

TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E ALTERAÇÕES NO REGIME PLUVIOMÉTRICO DA SUB-BACIA 25 NO BIOMA CERRADO

Roberta Bitencourt dos Santos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Bolsista da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA).

Glauber Epifanio Loureiro⁽²⁾

Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Civil. Docente da Universidade do Estado do Pará (UEPA).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Hiléia, s/nº, Agrópolis do INCRA, Amapá - Marabá - Pará - CEP: 68502-100- Brasil - Tel: +55 (91) 992714369 - e-mail: robertabitencourt@outlook.com

RESUMO

O presente estudo analisou as tendências climáticas da sub-bacia 25 no bioma Cerrado, com base em dados pluviométricos de 1988 a 2017. Utilizando os testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall, Sen's Slope, Pettitt e o teste de sazonalidade de Mann-Kendall, foi possível identificar uma tendência de redução significativa na precipitação anual em 70% das estações analisadas, com uma média de declínio de 12 mm/ano. O teste de Pettitt indicou a ocorrência de mudanças abruptas, principalmente após 2002, possivelmente relacionadas a eventos climáticos como El Niño e La Niña. Já a sazonalidade mostrou-se enfraquecida, embora ainda presente em algumas localidades. Os resultados evidenciam os impactos das mudanças climáticas no regime hídrico da região, com implicações diretas para a agricultura, a disponibilidade de água e a conservação da biodiversidade. Diante disso, recomenda-se a implementação de políticas públicas voltadas à adaptação climática e ao uso sustentável dos recursos naturais da sub-bacia 25.

PALAVRAS-CHAVE: Regime climático, Alterações climáticas, Sazonalidade.

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado, uma das maiores savanas tropicais do mundo, é reconhecido por sua rica biodiversidade e importância hídrica. Contudo, as mudanças climáticas globais vêm alterando significativamente os padrões hidrológicos e meteorológicos dessa região, impactando diretamente a sustentabilidade ambiental e econômica (Ciência e Cultura, 2023).

A sub-bacia 25, localizada no Cerrado, apresenta características hidrográficas estratégicas para o abastecimento de água, agricultura e preservação da biodiversidade. Contudo, estudos recentes indicam uma intensificação de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas concentradas, em resposta ao aquecimento global e à influência de eventos climáticos globais como El Niño e La Niña.

Além das alterações provocadas pelas mudanças climáticas globais, é essencial compreender o comportamento sazonal da precipitação e suas tendências ao longo do tempo. A sazonalidade se refere à repetição cíclica de padrões em determinados períodos do ano, como os meses mais chuvosos e secos, que são característicos de regiões com estações bem definidas. A análise da sazonalidade é fundamental para entender como os regimes de precipitação têm respondido a variações climáticas e à influência de fenômenos como o El Niño e a La Niña.

Para investigar esses padrões, foram aplicados métodos estatísticos não paramétricos, amplamente utilizados em estudos hidrológicos e climáticos. O teste de Mann-Kendall permite identificar tendências monotônicas (crescentes ou decrescentes) em séries temporais, sem a necessidade de que os dados sigam uma distribuição normal (Karmeshu, 2012). Já o Sen's Slope (ou estimador de Sen) complementa essa análise ao calcular a inclinação da tendência, indicando a velocidade com que a variável estudada está aumentando ou diminuindo ao longo do tempo. Por sua vez, o teste de Pettitt é eficaz na detecção de mudanças abruptas, revelando pontos de transição significativos na série de dados (Pettitt, 1979).

Também foi empregado o teste de sazonalidade de Mann-Kendall, que amplia a análise tradicional ao considerar variações intra-anuais, tornando possível verificar se há tendências significativas associadas a determinadas épocas do ano. A utilização combinada dessas ferramentas fornece uma análise robusta da

dinâmica pluviométrica da região, contribuindo para diagnósticos mais precisos sobre os impactos das mudanças climáticas no Cerrado.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar tendências de precipitação e mudanças abruptas nos padrões climáticos da sub-bacia 25, utilizando métodos estatísticos robustos como Mann-Kendall, Sen's Slope e o teste de Pettitt. Este estudo busca fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas que promovam o manejo sustentável e a adaptação às mudanças climáticas.

