas observações das estações meteorológicas. O foco da análise foi exclusivamente em parâmetros meteorológicos, fornecendo uma base sólida para investigações mais aprofundadas sobre as consequências das mudanças nos padrões de precipitação e intensidade pluviométrica. Foram empregados métodos clássicos de análise, como média móvel, mediana móvel, regressão linear, LOWESS e Mann-Kendall-Sen. Os resultados revelam tendências predominantemente negativas na maioria das regiões avaliadas, incluindo Norte, Noroeste, Oeste, Centro-Occidental e Centro-Sul. No entanto, em relação aos dias chuvosos, observaram-se tendências positivas no Norte, Oeste e Sudoeste. Quanto à intensidade das chuvas, nenhuma das regiões apresentou tendências estatisticamente significativas em todas as estações analisadas, indicando uma relativa estabilidade nesse aspecto.

Palavras-chave: testes de tendência; dias de chuvas; intensidade pluviométrica; Paraná; estação meteorológica.

ABSTRACT

This study examines historical trends in rainy days and rainfall intensity in five regions of the state of Paraná, using data provided by the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) from 24 meteorological stations. Understanding these climate patterns is essential for regional climate understanding and has significant implications for socioeconomic development. The applied statistical analysis reveals temporal trends, highlighting precipitation patterns over time. The data were meticulously filtered to ensure their integrity, eliminating inevitable gaps in observations from meteorological stations. The focus of the analysis was exclusively on meteorological parameters, providing a solid foundation for further investigation into the consequences of changes in precipitation patterns and rainfall intensity. Classic analysis methods were employed, such as moving average, median moving average, linear regression, LOWESS, and Mann-Kendall-Sen. The results reveal predominantly negative trends in most of the evaluated regions, including North, Northwest, West, West-Central, and South-Central. However, regarding rainy days, positive trends were observed in the North, West, and Southwest. Regarding rainfall intensity, none of the regions showed statistically significant trends in all analyzed stations, indicating a relative stability in this aspect.

Keywords: trend tests; rainy days; rainfall intensity; Paraná; meteorological station.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de erosividade para o índice anual de erosividade (R).....	15
Tabela 2 – Índice mensal de erosividade (R).....	16
Tabela 3 - Divisão Geográfica de cada Estação e período de dados.....	26
Tabela 4 - Resultado de tendência estatística em relação aos dias de chuvas anuais de cada estação meteorológica verificada.....	29
Tabela 5 - Resultado de tendência estatística em relação a intensidade pluviométrica anual de cada estação meteorológica analisada.....	36

Sumário

1	INTRODUÇÃO	09
2.1	Objetivos gerais	11
2.2	Objetivos gerais	11
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
3.1	Dados sobre Padrões de Chuva	12
3.2	Dias de Chuvas e suas Consequências	12
3.3	Intensidade Pluviométrica	13
3.4	Consequências da Intensidade Pluviométrica	15
3.5	Qualidade dos dados	16
3.6	Série Temporal	17
3.7	Séries com Tendência	18
3.8	Testes para Tendência	19
3.8.1	Estimador de Declive de Sen's Slope.....	20
3.9	Testes de normalidade	21
4	METODOLOGIA	27
4.1	Local da Coleta de Dados	23
5	RESULTADOS	29
5.1	Dias de Chuva	28
5.1.1	Avaliação das Regiões Norte (Central Pioneira)	30
5.1.2	Avaliação da Região Noroeste	31
5.1.3	Avaliação da Região Oeste	32
5.1.4	Avaliação Sul (Sudoeste e Centro-Sul)	33
5.1.5	Avaliação Central (Ocidental e Oriental)	34
5.2	Intensidade Pluviométrica	35
5.2.1	Avaliação das Regiões Norte (Central e Pioneira)	37
5.2.2	Avaliação da Região Sul (Sudoeste e Centro-Sul).....	38
5.2.3	Avaliação da Região Sul (Sudoeste e Centro-Sul).....	40
	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O Paraná, com mais de 11 milhões de habitantes, é o maior Estado populacional do Sul do país (IBGE, 2022). O clima paranaense é predominantemente subtropical úmido com índices pluviométricos que variam de 1.500 mm a 2.500 mm anuais. De acordo com a classificação de Koppen, no Estado do Paraná dominam os climas Mesotérmico e Tropical Chuvoso.

A análise das tendências em séries temporais de pluviosidade é fundamental para uma gestão eficiente dos recursos. Nesse sentido, mesmo variações aparentemente insignificantes, resultantes das condições climáticas, podem desencadear impactos de grande magnitude tanto do ponto de vista social quanto econômico. Portanto, é imprescindível identificar padrões ou tendências de mudanças climáticas, pois essas têm um impacto direto e substancial nos recursos hídricos, na agricultura e em diversos outros setores.

Em 2013, o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) divulgou o seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5) mostrando que o aumento da temperatura global desde o século passado é certo, tanto nos continentes quanto nos oceanos, sendo as últimas três décadas mais quentes do que qualquer outra de acordo com registros instrumentais (Hartmann et al., 2013). Essas informações reforçam a importância da análise das tendências climáticas mencionadas anteriormente, uma vez que o aumento da temperatura global pode influenciar significativamente os padrões de pluviosidade ao redor do mundo. A compreensão desses padrões é crucial para uma adaptação eficaz e para mitigar os impactos negativos nos recursos naturais e nas atividades humanas dependentes do clima.

Nesse sentido, a classificação climática objetiva caracterizar em uma grande área ou região, zonas com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas (Pereira et al., 2002). Para tanto, normalmente utilizam-se séries históricas de no mínimo 30 anos de informações, a fim de se evitar a influência de fenômenos sazonais sobre o conjunto de dados,

Estudos observacionais anteriores examinaram mudanças nos regimes de precipitação usando dados de pluviômetros em períodos específicos e locais, a maioria deles limitados a algumas décadas. Na América do Sul, eles identificaram tendências positivas na precipitação, principalmente no Sudeste da América do Sul

(SESA), incluindo alguns locais no Sul do Brasil (Haylock et al., 2006; Marengo et al., 2010). Nessas regiões, as tendências positivas estiveram relacionadas com a intensificação de chuvas fortes e não com um aumento na frequência de dias húmidos (Skansi et al., 2013).

Nesse sentido, a insuficiência de pesquisas para monitoramento de tendência de dias de chuva e de intensidade pluviométrica, podem acarretar inúmeros prejuízos tais como, impactos ambientais que afetam ecossistemas locais, causando erosão do solo, poluição da água e danos à vida selvagem. É importante ressaltar que a capacidade de uma região lidar com chuvas intensas depende da infraestrutura, do planejamento urbano, das práticas agrícolas e de medidas de prevenção e resposta a desastres implementadas pelas autoridades locais. Dessa forma, acompanhar a tendência de dias de chuva e de intensidade pluviométrica possibilita antecipação para criação de medidas mitigadoras. No âmbito deste estudo, pretende-se realizar uma análise quantitativa das tendências de precipitação pluviométrica, com foco na sua relevância para a gestão ambiental e a adaptação às mudanças climáticas no Estado do Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Analisar e compreender a série temporal da precipitação e intensidade pluviométrica no Estado do Paraná, visando contribuir para um melhor entendimento dos padrões climáticos e fornecer informações relevantes para a gestão ambiental e para adaptação para possíveis alterações climáticas.

2.2 Objetivos gerais

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Verificar tendência de aumento ou redução na intensidade pluviométrica de 24 estações meteorológicas do Estado do Paraná, localizadas nas regiões Norte, Noroeste, Oeste e Sul.
- Analisar e discutir as tendências observadas, destacando as diferenças e as possíveis associações com elementos locais.
- Identificar padrões de alteração e as implicações para a gestão de questões ambientais associadas a mudanças climáticas nas áreas de estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dados sobre Padrões de Chuva

A obtenção de dados precisos sobre dias de chuva (ou dias de pluviosidade) e sobre a intensidade pluviométrica desempenha um papel fundamental na compreensão e na gestão dos impactos das mudanças climáticas. Esses dados não apenas fornecem informações valiosas sobre as tendências climáticas regionais e globais, mas também são essenciais para avaliar os riscos e vulnerabilidades associados às chuvas intensas. Nessa perspectiva, ao entender as variações na frequência e na intensidade das chuvas, os tomadores de decisão, bem como os demais setores da sociedade, podem desenvolver estratégias mais eficazes de adaptação e mitigação para enfrentar desafios como inundações, erosão do solo e escassez de água. Além disso, o monitoramento contínuo desses dados permite uma resposta mais ágil e eficiente a eventos climáticos extremos, promovendo assim a resiliência das comunidades, a proteção dos ecossistemas e a sustentabilidade das atividades humanas em face das mudanças ambientais em curso.

3.2 Dias de Chuvas e suas Consequências

A precipitação é o processo pelo qual a água, em suas diversas formas, é liberada da atmosfera e depositada na superfície terrestre. Esta água pode se manifestar como chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (BERTONI e TUCCI, 2001).

Além de ser fundamental para abastecer corpos d'água e manter o equilíbrio dos ecossistemas terrestres, a precipitação desempenha um papel crucial na modelagem dos fenômenos hidrológicos, incluindo o escoamento superficial. Este último, de especial interesse para os engenheiros, é o movimento da água sobre a superfície do solo, sendo influenciado diretamente pela intensidade, distribuição e tipo de precipitação ocorrida em uma determinada região (BERTONI e TUCCI, 2001).

Assim, compreender a natureza e os padrões da precipitação é essencial para a gestão eficaz dos recursos hídricos e o planejamento de infraestruturas hidráulicas e de drenagem. Ademais, compreender a natureza e os padrões da precipitação desempenha um papel vital na agricultura e em várias atividades econômicas de uma sociedade como, a exemplo, a segurança alimentar uma vez que a precipitação afeta diretamente a produção agrícola, que por sua vez influencia os preços dos alimentos

e a segurança alimentar. Grandes variações na precipitação podem levar a quebras de safra, escassez de alimentos e flutuações nos mercados agrícolas, afetando a economia como um todo.

Desse modo, é crucial compreender as tendências pluviométricas para desenvolver estratégias de adaptação e mitigação diante das possíveis mudanças climáticas tanto atual quanto das projeções futuras. A compreensão abrangente da precipitação e seus impactos é essencial para garantir a resiliência das comunidades, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental para as gerações atuais e futuras.

3.3 Intensidade Pluviométrica

A quantidade de chuva expressa pela altura da coluna de água acumulada sobre uma superfície plana e impermeável está intimamente ligada à intensidade pluviométrica. Entender como a precipitação é medida e como sua quantidade influencia a intensidade pluviométrica é essencial para uma análise completa dos padrões climáticos e seus impactos. Nessa linha de análise, expressa-se a quantidade de chuva (h) pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros (Figura 1) ou pluviógrafos (Figura 2), conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo.

Figura 1 – Pluviômetros



Fonte: Blog Labor equipamentos para Laboratórios, 2023.

Figura 2 - Pluviógrafos



Fonte: Clima e Ambiente Soluções Meteorológicas, 2024.

As medidas realizadas nos pluviômetros são periódicas, geralmente em intervalos de 24 horas. As grandezas características são:

- a) Altura pluviométrica: lâmina d'água precipitada sobre uma área. As medidas realizadas nos pluviômetros são expressas em mm;
- b) Intensidade de precipitação: é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação expressa, geralmente em mm,h^{-1}
- c) Duração: período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação (h ou min).

Existem várias marcas de pluviômetros em uso no Brasil. Os mais comuns são o Ville de Paris, com uma superfície receptora de 400 cm^2 , e o Ville de Paris modificado, com uma área receptora de 500 cm^2 . Uma lâmina de 1 mm corresponde a: $400 * 0,1 = 40 \text{ cm}^3 = 40 \text{ mL}$.

Os pluviógrafos, cujos registros permitem o estudo da relação intensidade duração-frequência tão importantes para projetos de galerias pluviais e de enchentes em pequenas bacias hidrográficas, possuem uma superfície receptora de 200 cm^2 .

3.4 Consequências da Intensidade Pluviométrica

Uma das consequências das mudanças nos padrões de chuva, conforme apontado por Crepani et al, (1996) e Palmeira (2004), é a variação nos valores de precipitação, que por sua vez influencia a quantidade de energia potencial disponível para se transformar em energia cinética. Esta energia cinética, por sua vez, é responsável pela erosão causada pela chuva. Portanto, é plausível inferir que com a intensificação ou alteração dos padrões de precipitação, há um potencial aumento na erosividade das chuvas. A escala de erosão da chuva, desenvolvida por Crepani et al, (1996 e 2004), ilustra como as mudanças climáticas podem impactar significativamente os processos morfodinâmicos.

Como referência aos valores de erosividade é importante salientar as classes de erosividade estabelecidas por Carvalho (2008). Esses valores de erosividade foram posteriormente modificados para o sistema métrico por Silva (2004) (Quadro,1).

Quadro 1 - Classes de erosividade para o índice anual de erosividade (R).

Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)	Classes de erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: CARVALHO (2008 apud SILVA, 2004) modificado para o sistema métrico.

Assim, conforme demonstrado na Tabela 8, os dados são referentes ao período anual, enquanto na Tabela 9 é apresentada uma modificação da categorização de Carvalho (2008) para análises mensais, com base na divisão por mês.

Quadro 2 - Índice mensal de erosividade (R).

Erosividade (MJ.mm/ha.h.mês)	Classes de erosividade
$R \leq 204$	Erosividade fraca
$204 < R \leq 409$	Erosividade moderada
$409 < R \leq 613$	Erosividade moderada a forte
$613 < R \leq 817$	Erosividade forte
$R > 817$	Erosividade muito forte

Fonte: adaptado de CARVALHO (2008)

3.5 Qualidade dos dados

A importância das estações meteorológicas é fundamental para a análise precisa dos eventos climáticos. O aumento da demanda por essas estações é reflexo da necessidade de obter dados climáticos confiáveis. O correto uso desses equipamentos é crucial para garantir a precisão dos dados coletados. Desse modo, os locais de instalação das estações meteorológicas têm importância crítica para a obtenção de resultados precisos. A credibilidade dos dados climáticos coletados depende diretamente das condições ambientais do local onde as estações estão situadas e do controle de qualidade. Nesse sentido, análises rigorosas são fundamentais nos pontos de instalações para garantir a confiabilidade das pesquisas que dependem desses dados climáticos. A ausência ou inadequação desses dados pode acarretar uma série de prejuízos significativos em diversas esferas, destacando a importância crítica de investimentos contínuos nessa infraestrutura. A ausência de dados meteorológicos não apenas impacta o cotidiano das pessoas, mas também gera sérias consequências em setores como agricultura, turismo e planejamento urbano. A incerteza resultante pode induzir a decisões equivocadas, ocasionando desperdício de recursos e potencialmente ameaçando a segurança das comunidades.

O Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – Iapar-Emater, criado pela Lei 20,121/19, resultou da fusão estratégica do Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), da Companhia de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná (Codapar) e do Centro Paranaense de Referência de Agroecologia (CPRA) pelo Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar). Sua principal missão é fornecer um

serviço integrado que abrange pesquisa e experimentação agrícola, assistência técnica e extensão rural, fomento no meio rural e promoção da agroecologia, disponibilizando dados meteorológicos para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias.

3.6 Série Temporal

Uma série temporal pode ser descrita como um agrupamento de observações sequenciais de uma determinada característica, definindo-se principalmente pela interdependência entre dados consecutivos. A classificação das séries temporais é realizada com base na natureza das observações, podendo ser contínuas ou discretas. No contexto contínuo, as observações são coletadas de forma ininterrupta ao longo do tempo, representadas por um conjunto $T = \{t : t_1 < t < t_2\}$, e a série é expressa como $\{X_t : t \in T\}$. Já no contexto discreto, as observações ocorrem em tempos distintos, geralmente igualmente espaçados, e são representadas pelo conjunto $\{X_t = t_1, t_2, \dots, t_n\}$. É importante salientar que os termos "contínuas" e "discretas" referem-se exclusivamente às características do processo de observação, não à variável em estudo, (CHATFIELD, 2016).

Nas séries temporais, é viável substituir a variável tempo por outra de interesse, proporcionando flexibilidade na análise. Por exemplo, é possível explorar a mudança do local de observação, passando de uma análise concentrada em um único ponto para uma avaliação em lugares diversos. Diferentemente do modelo de regressão linear, onde a ordem dos dados não é crucial, nas séries temporais, a disposição sequencial dos dados é essencial e desempenha um papel fundamental na análise de tendências. A ordem dos dados revela-se indispensável, conferindo total importância à sua consideração durante a análise de dados (EHLERS, 2009).

Normalmente, há diversos propósitos ao abordar o estudo ou análise de séries temporais, que abrangem desde a descrição das propriedades intrínsecas dessas séries, por meio de análises em sua estrutura, até a capacidade de explicar e antecipar valores futuros com base em registros passados. Considerando a inevitabilidade da incerteza no futuro, é razoável presumir que as previsões não alcançarão a perfeição, (MORETTIN; TOLOI, 2006).

3.7 Séries com Tendência

Conforme descrito por Fischer (1982), uma tendência em uma série temporal refere-se a uma alteração de longo prazo no nível médio da variável. Se assumirmos a ausência da componente sazonal, representada por S_t , a forma mais fundamental de uma série temporal com tendência pode ser delineada da seguinte maneira:

$$X_t = \alpha + \beta t + \epsilon_t \quad (2,2)$$

Onde:

- α e β são parâmetros a serem determinados;
- ϵ_t é o erro aleatório;

Quando as séries temporais incorporam a componente de tendência, há diversas razões para investigar seu comportamento. Entre elas, destaca-se a interpretação desse padrão para empregar em processos de previsão, assim como a necessidade de eliminar essa tendência para ressaltar outras características da série. Conseqüentemente, são aplicados métodos específicos para extrair a tendência, os quais, em sua essência, envolvem técnicas de regressão e ajuste exponencial dos dados.

Segundo Morettin e Tolo (2006) os métodos mais utilizados são:

- 1° Ajuste de função temporal como um polinômio, uma exponencial ou uma função suave qualquer;
- 2° Suavização dos valores da série temporal ao redor de um ponto específico, para obter a estimação da tendência no ponto estudado, denominado de processo de filtragem;
- 3° Suavização por meio de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados, técnica da regressão local conhecida como "lowess".

Nesse contexto, métodos específicos são aplicados para extrair e compreender essas tendências, utilizando técnicas como regressão e ajuste exponencial.

3.8 Testes para Tendência

O teste estatístico de Mann-Kendall, segundo a descrição de Sneyers (1975), caracteriza-se como um teste não paramétrico cuja hipótese nula postula a constância da série temporal. Nessa perspectiva, a suposição é de que os valores permaneçam constantes ao longo do tempo, sem variações significativas, mantendo a distribuição de probabilidade inalterada.

Para uma dada série temporal X_t , com n termos, é realizado a soma dos n termos m_i do conjunto de dados, como segue abaixo:

Posteriormente, sendo a hipótese nula (H_0) com ausência de tendência, assumindo a distribuição normal com média e variância:

O valor de Kendall Tau, também conhecido como coeficiente de concordância de Kendall, é uma medida estatística de correlação usado para avaliar a associação entre duas variáveis classificadas. Ele quantifica a concordância ou discordância entre as classificações das duas variáveis, independentemente dos valores exatos das classificações. O coeficiente de Kendall Tau varia de -1 a +1, onde:

- Se Tau for próximo de +1, indica uma forte concordância entre as classificações das duas variáveis;
- Se Tau for próximo de -1, indica uma forte discordância entre as classificações das duas variáveis;
- Se Tau for próximo de 0, indica uma ausência de associação linear entre as duas variáveis classificadas.

O valor de Kendall Tau é útil em situações em que os dados não seguem uma distribuição normal ou quando as relações entre as variáveis não são lineares. Ele é especialmente aplicável quando os dados são ordinais, ou seja, quando podem ser classificados ou ordenados, mas não necessariamente quantificados numericamente.

O valor de p de Kendall é uma medida estatística usada em conjunto com o coeficiente de concordância de Kendall (Tau) para determinar se a relação observada entre duas variáveis classificadas é estatisticamente significativa. O valor de p indica a probabilidade de observar uma associação tão forte (ou mais forte) entre as variáveis, assumindo que não haja associação real na população.

Se o valor de p for menor que um determinado nível de significância (geralmente 0,05), então há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula de que não há associação entre as variáveis, isso sugere que a associação observada entre as variáveis é improvável de ocorrer apenas por acaso. Por outro lado, se o valor de p for maior que o nível de significância escolhido, então não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, e conclui-se que não há uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis. Em resumo, o valor de p de Kendall ajuda a determinar se a relação entre as variáveis classificadas é estatisticamente significativa ou se ocorreu por acaso.

3.8.1 Estimador de Declive de Sen's Slope

Apesar do teste de Mann-Kendall permitir a detecção das tendências estatisticamente significativas, ele não fornece estimativas das magnitudes dessas tendências. Por esse motivo sua aplicação foi complementada por um estimador estatístico de tendência, designadamente, o Estimador de Declive de Sen.