De forma complementar, pretende-se analisar a presença de tendências significativas por meio do teste de Mann-Kendall, estimar a magnitude dessas tendências com o uso do estimador de Sen's Slope, detectar possíveis pontos de ruptura nas séries temporais a partir do teste de Pettitt, e avaliar a existência de padrões sazonais com o teste de sazonalidade de Mann-Kendall. Esses procedimentos permitem uma leitura abrangente da variabilidade climática, contribuindo para o entendimento das transformações ambientais que impactam a dinâmica hidrológica regional.

MATERIAIS

Área de Estudo

A sub-bacia 25 está localizada no bioma Cerrado, uma região de transição climática com estações bem definidas e precipitação média anual entre 1.200 mm e 1.800 mm. A vegetação predominante é o Cerrado típico, com áreas de transição para formações florestais. Foram utilizados dados de precipitação coletados ao longo de 30 anos (1988–2017) por 15 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), georreferenciadas dentro da sub-bacia. A Figura 1 ilustra a distribuição espacial dessas estações, essencial para garantir a representatividade dos dados.

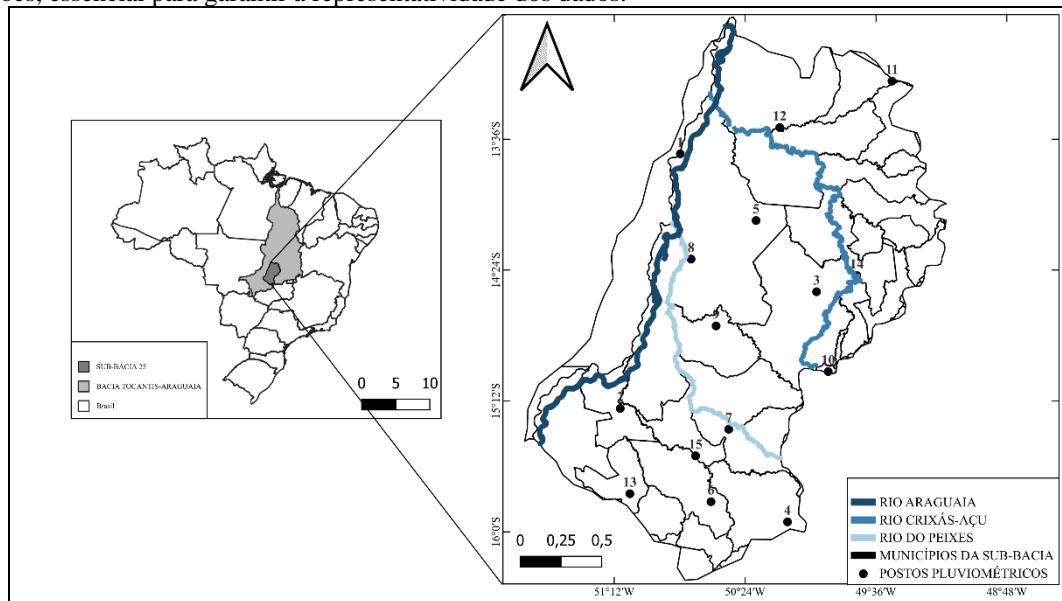


Figura 1: Localização dos postos pluviométricos na sub-bacia hidrográfica 25.
Fonte: Autores, 2024.

Dados e Pré-processamento

Os dados pluviométricos foram submetidos a controle de qualidade para identificar e corrigir falhas, como valores ausentes ou inconsistentes. Para garantir a continuidade das séries temporais, foram utilizados métodos de interpolação espacial, complementados por sete estações externas à sub-bacia, selecionadas por sua proximidade e consistência histórica. Esse procedimento minimizou lacunas sem introduzir viés significativo nos resultados. Na tabela 1, é mostrado os postos pluviométricos internos e externos utilizadas no estudo.

Tabela 1: Relação dos postos pluviométricos internos (1 a 15) e externos (16 a 22).

Fonte: Autores, 2024.