O Estimador de Declive de Sen determina a magnitude de uma tendência em uma série temporal, ou seja, se uma tendência linear estiver presente em uma série temporal, então a inclinação é verdadeira III Encontro Nacional de Desastres (ISSN 2764-9040) 3 e pode ser estimada por este método. Esta técnica é um método de classificação alinhado com procedimentos que primeiro removem o efeito da sazonalidade de cada dado, em seguida então somam-se os pares de pontos em um conjunto de dados da série temporal e, finalmente, produzem uma estatística a partir dessas somas. As estimativas de inclinação de N pares de dados são calculadas através da equação:

$$Q_{Méd} = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{sendo, } i = 1, \dots, N$$

Em que:

X_j e X_k são os valores de dados temporais j e k ($j > k$), respectivamente, A mediana destes N valores de $Q_{Méd}$ é o estimador de inclinação de Sem.

Se houver apenas um dado em cada período, então $N = n(n-1)$, onde n é o número de períodos. Havendo múltiplas observações em um ou mais períodos, então $N < n(n-1)$, onde n é o número total de observações. Os valores de N de $Q_{Méd}$ são classificados de menor a maior e a mediana de inclinação ou estimador de declive de Sen é calculada como:

$$Q_{Méd} = Q_{\frac{[N+1]}{2}} \quad , \text{ Se } N \text{ é ímpar.}$$

$$Q_{Méd} = Q_{\frac{N/2}{2}} + Q_{\frac{[N+2]}{2}} \quad , \text{ Se } N \text{ é par.}$$

O sinal de $Q_{Méd}$ indica a tendência (crescente ou decrescente) dos dados, enquanto seu valor mostra a inclinação (magnitude) da tendência.

3.9 Testes de normalidade

A normalidade em testes estatísticos refere-se à distribuição simétrica dos dados em torno da média, conhecida como distribuição normal ou gaussiana. Ela é uma suposição comum em testes paramétricos como o teste t de Student e ANOVA, facilitando a interpretação dos resultados. No entanto, essa suposição nem sempre é estritamente necessária, especialmente em amostras grandes, Testes não paramétricos, como Mann-Whitney ou Wilcoxon, não exigem normalidade. Métodos como histogramas e gráficos quantil-quantil são usados para verificar a normalidade, assim como testes formais como o de Shapiro-Wilk. Caso os dados não sigam uma distribuição normal, é possível transformá-los ou optar por métodos estatísticos alternativos mais adequados.

Segundo Pereira e Cordeiro (2010), os testes de normalidade desempenham o papel de examinar se um conjunto de dados exibe um comportamento que se ajusta à normalidade ou se uma variável aleatória é adequadamente modelada por uma distribuição normal. Na análise de resíduos, esses testes são empregados para avaliar se esses resíduos seguem uma distribuição normal.

Um dos testes amplamente reconhecidos é o teste de Shapiro-Wilk, concebido em 1965. Este teste calcula uma estatística denominada W , que avalia se uma amostra de tamanho n possui uma distribuição normal.

Sendo o teste calculado por meio da equação:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x(i))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Onde:

a_i e x_i = são constantes geradas das médias, covariância e variância; $x(i)$ = são os valores amostrais.

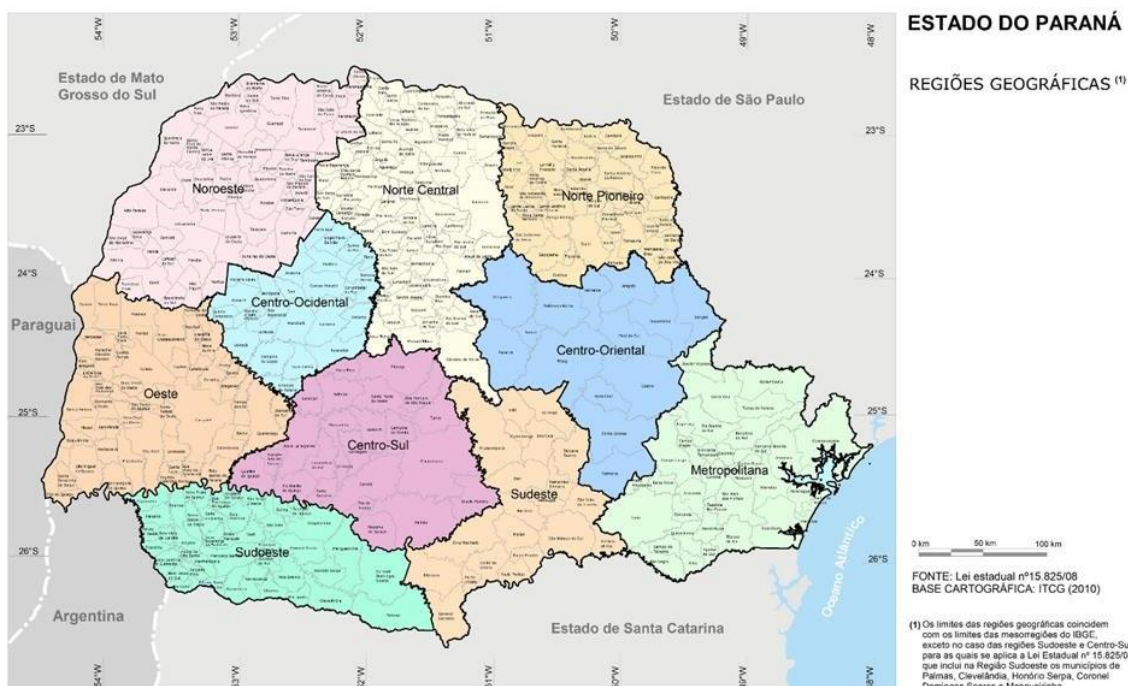
4 METODOLOGIA

4.1 Local da Coleta de Dados

Os dados meteorológicos de pluviosidade diária dos anos 1970 a 2022 de algumas regiões do Estado do Paraná foram coletados na sede do IAPAR Londrina, localizado na Rodovia Celso Garcia Cid, km 375 86047-902 Londrina – PR. Ensaios foram realizados no computador próprio por meio da programação computacional de linguagem e ambiente para estatística e gráficos R, que faz parte do Projeto GNU e está disponível como Software Livre sob os termos da "Licença Pública Geral do GNU" da Fundação do Software Livre na forma de código fonte.

Para realizar o ensaio, foram coletados dados diários do IAPAR em formato xlsx. Esses dados abrangeram a pluviosidade diária desde os anos 1970 até 2022, provenientes de 18 estações meteorológicas distribuídas em cinco regiões do Paraná. Após obtenção das variáveis meteorológicas, os dados das estações foram agrupados de acordo com as regiões do Paraná a que pertenciam, seguindo a divisão estabelecida pelo IBGE, conforme demonstrado no mapa a seguir:

Mapa divisão regional Paraná (IBGE, 2022)



Fonte: IBGE, 2022

Devido algumas regiões apresentarem apenas uma estação meteorológica para ser analisada, houve a necessidade de agrupar regiões vizinhas para facilitar a

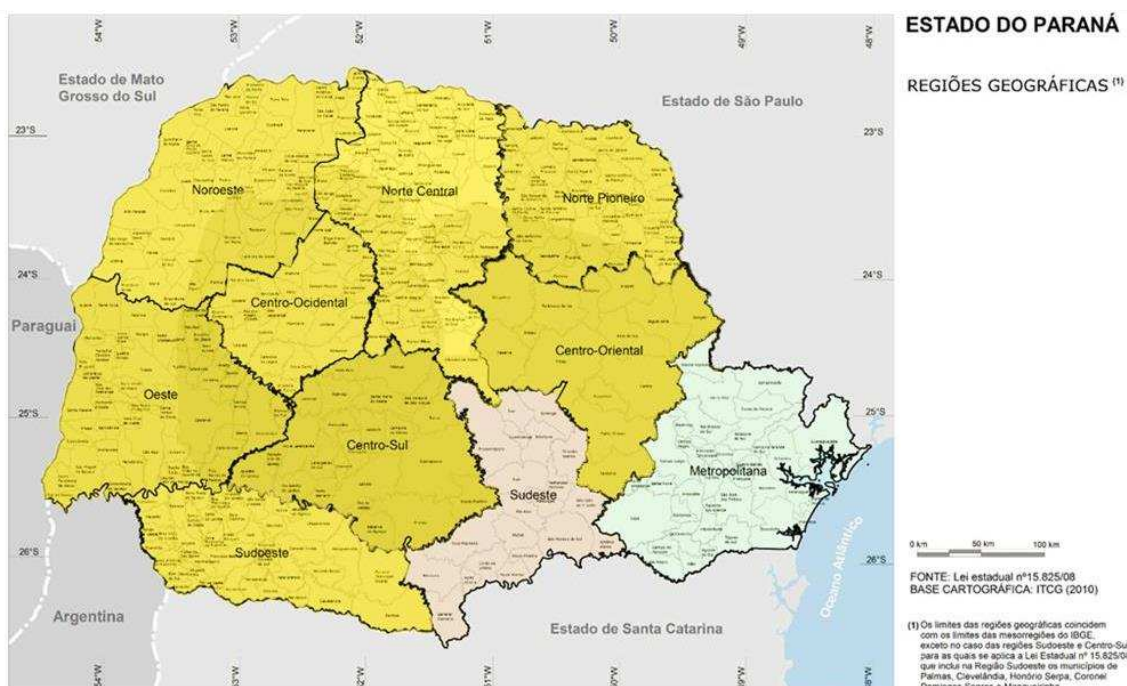
apresentação dos dados. Um exemplo disso ocorreu na região Norte Pioneira, onde a estação de Cambará foi incorporada à região Norte Central, sendo essas duas regiões representadas no trabalho como região Norte. Esta decisão se baseou no fato de que, de acordo com a divisão territorial do IBGE. Cambará é a única estação nessa região com dados que foram fornecidos pelo IAPAR para fins de estudo que poderia representar a região Norte Pioneira.

Outro caso semelhante ocorreu na região Centro-Oeste, onde a estação de Goioerê foi integrada à região Noroeste, sendo, portanto, essa região representativa das duas regiões. Essa decisão foi tomada devido ao fato de Goioerê ser a única estação na região Centro-Oeste, conforme estabelecido pela divisão territorial do IBGE, que possui informações relevantes fornecidas pelo IAPAR para estudos.

Além disso, houve a fusão da região Sudoeste abrangendo as estações de Pato Branco, Palma e Santo Antônio do Sudoeste com a região Centro-Sul que inclui as estações de Guarapuava e Cantagalo.

Ademais, na região Centro-Oriental, somente a estação de Ponta Grossa teve seus dados fornecidos pelo IAPAR, Da mesma forma, na região Centro-Occidental, apenas a estação de Campo Mourão foi disponibilizada para a análise dos dados. Diante dessa limitação, optou-se por agrupar essas duas regiões e designá-las como região Central, a fim de facilitar a avaliação do teste aplicado e proporcionar uma visualização mais abrangente dos resultados.

Mapa divisão regional Paraná (IBGE, 2022)

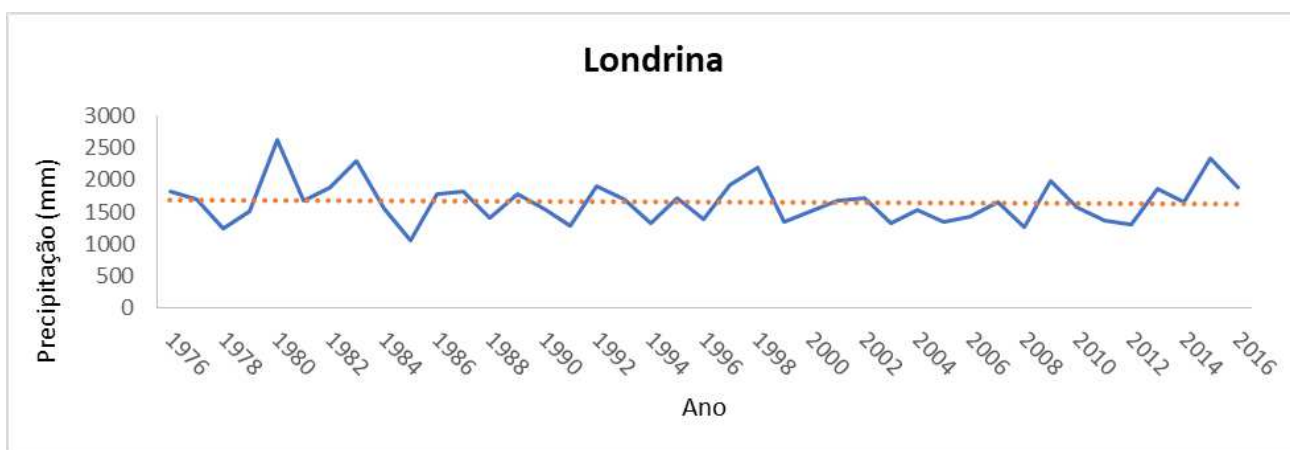


Fonte: Autoria própria (2023)

Seguindo o procedimento anterior, foi realizado uma filtragem para garantir uma sequência ininterrupta dos dados, o que é fundamental para gerar uma tendência significativa e confiável retirando lacunas na coleta das informações. Nesse processo, foram removidos os anos que apresentavam qualquer dia sem registro das variáveis meteorológicas. Em seguida, estabeleceu-se um critério para identificar a quantidade de dias de chuva por ano em cada estação para todos os anos avaliados no conjunto de dados de cada estação: qualquer registro igual ou superior a 0,1mm foi considerado como dia de chuva. Desta maneira, foi possível obter a distribuição dos dias de chuva ao longo dos anos para cada estação meteorológica em diferentes regiões do Paraná.

Para facilitar a visualização dos dados, foram gerados gráficos para cada estação meteorológica. Essa análise permitiu uma visualização sem resultados estatísticos com significância, mas que ajudam a visualizar o comportamento do padrão meteorológico, conforme mostrado na figura abaixo, sendo o presente gráfico, um exemplo do mesmo estudo realizado pelas demais estações meteorológicas.

Gráfico 1 - Intensidade pluviométrica anual da cidade de Londrina

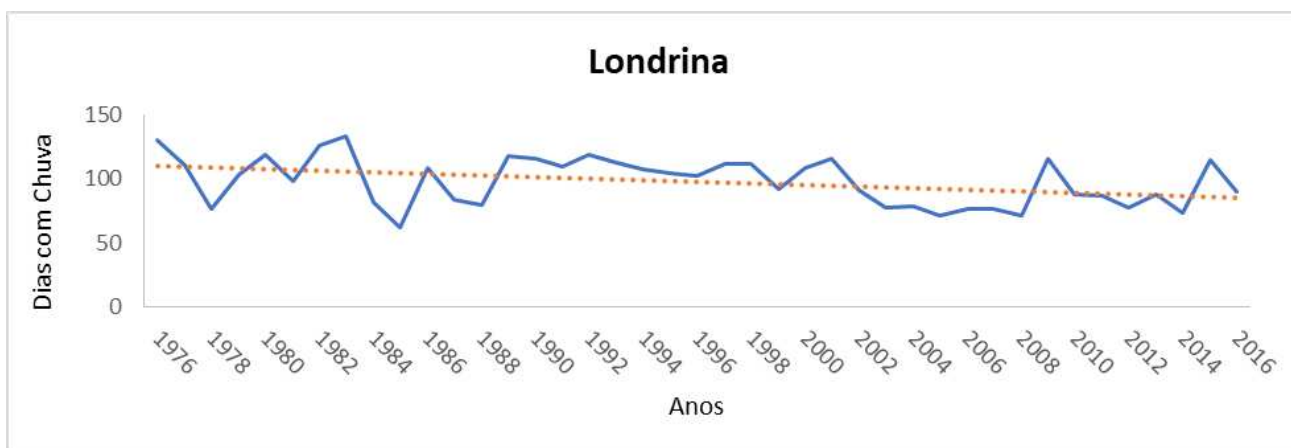


Fonte: Autoria própria (2023)

Em seguida, procedeu-se à soma da quantidade de precipitação em mm, para cada ano filtrado nas estações, com o objetivo de avaliar se a intensidade da chuva apresentava uma tendência positiva ou negativa ao longo dos anos. Esta análise possibilitou a elaboração de um gráfico ilustrativo do padrão meteorológico, embora os resultados não apresentem significância estatística, ele auxilia na visualização do

comportamento das variáveis. Abaixo, na figura, está um exemplo deste gráfico, representando o mesmo estudo realizado pelas outras estações meteorológicas.

Gráfico 2 - Quantidade anual de dias com chuva na cidade de Londrina



Fonte: Autoria própria (2023)

Feito deste modo, foi possível criar a seguinte tabela, apresentando a divisão geográfica de cada estação e o período dos dados selecionados, já após a filtragem realizada.

Tabela 3 - Divisão Geográfica de cada Estação e período de dados

Região Norte (Pioneiro e Central)	CAMBARÁ	1974 - 2016
	CAMBÉ	1976 - 2010
	FLORAI	1976 - 2015
	IVAIPORA	1970 - 2020
	LONDRINA	1970 - 2016 2018 - 2021
	MARINGÁ	1970 - 2020
Região Noroeste	GOIRERÊ	1970 - 2017
	PÉROLA	1977 - 2014 2016 - 2021
	SANTA IZABEL	1970 - 2015
	TAPIRA	1976 - 2021
	UMUARAMA	1977 - 2021
	XAMBRÊ	1970 - 2017

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 3 - Divisão Geográfica de cada Estação e período de dados

Região Oeste	CORBELIA	1977 - 2009
	CATANDUVAS	1973 - 2018
	FOZ DO IGUAÇU	1973 - 2009
	MATELANDIA	1970 - 2020
	MEDIANEIRA	1970 - 2009
	SÃO MIGUEL	1977 - 2020
Região Sul (Sudoeste e Centro-Sul)	PALMAS	1970 - 2020
	PATO BRANCO	1970 - 2020
	SANTO ANTONIO	1970 - 2014
	CANTAGALO	1977 - 2015
	GUARAPUAVA	1970 - 2015
Região Central (Ocidental e Oriental)	CAMPO MOURÃO	1970 - 2020
Região Central (Ocidental e Oriental)	PONTA GROSSA	1976 – 2017 2019 - 2020

Fonte: Autoria própria (2023)

Desta forma, foi dado prosseguimento ao tratamento dos dados no qual foi aplicado o Softwer R para obter análise de tendencias das variáveis por meio do método de Men Kendall.

Após análise através do software, os dados foram classificados de acordo com cada região selecionada. Dessa forma, foi viabilizada a análise da situação de cada região e a descrição do comportamento da tendência em relação a cada estação meteorológica analisada, tanto para as tendências positivas quanto negativas nos padrões de dias com chuva ao longo dos anos de cada estação, bem como para as tendências positivas ou negativas na análise da precipitação anual de cada estação ao longo do tempo.

5 RESULTADOS

5.1 Dias de Chuva

A análise de tendências utilizando o método de Mann-Kendall-Sen revelou uma redução consistente no número de dias com chuva nas estações meteorológicas de todas as regiões examinadas.

No Norte (Pioneiro e Central), as estações de Florai e Londrina mostraram uma diminuição estatisticamente significativa no número anual de dias de chuva. Florai registrou uma redução de -0,620 dias de chuva por ano, enquanto Londrina apresentou uma diminuição de -0,812 dias de chuva por ano. Em contraste, a estação de Ivaiporã demonstrou uma tendência estatística de aumento de 0,477 dias de chuva por ano.

Na região Noroeste, observou-se uma tendência de redução nos dias de chuva por ano nas estações de Santa Isabel (-0,619), Tapira (-0,688) e Xambrê (-0,929). No Oeste, as estações de Corbélia (-0,667) e São Miguel (-0,475) também evidenciaram uma tendência de diminuição no número de dias de chuva por ano. No entanto, a estação de Medianeira registrou um aumento significativo de 1.444 dias de chuva por ano, sendo a estação com a maior intensidade registrada em todas as regiões analisadas no teste estatístico.

No Sul, a tendência de redução foi observada apenas na estação de Guarapuava, apresentando uma diminuição de -1,429 dias de chuva por ano. Por outro lado, na estação de Pato Branco, houve uma tendência de aumento de 0,710 dias de chuva por ano. Por fim, na região Central, foi confirmada uma diminuição estatisticamente significativa de -0,556 dias de chuva por ano na estação de Campo Mourão.