Nº	Código	Postos Pluviométricos	Municípios	UF	Latitude (S)	Longitude (W)
1	1350000	Bandeirantes	Novo Cixás	GO	-13,6894	-50,7961
2	1551000	Britânia	Britânia	GO	-15,2461	-51,1633
3	1449003	Crixas	Crixas	GO	-14,5325	-49,9628
4	83374	Goiás	Goiás	GO	-15,91	-50,13
5	1450002	Governador Leônino	Nova Crixás	GO	-14,0972	-50,3328
6	1550000	Itapirapua	Itapirapuã	GO	-15,8158	-50,6086
7	1550001	Jeroaquara	Faina	GO	-15,3731	-50,5
8	1450000	Lagoa da Flexa	Nova Crixás	GO	-14,3328	-50,7303
9	1450001	Morzelândia	Mozarlândia	GO	-14,7414	-50,5772
10	1549004	Nova América	Nova América	GO	-15,0206	-49,8917
11	1349001	Novo Planalto	Novo Planalto	GO	-13,2447	-49,5017
12	1350001	Rio Pintado	São Miguel do Araguaia	GO	-13,5286	-50,1881
13	1551003	Santa Fé	Santa Fé de Goiás	GO	-15,7672	-51,1044
14	1449002	Santa Terezinha	Santa Terezinha de Goiás	GO	-14,4336	-49,7167
15	1550002	Travessão	Matrinchã	GO	-15,5356	-50,7028
16	1249001	Araguaçu	Araguaçu	TO	-12,9311	-49,8294
17	1348000	Campinaçu	Campinaçu	GO	-13,79	-48,57
18	1650001	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro	GO	-16,2983	-50,5567
19	1349000	Estrela do Norte	Estrela do Norte	GO	-13,8725	-49,0714
20	1552006	Pindaíba	Barra do Garças	MT	-15,0356	-52,2375
21	1250001	Santo Antônio do Leverger	Novo Santo Antônio	MT	-12,2903	-50,9656
22	1351000	Trecho Médio	Cocalinho	MT	-14,0881	-51,6989

Métodos Estatísticos

Foram aplicados três testes não paramétricos para análise de tendências e mudanças no regime pluviométrico:

1. Teste de Mann-Kendall: Avaliou a presença de tendências monotônicas (crescentes ou decrescentes) nas séries anuais de precipitação. O teste calcula a estatística *S e o tau de Kendall, com significância determinada pelo p-valor ($\alpha = 0,05$). Resultados com $p < 0,05$ indicam tendências significativas.
2. Estimador de Sen (Sen's Slope): Quantificou a magnitude das tendências identificadas, expressa em mm/ano. Esse método é robusto a outliers e não assume distribuição normal dos dados.
3. Teste de Pettitt: Detectou pontos de mudança abrupta nas séries temporais, identificando anos em que o regime pluviométrico sofreu alterações significativas. O teste retorna um *p-valor para avaliar a significância da ruptura.

Análise de Sazonalidade

O teste de sazonalidade de Mann-Kendall foi aplicado para verificar padrões cíclicos intra-anuais. Esse método avalia se há tendências significativas associadas a meses ou estações específicas, utilizando a mesma abordagem não paramétrica do teste tradicional, mas segmentando os dados por períodos sazonais.

Ferramentas Utilizadas

As análises foram realizadas no software XLSTAT (versão 2024.2), que oferece ferramentas especializadas para testes não paramétricos. Os mapas temáticos foram gerados no software Golden Software Surfer® 17, utilizando as coordenadas geográficas das estações e os resultados p-valor dos testes para representação espacial das tendências.

Representação Visual dos Resultados

Os mapas temáticos gerados para as análises estatísticas (Mann-Kendall, Pettitt e Sazonalidade) seguem uma escala de cores contínua, padronizada para facilitar a interpretação dos resultados espaciais. A escala varia de 0 a 0,8 (ou 0 a 1), representando os valores de p-valor, sendo que valores mais próximos de 0 indicam maior significância estatística. Essa escala é representada visualmente por um gradiente de cor, partindo de tons frios como o azul ou roxo ($p < 0,01$ - altamente significativo) até tons quentes como o vermelho ($p > 0,05$ - não significativo).

Para uniformizar a leitura, foi adotada a seguinte convenção de cores para todos os mapas, como demonstra a figura 2.

Faixa de p-valor	Cores		Significado
$0.00 \leq p \leq 0.01$	Roxo	Azul	Altamente Significativo
$0.01 < p \leq 0.05$	Verde	Amarelo	Significativo
$p > 0.05$	Laranja	Vermelho	Não Significativo

Figura 2: Interpretação das cores nos mapas temáticos com base no *p*-valor.
Fonte: Autores, 2024.

Essa padronização cromática permite uma interpretação espacial consistente das análises estatísticas, facilitando a identificação das áreas com maior significância estatística. Embora os testes aplicados avaliem aspectos distintos da série temporal, como tendência monotônica (Mann-Kendall), mudanças abruptas (Pettitt) e padrões sazonais (Mann-Kendall Sazonal), a manutenção de uma mesma escala de cores baseada no *p*-valor contribui para a uniformidade visual entre os mapas.

Dessa forma, mesmo sem a necessidade de consultar legendas específicas, o leitor pode inferir que tonalidades frias (azul e roxo) correspondem a regiões com alta significância estatística ($p \leq 0,01$), enquanto tonalidades quentes (vermelho, laranja) indicam baixa significância ($p > 0,05$), independentemente do teste representado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio dos testes estatísticos não paramétricos permitiram identificar padrões relevantes de variabilidade climática na sub-bacia 25, com destaque para a presença de tendências negativas de precipitação, pontos de ruptura ao longo da série histórica e sazonalidades significativas em algumas localidades.

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Mann-Kendall aplicado às séries anuais de precipitação. Observa-se que 70% das estações indicaram tendência negativa, ainda que nem todas com significância estatística ($p < 0,05$). Estações como Goiás ($p = 0,026$) e Lagoa da Flecha ($p = 0,056$, limítrofe) se destacaram com indícios relevantes de declínio pluviométrico. Esses dados sugerem um padrão regional de redução nas chuvas ao longo do período de 1988 a 2017, refletindo o avanço de eventos extremos e a alteração nos padrões de distribuição das precipitações.

Tabela 2- Resultados do teste de Mann-Kendall aplicado às séries anuais de precipitação.
Fonte: Autores, 2024.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	TAU DE KENDALL	S	Var(S)	p-valor (bilateral)	alfa
BANDEIRANTES	-0,066	-4103	5123161	0,07	0,05
BRITÂNIA	-0,035	-2224	5136073	0,327	0,05
CRIXAS	-0,04	-2496	5099336	0,269	0,05
GOIÁS	-0,086	-408	33208,6	0,026	0,05
GOVERNADOR LEÔNINO	-0,067	-4141	5068561	0,066	0,05
ITAPIRAPUA	-0,036	-2293	5138881	0,312	0,05
JEROAQUARA	-0,034	-2156	5108567	0,34	0,05
LAGOA DA FLECHA	-0,069	-4303	5077210	0,056	0,05
MOZARLÂNDIA	-0,041	-2562	5118203	0,258	0,05
NOVA AMÉRICA	-0,038	-2413	5116372	0,286	0,05
NOVO PLANALTO	-0,065	-4082	5102157	0,071	0,05
RIO PINTADO	-0,041	-2580	5079961	0,253	0,05
SANTA FÉ	-0,011	-697	5090411	0,758	0,05
SANTA TEREZINHA DE GOIÁS	-0,05	-3162	510648	0,162	0,05
TRAVESSÃO	-0,023	-1431	513645	0,528	0,05
MÉDIAS	-0,0468	-2603	4769002	0,252133333	0,05

A seguir, a Figura 3 representa a espacialização das médias de p-valor do teste de Mann-Kendall. Os tons azulados e arroxeados evidenciam áreas com significância estatística elevada ($p \leq 0,05$), sugerindo que as regiões centrais e setentrionais da sub-bacia estão entre as mais afetadas por tendências de redução pluviométrica. Essa visualização corrobora os achados estatísticos e reforça a hipótese de que os impactos das mudanças climáticas no Cerrado já se manifestam em padrões regionais de perda de regularidade hídrica.