Tabela 4 - Resultado de tendência estatística de dias de chuvas anuais

ESTAÇÃO	NORMALIDADE	KENDALL Tau	KENDALL P Valor	SEN Estimativa	SEN P Valor
REGIÃO NORTE (PIONEIRO E CENTRAL)					
CAMBARÁ	0,74269	-0,09306	0,39009	-0,14286	0,39009
CAMBÉ	0,17476	-0,22993	0,05504	-0,83333	0,05504
FLORAI	0,04131	-0,31649	0,00458	-0,61987	0,00458
IVAIPORÃ	0,67490	0,21898	0,02486	0,47727	0,02486
LONDRINA	0,06410	-0,34063	0,00108	-0,81187	0,00108
MARINGÁ	0,00021	0,09201	0,36428	0,12452	0,36428
REGIÃO NOROESTE					
GOIRERE	0,33611	-0,00268	0,98581	0,00000	0,98581
PÉROLA	2,742e-05	-0,13149	0,21953	-0,21584	0,21953
SANTA IZABEL	6,272-03	-0,24806	0,01610	-0,61905	0,01610
TAPIRA	0,16441	-0,30643	0,00293	-0,68750	0,00293
UMUARAMA	0,02168	0,12054	0,25174	0,20871	0,25174
XAMBRÊ	0,03067	-0,62195	6,635e-10	-0,92857	6,635e-10
REGIÃO OESTE					
CATANDUVAS	0,02007	-0,03083	0,81574	0,00000	0,81574
CORBÉLIA	0,18285	-0,29724	0,00386	-0,66667	0,00386
FOZ DO IGUAÇU	0,00977	0,16453	0,15753	0,60357	0,15753
MATELANDIA	0,03001	-0,02863	0,77588	-0,02778	0,77588
MEDIANEIRA	0,00589	0,43154	0,00010	1,44444	0,00010
SÃO MIGUEL	0,14030	-0,27628	0,00900	-0,47494	0,00900
REGIÃO SUL (SUDOESTE E CENTRO-SUL)					
PALMAS	0,85218	-0,10436	0,29159	-0,18181	0,29159
PATO BRANCO	0,31205	0,33101	0,00075	0,70968	0,00075
SANTO ANTONIO	0,91904	0,08740	0,40539	0,34891	0,40539
GUARAPUAVA	0,40319	-0,38119	0,00020	-1,42857	0,00020
CANTAGALO	0,12706	0,11949	0,29226	0,28571	0,29226
REGIÃO CENTRAL (OCIDENTAL E ORIENTAL)					
CAMPO MOURÃO	0,00019	-0,28878	0,00308	-0,55556	0,00308
PONTA GROSSA	0,03061	0,08863	0,40633	0,14286	0,40633

Fonte: Autoria própria (2024)

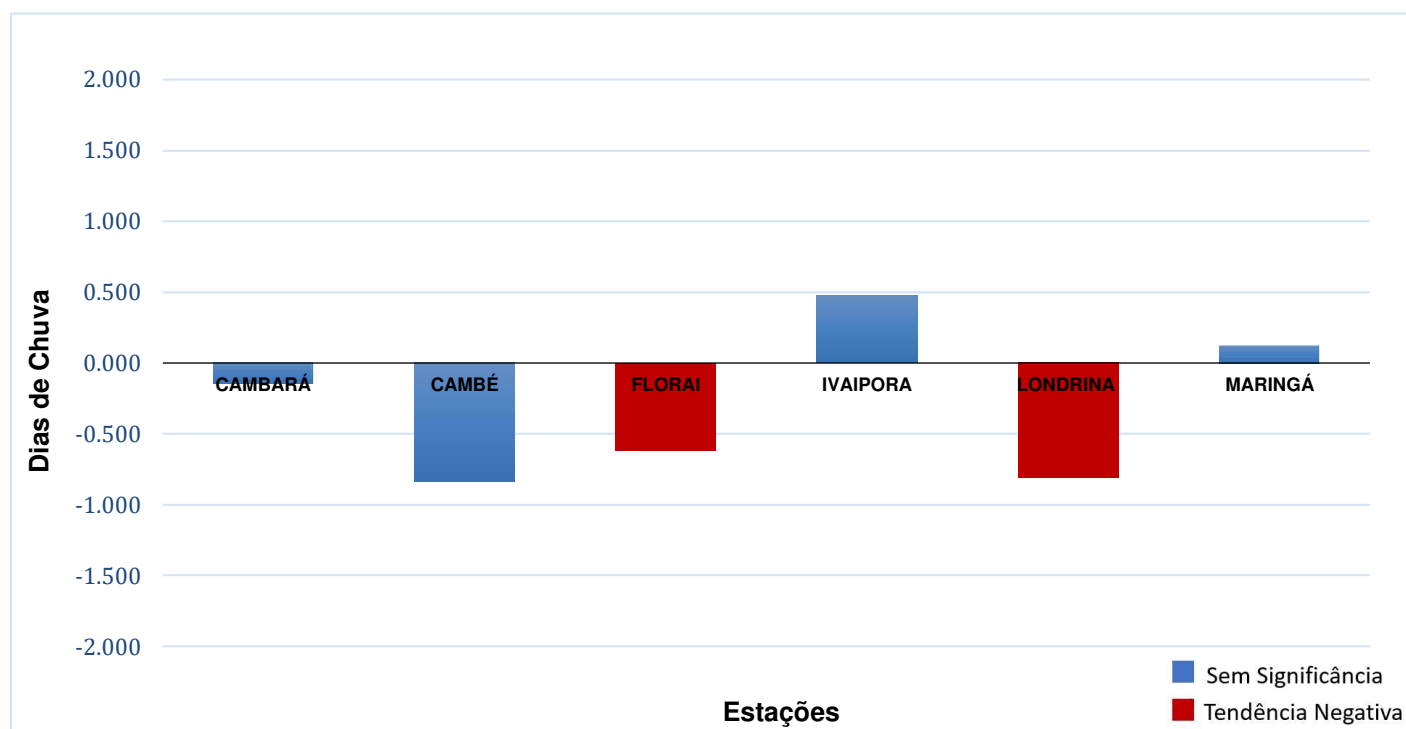
Após a obtenção dos dados estatísticos através do teste de Mann-Kendall, foram selecionadas as colunas contendo dados significativos, ou seja, aqueles com uma significância menor que 0,005. Esses dados indicam tendências significativas, tanto positivas quanto negativas. Uma tendência positiva denota um aumento na quantidade de dias de chuva ao longo do tempo, enquanto uma tendência negativa indica uma diminuição. Isso é determinado com base no histórico de anos coletados.

Com base nessas análises, foram criados gráficos individuais para cada região onde as estações meteorológicas foram avaliadas. Esses gráficos visam representar visualmente os dados de forma a facilitar a compreensão dos estudos aplicados. As figuras a seguir mostram os gráficos de cada região.

5.1.1 Avaliação das Regiões Norte (Central Pioneira)

Nestas regiões, as estações meteorológicas de Londrina, Cambé, Cambará e Floraí evidenciaram uma tendência negativa, indicando uma redução no número de dias de chuva ao longo do tempo. Contudo, em uma análise mais aprofundada, apenas Londrina e Floraí exibem significância estatística, confirmando que essa tendência é estatisticamente confiável ($p < 0,005$). Por outro lado, Cambé e Cambará não demonstram significância estatística. As estações de Maringá e Ivaiporã mostram tendências positivas, embora não atinjam significância estatística. Assim, a análise revelou que apenas na região Norte Central houve uma mudança estatisticamente significativa na quantidade de dias de chuva por ano, conforme evidenciado pelas estações meteorológicas de Londrina, que registraram uma redução de aproximadamente 0,812 dias de chuva por ano, e Floraí, que registrou uma diminuição de cerca de 0,620 dias de chuva por ano.

Gráfico 1 - Região Norte (Pioneiro e Central)

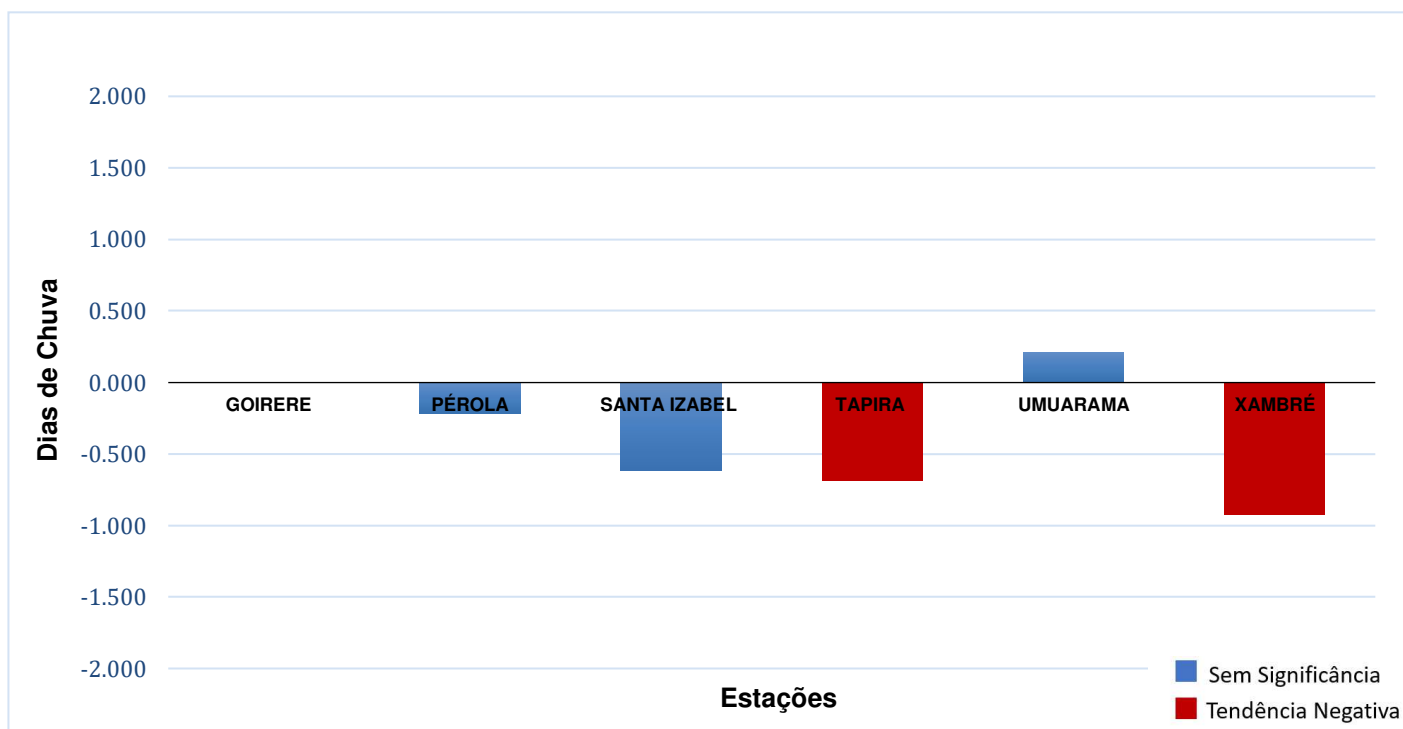


Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.2 Avaliação da Região Noroeste

Na região Noroeste, os registros das estações meteorológicas de Pérola, Santa Izabel, Tapira e Xambrê indicaram uma tendência negativa, apontando para uma redução no número de dias de chuva ao longo do tempo. Entretanto, uma análise mais aprofundada revela que apenas Tapira e Xambrê apresentam uma tendência estatisticamente significativa, confirmando que essa diminuição é estatisticamente confiável ($p < 0,005$). Por outro lado, Pérola e Santa Izabel não demonstram uma significância estatística clara. A estação de Goirerê demonstra uma tendência neutra, embora não atinja significância estatística. Desta forma, a análise revelou que houve uma mudança estatisticamente significativa na quantidade de dias de chuva por ano em duas estações meteorológicas desta região, com tendências negativas observadas em Tapira (-0,68750 dias de chuva por ano) e Xambrê (-0,92857 dias de chuva por ano).