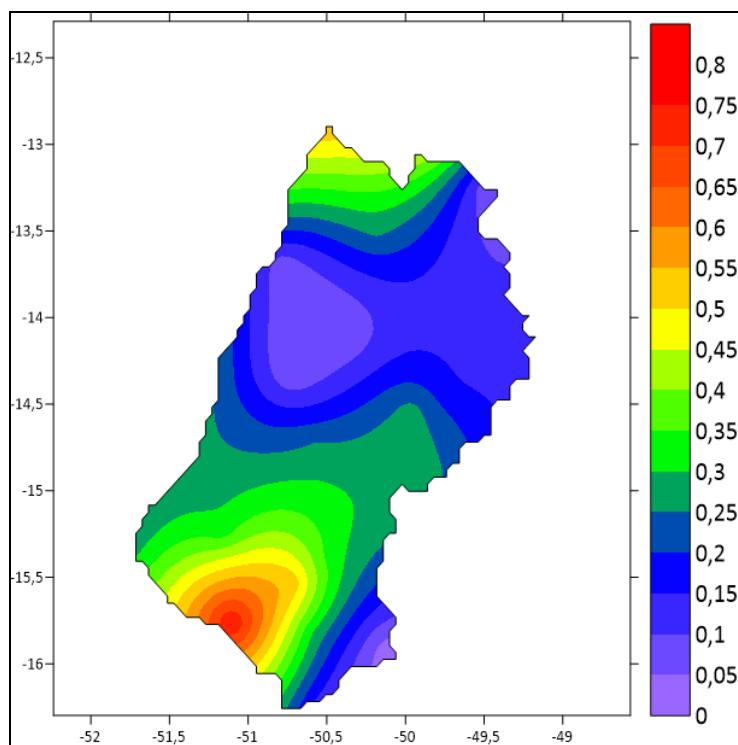


Figura 3: Mapa de interpolação utilizando a média p-valor do teste de Mann-Kendall.
Fonte: Autores, 2024.

Estimador de Sen (Sen's Slope)

A aplicação do estimador de Sen permitiu quantificar, de forma robusta, a magnitude das tendências de precipitação observadas nas séries temporais. A redução média de 12 mm por ano é particularmente preocupante, pois sinaliza um processo contínuo de perda hídrica que, acumulado ao longo das décadas, compromete a resiliência hídrica da sub-bacia 25. Essa taxa de declínio, quando comparada com outros estudos em regiões do Cerrado, mostra-se compatível com a intensificação de eventos extremos e o deslocamento do regime de chuvas para períodos mais curtos e concentrados.

Além disso, a distribuição espacial da inclinação das tendências revelou que as maiores taxas negativas ocorrem nas porções centrais e meridionais da sub-bacia. Essas áreas coincidem, em grande parte, com regiões de maior atividade agropecuária, sugerindo uma possível associação entre o uso intensivo do solo e a diminuição da precipitação. Embora o Sen's Slope não indique causas, a correlação espacial observada é um indicativo relevante para futuras investigações que integrem variáveis climáticas, de uso da terra e cobertura vegetal.

A importância desse método reside também na sua capacidade de evitar distorções causadas por valores extremos, tornando-o especialmente adequado para séries ambientais que apresentam forte variabilidade. Assim, o Sen's Slope se destaca como uma ferramenta fundamental para o diagnóstico da velocidade das transformações climáticas, contribuindo para a definição de cenários e estratégias de adaptação.

Teste de Pettitt

A Tabela 3, referente ao teste de Pettitt, indica que a maioria das estações não apresentou mudanças abruptas significativas ($p > 0,05$). No entanto, algumas estações como Novo Planalto e Bandeirantes apresentaram p -valores abaixo de 0,40, sugerindo possíveis transições no regime pluviométrico ao longo do tempo. A média dos resultados aponta para a ocorrência de quebras nos padrões históricos de precipitação em pontos localizados, ainda que sem generalização estatística em toda a sub-bacia.

Tabela 3- Resultados do teste de Pettitt para identificação de mudanças abruptas.

Fonte: Autores, 2024.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	K	t	p-valor (bilateral)	alfa
BANDEIRANTES	4124	39142	0,389	0,05
BRITÂNIA	3012	37681	0,903	0,05
CRIXAS	2502	34759	0,477	0,05
GOIÁS	2995	40969	0,89	0,05
GOVERNADOR LEÔNINO	3636	39142	0,607	0,05
ITAPIRAPUA	2808	38078	0,726	0,05
JEROAQUARA	2791	37316	0,702	0,05
LAGOA DA FLECHA	4017	37316	0,422	0,05
MOZARLÂNDIA	3076	41730	0,938	0,05
NOVA AMÉRICA	2999	35521	0,886	0,05
NOVO PLANALTO	4130	39173	0,396	0,05
RIO PINTADO	2563	40238	0,519	0,05
SANTA FÉ	2052	36220	0,161	0,05
SANTA TEREZINHA DE GOIÁS	3040	39539	0,918	0,05
TRAVESSÃO	2038	38808	0,148	0,05
MÉDIAS	3052,2	38375	0,605466667	0,05

Essa tendência é reforçada pela Figura 4, onde os tons amarelos representam as estações com sazonalidade significativa ($p \leq 0,05$), enquanto as áreas em preto demonstram ausência de padrões cíclicos detectáveis. A leitura conjunta da figura com os dados da tabela evidencia que os ciclos sazonais de precipitação estão enfraquecidos em boa parte da sub-bacia, mas ainda presentes em pontos específicos, o que pode ter implicações importantes para práticas agrícolas e previsão de disponibilidade hídrica.

Essa tendência é reforçada pela Figura 4, onde os tons amarelos representam as estações com sazonalidade significativa ($p \leq 0,05$), enquanto as áreas em preto demonstram ausência de padrões cíclicos detectáveis. A

leitura conjunta da figura com os dados da tabela evidencia que os ciclos sazonais de precipitação estão enfraquecidos em boa parte da sub-bacia, mas ainda presentes em pontos específicos, o que pode ter implicações importantes para práticas agrícolas e previsão de disponibilidade hídrica.

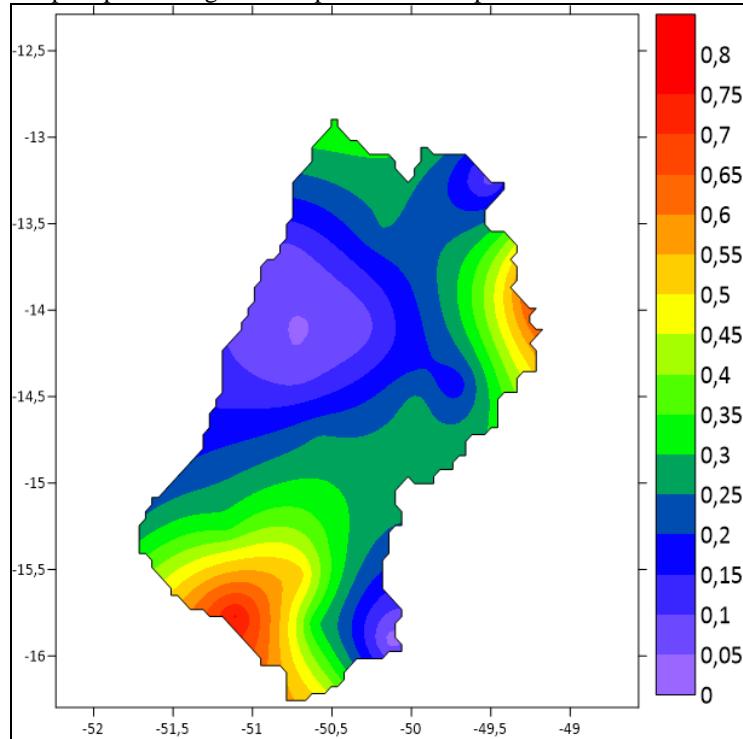


Figura 4: Mapa de interpolação utilizando a média *p*-valor do teste de Pettitt.