Gráfico 2 - Região Noroeste

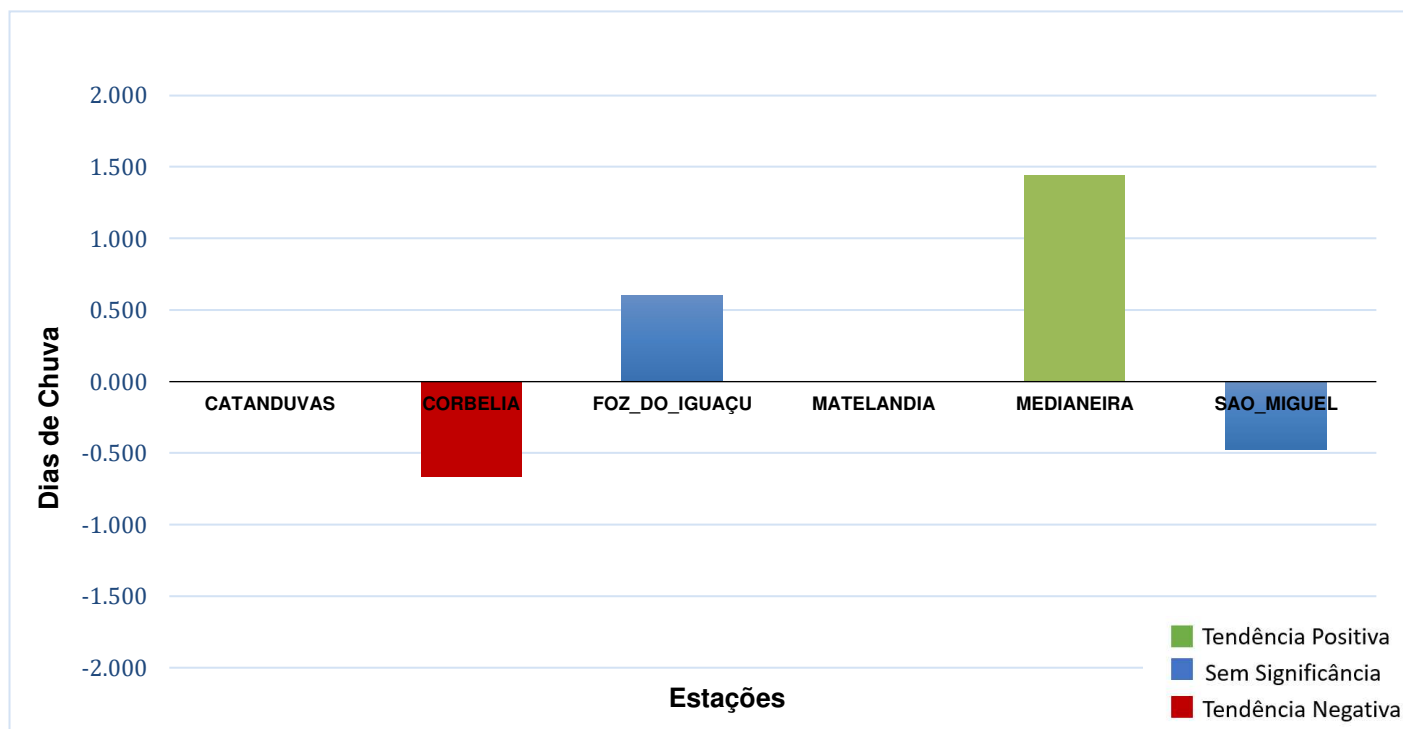


Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.3 Avaliação da Região Oeste

Na região Oeste, os dados das estações meteorológicas de Corbélia, Matelândia e São Miguel apontam para uma tendência negativa, sugerindo uma redução no número de dias de chuva ao longo do tempo. No entanto, uma análise mais detalhada revela que apenas Corbélia apresenta uma tendência estatisticamente significativa, confirmando a confiabilidade estatística dessa diminuição ($p < 0,005$). Por outro lado, Matelândia e São Miguel não demonstram uma significância estatística clara. Quanto à estação de Catanduvras, há uma tendência neutra, embora não alcance significância estatística. Assim, a análise revelou que houve uma mudança estatisticamente significativa na quantidade anual de dias de chuva apenas na estação de Corbélia, localizada na Região Oeste, com uma tendência negativa de -0,667 dias de chuva por ano.

Gráfico 3 - Região Oeste

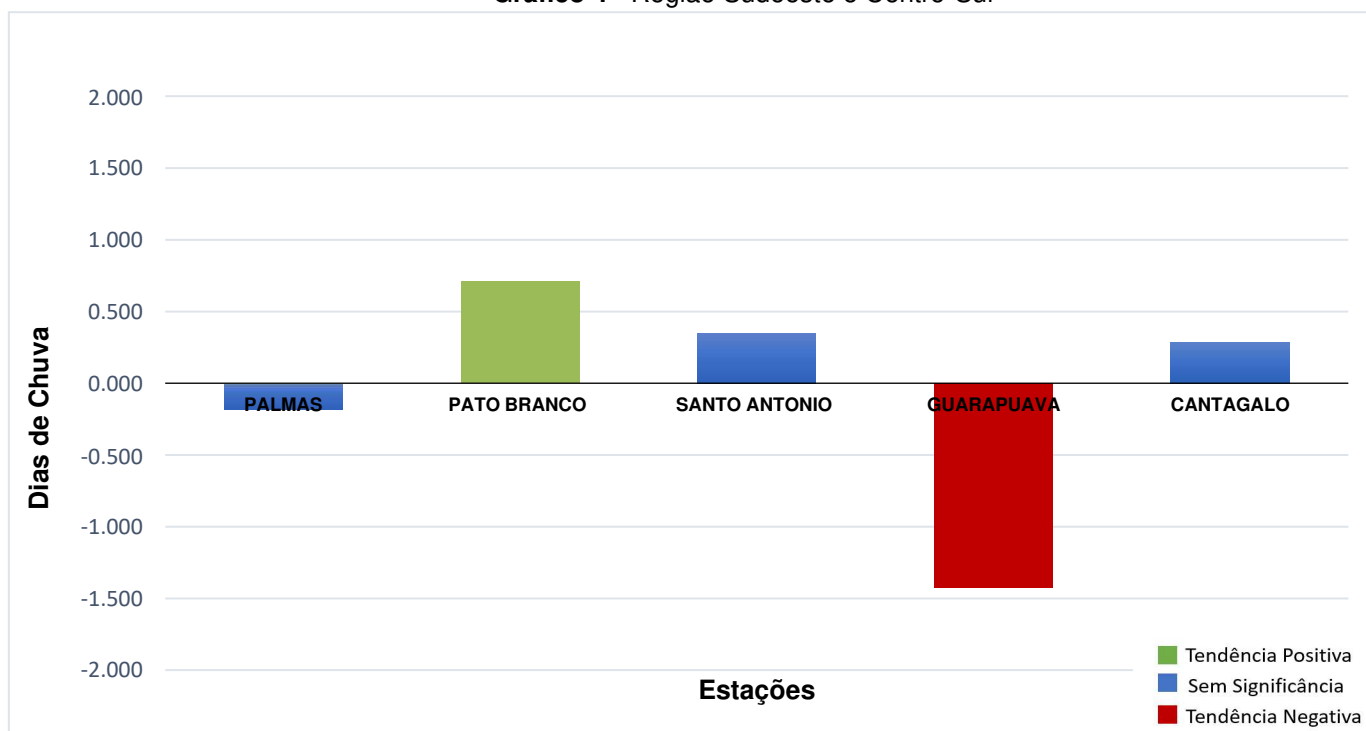


Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.4 Avaliação Sul (Sudoeste e Centro-Sul)

Na região Sul que abrange as regiões Sudoeste e Centro-Sul, os dados das estações meteorológicas de Guarapuava e Palmas, apontam para uma tendência negativa, aferindo uma redução no número de dias de chuva ao longo do tempo. No entanto, sob a esfera analítica os dados revelam que apenas Guarapuava (Região Centro Sul) com -1,429 dias de chuva por ano apresentou uma tendência estatisticamente significativa, confirmando a confiabilidade estatística dessa diminuição ($p < 0,005$). Por outro lado, Cantagalo, Santo Antônio e Pato Branco demonstram uma tendência positiva sugerindo um aumento no número de dias de chuva ao longo do tempo, embora apenas Pato Branco (Região Sudoeste) 0,710 dias de chuva por ano, alcançou significância estatística. Assim, foi confirmada uma alteração estatística nos dias de chuva durante o ano nessas regiões, com uma diminuição observada na estação de Guarapuava e um aumento registrado na estação de Pato Branco.

Gráfico 4 - Região Sudoeste e Centro-Sul



Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.5 Avaliação Central (Ocidental e Oriental)

Na região Central que abrange as regiões Centro Oriental e Centro Ocidental, os dados das estações meteorológicas de Campo Mourão apontou uma tendência negativa, aferindo uma redução no número de dias de chuva ao longo do tempo. O que foi confirmado sob a esfera analítica na qual a estação de Campo Mourão (Região Centro Ocidental) apresentou -0,556 dias de chuva por ano.

Por outro lado, a estação de Ponta Grossa demonstrou uma tendência positiva sugerindo um aumento no número de dias de chuva ao longo do tempo, embora quando aplicado a análise estatística a estação não apresentou significância estatística. Deste modo, foi confirmada apenas na região Centro Ocidental, por meio da estação de Campo Mourão, uma alteração estatística nos dias de chuva ao longo do ano, com uma diminuição de -0,556 dias de chuva por ano.

Gráfico 5 - Região Centro Ocidental e Centro Oriental.

Fonte: Autoria própria (2024)

5.2 Intensidade Pluviométrica

Após a obtenção dos dados estatísticos através do teste de Mann-Kendall, foram selecionadas as colunas contendo dados significativos, ou seja, aqueles que apresentam uma tendência em relação à série histórica avaliada, esses dados podem indicar tendências significativas, tanto positivas quanto negativas. Uma tendência positiva denota um aumento na quantidade de milímetros de chuva ao longo do tempo, enquanto uma tendência negativa indica uma diminuição. Frente a essas análises, foram criados gráficos individuais para cada região onde as estações meteorológicas foram avaliadas. Esses gráficos visam representar visualmente os dados de forma a facilitar a compreensão dos estudos aplicados. As figuras a seguir mostram os gráficos de cada região.

Tabela 5 - Resultado estatístico em relação a intensidade pluviométrica anual.

ESTAÇÃO	NORMALIDADE	KENDALL TAU	KENDALL P VALOR	SEN ESTIMATIVA	SEN P VALOR
REGIÃO NORTE (PIONEIRO E CENTRAL)					
CAMBARÁ	0,81763	-0,09191	0,39080	-3,54286	0,39080
CAMBÉ	0,42284	-0,10588	0,37859	-3,66667	0,37859
FLORAI	0,04585	0,07569	0,49916	2,62917	0,49916
IVAIPORÃ	0,002549	0,01177	0,90946	0,56400	0,90946
LONDRINA	0,18849	-0,16675	0,10863	-6,83147	0,10863
MARINGÁ	0,00432	0,18085	0,07119	7,04487	0,07119
REGIÃO NOROESTE					
GOIRERE	0,13501	0,07624	0,44996	1,89777	0,44996
PÉROLA	0,42039	0,08392	0,46589	3,23928	0,46589
SANTA IZABEL	0,03199	0,12657	0,21837	2,83429	0,21838
TAPIRA	0,05946	0,05120	0,62247	1,17000	0,62247
UMUARAMA	0,05813	-0,00606	0,96098	-0,24313	0,96098
XAMBRÊ	0,03688	-0,10284	0,30672	-2,46076	0,30672
REGIÃO OESTE					
CATANDUVAS	0,80433	0,06818	0,58761	5,87609	0,58761
CORBÉLIA	0,57547	-0,00097	1,00000	-0,03333	1,00000
FOZ DO IGUAÇU	0,03939	0,13514	0,24442	7,57500	0,24442
MATELANDIA	0,59967	0,02431	0,80749	0,92500	0,80749
MEDIANEIRA	0,56163	0,00513	0,97212	0,22768	0,97212
SÃO MIGUEL	0,43447	-0,08879	0,40120	-3,18191	0,40120
REGIÃO SUL (SUDOESTE CENTRO-SUL)					
PALMAS	0,61847	0,01714	0,86714	0,57778	0,86714
PATO BRANCO	0,17947	-0,00571	0,95997	-0,50645	0,95997
SANTO ANTONIO	0,04998	0,17980	0,08337	9,38269	0,08337
GUARAPUAVA	0,07918	-0,14594	0,13293	-3,49333	0,13293
CANTAGALO	0,10277	-0,07422	0,51361	-4,57500	0,51361

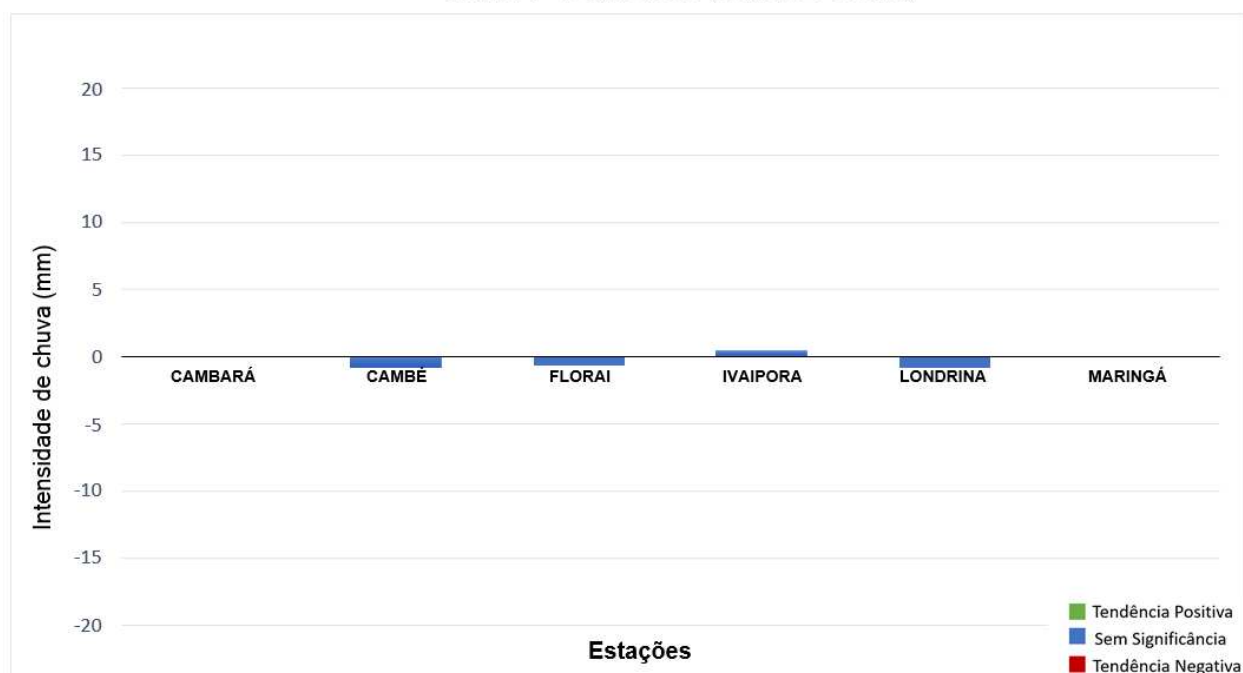
ESTAÇÃO	NORMALIDADE	KENDALL TAU	KENDALL P VALOR	SEN ESTIMATIVA	SEN P VALOR
REGIÃO CENTRAL (OCIDENTAL E ORIENTAL)					
CAMPO MOURÃO	0,07918	-0,14594	0,13293	-0,34933	0,13293
PONTA GROSSA	0,87927	0,19027	0,07022	6,19045	0,07022

Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.1 Avaliação das Regiões Norte (Central e Pioneira)

Na região Norte do Paraná, as estações meteorológicas registraram mudanças insignificantes na quantidade de chuva. Nas estações de Londrina, Cambé e Cambará, observou-se uma tendência negativa, indicando uma possível redução na precipitação anual. No entanto, uma análise detalhada através do teste de Mann-Kendall revelou que esses dados não possuem significância estatística ($p > 0,005$), tornando a tendência estatisticamente não confiável. Por outro lado, Floráí, Ivaiporã e Maringá mostraram uma tendência positiva na quantidade de chuva, embora também não tenham alcançado significância estatística. Assim, foi confirmado que não houve alteração estatística na intensidade pluviométrica em nenhuma das estações analisadas nessa região.

Gráfico 6 - Região Norte (Pioneiro e Central)



Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.2 Avaliação da Região Noroeste

Na região Noroeste do Paraná, as estações meteorológicas detectaram variações pouco relevantes na quantidade de chuva. Em Umuarama e Xambê, houve uma tendência negativa, sugerindo uma possível diminuição anual na precipitação. Entretanto, o teste de Mann-Kendall revelou que esses resultados não são estatisticamente significativos ($p > 0,005$), o que significa que essa tendência não pode ser considerada estatisticamente confiável. Em relação as estações de Goirerê, Pérola, Santa Izabel e Tapira, as tendências foram positivas na quantidade de chuva, no entanto, também não alcançaram significância estatística. Dessa forma, foi confirmado que não houve variação estatisticamente significativa na intensidade pluviométrica em nenhuma das estações analisadas nessa região.

Gráfico 7 - Região Noroeste



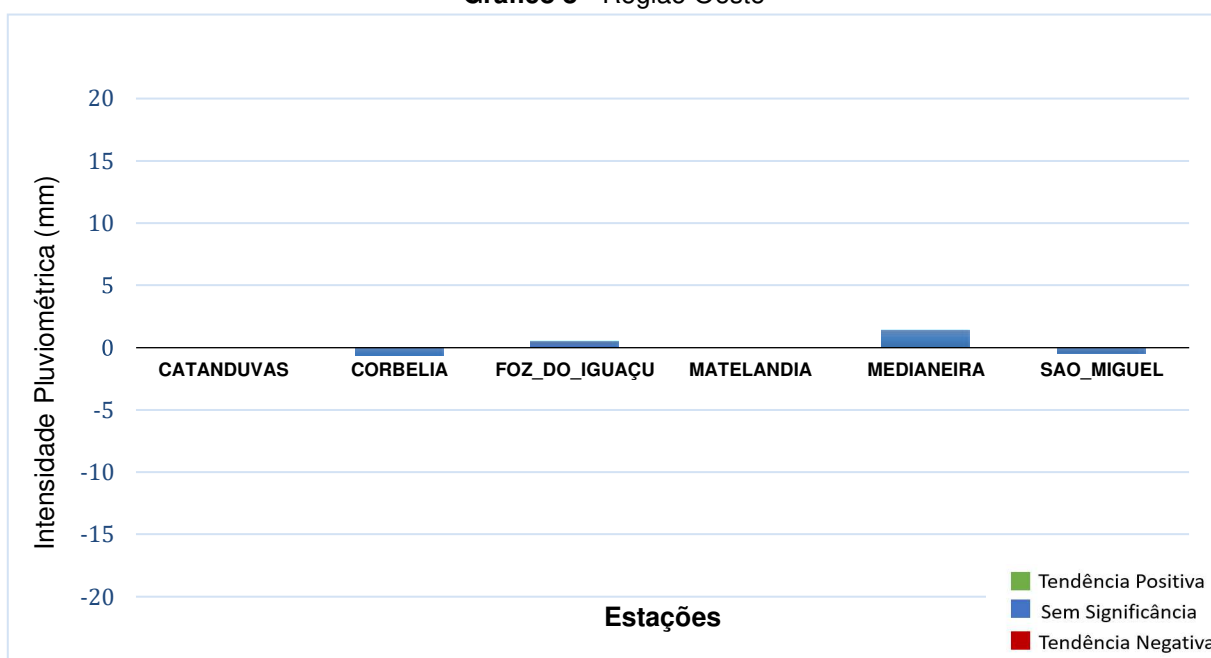
Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.3 Avaliação da Região Oeste

Na região Oeste, a análise dos dados das estações meteorológicas utilizando o teste de Mann-Kendall revelou que nenhuma delas demonstra uma tendência estatisticamente significativa ($p > 0,005$), o que indica que essa tendência não pode ser considerada estatisticamente confiável. Corbélia e São Miguel apresentam uma

tendência negativa, sugerindo uma possível redução na quantidade de chuva anual, enquanto Catanduvas, Foz do Iguaçu, Matelândia e Medianeira mostram uma tendência positiva. Assim, a análise revelou que não houve mudança estatisticamente significativa na intensidade pluviométrica nas estações localizadas na Região Oeste.