Fonte: Autores, 2024.

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de sazonalidade de Mann-Kendall. Embora a média do *p*-valor ($\approx 0,10$) não aponte para uma sazonalidade amplamente significativa, estações como Nova América ($p = 0,007$), Lagoa da Flecha ($p = 0,001$) e Novo Planalto ($p = 0,002$) revelam persistência de padrões intra-anuais. Esses resultados indicam que, apesar da variabilidade climática crescente, certos ciclos sazonais ainda se mantêm, especialmente nos períodos secos.

Teste de Sazonalidade

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de sazonalidade de Mann-Kendall. Embora a média do *p*-valor ($\approx 0,10$) não aponte para uma sazonalidade amplamente significativa, estações como Nova América ($p = 0,007$), Lagoa da Flecha ($p = 0,001$) e Novo Planalto ($p = 0,002$) revelam persistência de padrões intra-anuais. Esses resultados indicam que, apesar da variabilidade climática crescente, certos ciclos sazonais ainda se mantêm, especialmente nos períodos secos.

Tabela 4- Resultados do teste de sazonalidade de Mann-Kendall.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	Tau de Kendall	S'	Var(S')	p-valor (bilateral)	alfa
BANDEIRANTES	-0,072	-346	33963	0,061	0,05
BRITÂNIA	-0,075	-357	33479	0,052	0,05
CRIXAS	-0,055	-253	32519	0,162	0,05
GOIÁS	-0,039	-2463	51400	0,278	0,05
GOVERNADOR LEÔNINO	-0,105	-461	29878	0,008	0,05
ITAPIRAPUA	-0,055	-259	32691	0,154	0,05
JEROAQUARA	-0,079	-360	31398	0,043	0,05
LAGOA DA FLECHA	-0,134	-594	30271	0,001	0,05
MOZARLÂNDIA	-0,057	-259	31285	0,145	0,05
NOVA AMÉRICA	-0,106	-471	30379	0,007	0,05
NOVO PLANALTO	-0,124	-555	30722	0,002	0,05
RIO PINTADO	-0,086	-372	29202	0,03	0,05
SANTA FÉ	-0,055	-244	30430	0,164	0,05
SANTA TEREZINHA DE GOIÁS	-0,109	-481	30205	0,006	0,05
TRAVESSÃO	-0,033	-152	32570	0,403	0,05
MÉDIAS	-0,078933333	508,5	371936	0,101066667	0,05

Essa tendência é reforçada pela Figura 5, onde os tons amarelos representam as estações com sazonalidade significativa ($p \leq 0,05$), enquanto as áreas em preto demonstram ausência de padrões cílicos detectáveis. A leitura conjunta da figura com os dados da tabela evidencia que os ciclos sazonais de precipitação estão enfraquecidos em boa parte da sub-bacia, mas ainda presentes em pontos específicos, o que pode ter implicações importantes para práticas agrícolas e previsão de disponibilidade hídrica.