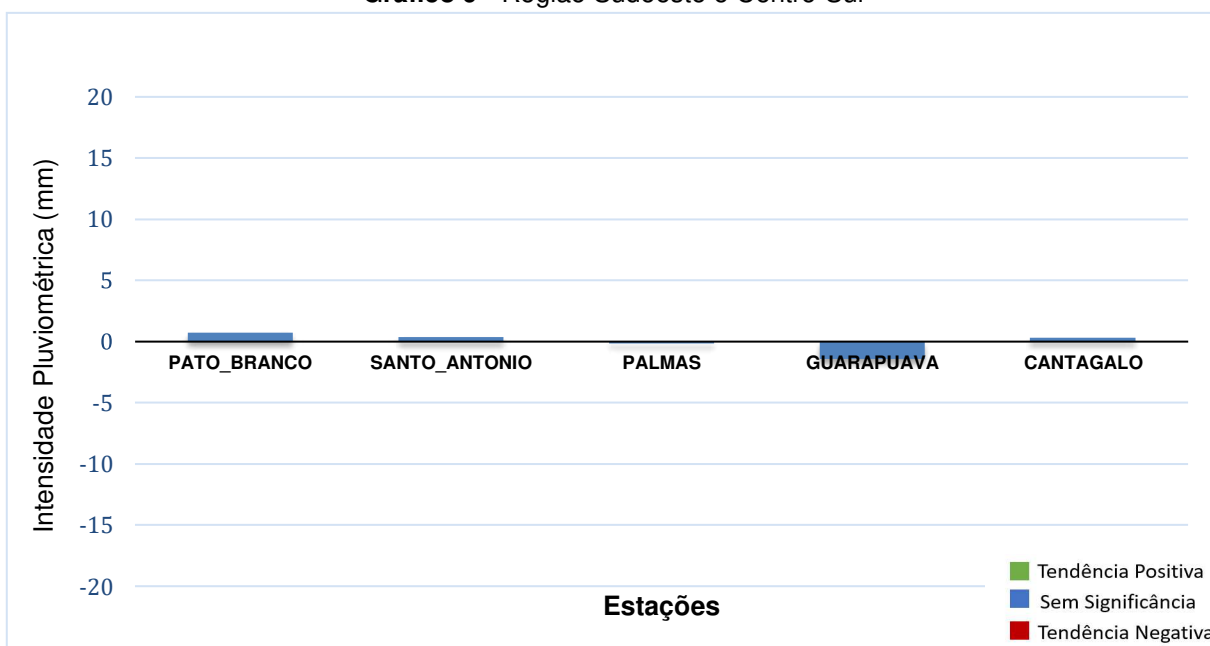
Gráfico 8 - Região Oeste



Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.4 Avaliação da Região Sul (Sudoeste e Centro-Sul)

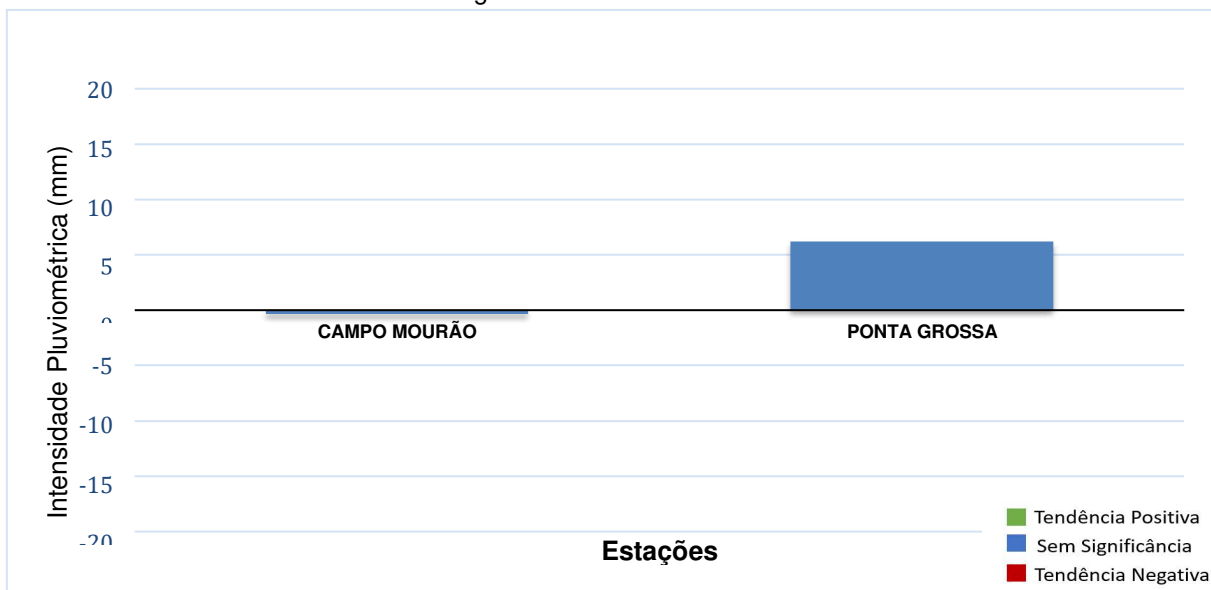
Na região Sul, que engloba as áreas Sudoeste e Centro-Sul, a análise dos dados das estações meteorológicas através do teste de Mann-Kendall, assim como nas demais regiões, revelou que nenhuma estação apresenta uma tendência estatisticamente significativa ($p > 0,005$), confirmando que as tendências identificadas não podem ser consideradas estatisticamente confiáveis, Pato Branco, Guarapuava e Cantagalo mostraram uma tendência negativa, enquanto que Campo Mourão, Palmas e Santo Antônio exibiram tendências positivas. Assim, a análise revelou que não houve mudança estatisticamente significativa na intensidade pluviométrica nas estações que abrangem as Regiões Sudoeste e Centro-Sul, definidas como a Região Sul

Gráfico 9 - Região Sudoeste e Centro-Sul

Fonte: Autoria própria (2024)

5.2.5 Avaliação Central (Ocidental e Oriental)

Na região central, os dados das estações meteorológicas de Campo Mourão indicaram uma tendência negativa de apenas 0,349 mm, sugerindo uma redução na intensidade pluviométrica ao longo do tempo. No entanto, a análise estatística não confirmou a significância dessa tendência. Por outro lado, a estação de Ponta Grossa mostrou uma tendência de aumento de 6,190 mm por ano, mas essa também não foi estatisticamente significativa. Assim, foi comprovado que, na região Central, que abrange as regiões Centro Oriental e Centro Ocidental, não houve alteração estatisticamente significativa na intensidade pluviométrica.

Gráfico 10 - Região Centro Ocidental e Centro Oriental

Fonte: Autoria própria (2024)

6. CONCLUSÃO

A análise de tendências utilizando o método de Mann-Kendall-Sen revelou uma redução consistente no número de dias com chuva nas estações meteorológicas de todas as regiões examinadas.

No Norte, somente a região Norte Central, nas estações de Florai e Londrina apresentou uma diminuição estatisticamente significativa no número anual de dias de chuva. Florai registrou uma redução de -0,620 dias de chuva por ano, enquanto Londrina demonstrou uma diminuição de -0,812 dias de chuva por ano. Em contraste, a estação de Ivaiporã demonstrou uma tendência estatística de aumento de 0,477 dias de chuva por ano.

Na região Noroeste, houve uma tendência de redução nos dias de chuva por ano nas estações de Santa Isabel, Tapira e Xambrê, com valores de -0,619, -0,688 e -0,929, respectivamente. No Oeste, as estações de Corbélia e São Miguel também mostraram uma tendência de diminuição no número de dias de chuva por ano, registrando -0,667 e -0,475, respectivamente. No entanto, a estação de Medianeira destacou-se com um aumento significativo de 1,444 dias de chuva por ano, sendo a estação com a maior quantidade registrada em todas as regiões analisadas no teste estatístico.

No Sul do Estado, a tendência de redução foi observada apenas na estação de Guarapuava que pertence a região Sudoeste, apresentando uma diminuição de -1,429 dias de chuva por ano. Por outro lado, na estação de Pato Branco, ocorreu uma tendência de aumento de 0,710 dias de chuva por ano. Por fim, na região Central, foi confirmada uma diminuição estatisticamente significativa de -0,556 dias de chuva por ano na estação de Campo Mourão.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, C.; TUCCI, E.M. (2001). “Precipitação”, in Hidrologia, Ciência e Aplicação, ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS. 2ª ed.
- CABRAL, João Batista Pereira; BECEGATO, Valter Antonio; SCOPEL, Iraci; LUCENA, Leandson Roberto F. de. INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA E VULNERABILIDADE À EROÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO DE CACHOEIRA DOURADA-GO/MG.
- CASTRO, N.M.; CHEVALIER, P.; GOLDENFUN, J. (2000). Projeto Potiribu, atualização 1989- 1998 Dados Básicos de Fuvimetria e Pluviometria. UFRGS-IPH.
- CHAGAS, Priscilla Borgonhoni; ICHIKAWA, Elisa Yoshie. Redes de C&T em institutos públicos de pesquisa brasileiros: o caso do Instituto Agrônômico do Paraná (Iapar). SciELO, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/SFCsLfb3vqQCvKZzr7KVHSK/?format=html&lang=pt#>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- CHEVALLIER, P. (2001). “Aquisição e Processamento de Dados”, in Hidrologia, Ciência e Aplicação, ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS. 2ª ed.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos. SAE/INPE. 2001.
- FREITAS FILHO, A. de et al. O modelo institucional da pesquisa agropecuária do Ministério da Agricultura: fundamentos e razões. Brasília, DF: Embrapa, 1986. 35 p.
- MIOTO, S.; SILVEIRA, H. ANÁLISE SAZONAL DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA NO ALTO CURSO DO RIO PIRAPÓ-PR A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 20, n. 69, p. 484–501, 2019. DOI: 10.14393/RCG206941714. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/41714>. Acesso em: 13 abr. 2024.
- RIBEIRO, R. Reestruturação da pesquisa agropecuária pública: evolução recente e perspectivas. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, DF, v. 16, n. 1, p. 133-165, jan./abr. 1999.
- SOUZA, Werônica Meira; AZEVEDO, Pedro Vieira de; ARAÚJO, Lincoln Eloi de. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 250–268, 2012. DOI: 10.26848/rbgf.v5i2.232788. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232788>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- TERASSI, P. M. de B., Oliveira Júnior, J. F., Galvani, E., & Gois, G. de. (2018). Frequência e Intensidade Pluviométrica na Região Norte do Estado do Paraná, Brasil. Revista Do Departamento De Geografia, 35, 121-133. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.134610>. Acesso em: 13 jan. 2024.

TERASSI, P. M. de B.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C. H. da. INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA E A EROSIVIDADE NA UNIDADE HIDROGRÁFICA PIRAPÓ, PARANAPANEMA III E IV, ESTADO DO PARANÁ. Caminhos de

Geografia, Uberlândia, v. 17, n. 59, p. 84–102, 2016. DOI: 10.14393/RCG175906. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/31692>. Acesso em: 13 abr. 2024

PALMEIRA, A.F. - Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas à gestão do território do Município de Paragominas (Estado do Pará). São José dos Campos: 260 p. INPE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.