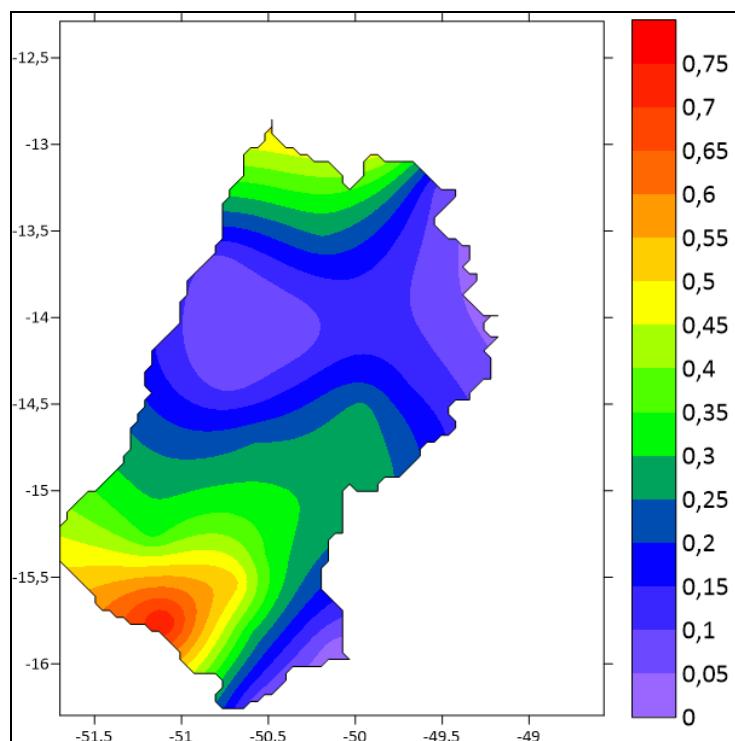


Figura 5: Mapa de interpolação utilizando a média p-valor do teste de sazonalidade
 Fonte: Autores, 2024.

De modo geral, as três análises convergem para um diagnóstico preocupante: a sub-bacia 25 vem passando por um processo de redução pluviométrica progressiva, pontuado por rupturas localizadas e enfraquecimento da sazonalidade em diversas regiões. A interpretação integrada das tabelas e mapas reforça a importância de políticas públicas voltadas à adaptação climática, incluindo o fortalecimento de sistemas de irrigação, o monitoramento contínuo de recursos hídricos e a conservação das áreas de recarga hídrica. Os padrões identificados refletem os efeitos das mudanças climáticas globais sobre dinâmicas hidrológicas regionais e evidenciam a urgência de estratégias para mitigação e resiliência no Cerrado.

Os resultados indicaram uma redução significativa nos índices de precipitação anual na sub-bacia 25 ao longo do período de 1988 a 2017. O teste de Mann-Kendall revelou tendências negativas consistentes em 70% das estações analisadas, com valores-p inferiores a 0,05, indicando significância estatística. O estimador de Sen apontou uma redução média de 12 mm por ano nos índices pluviométricos. Esse declínio foi mais acentuado durante a estação seca (junho a setembro), corroborando estudos anteriores que identificam o aumento da frequência de secas severas no Cerrado (Typeset, 2023).

O teste de Pettitt detectou uma mudança abrupta significativa na precipitação por volta do ano 2002, indicando a influência de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña. Durante esses períodos, ocorreram tanto secas extremas quanto eventos de chuva intensa, associados a alterações nos padrões atmosféricos e ao aumento da temperatura global. Impactos Potenciais As mudanças identificadas têm implicações diretas para a sustentabilidade da sub-bacia 25:

1. Agricultura: A redução na disponibilidade hídrica afeta a produtividade agrícola, especialmente culturas dependentes de chuva, como a soja e o milho.
2. Recursos Hídricos: A diminuição na recarga dos aquíferos e nos níveis dos rios compromete o abastecimento de água para consumo humano e industrial.
3. Biodiversidade: A perda de habitats devido às secas prolongadas ameaça espécies endêmicas do Cerrado, reduzindo a resiliência dos ecossistemas.

Os resultados destacam a necessidade de políticas públicas voltadas para o manejo sustentável dos recursos hídricos e para a preservação do bioma Cerrado, como o fortalecimento do Código Florestal e a implementação de sistemas de irrigação mais eficientes.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo revelou uma tendência de redução significativa nos índices pluviométricos da sub-bacia 25 entre 1988 e 2017, com destaque para uma média de decréscimo anual de 12 mm. Através dos testes de Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt, foi possível identificar tanto tendências contínuas quanto rupturas pontuais no regime de chuvas. Além disso, o teste de sazonalidade evidenciou o enfraquecimento dos ciclos climáticos regulares em diversas localidades.

Esses resultados demonstram que a sub-bacia está sendo impactada pelas mudanças climáticas, especialmente no que diz respeito à regularidade e intensidade das chuvas. A perda de sazonalidade e a diminuição gradual da precipitação colocam em risco a agricultura, os recursos hídricos e a biodiversidade da região.

Recomenda-se, portanto:

1. Implantação de políticas públicas climáticas regionais, focadas em medidas de adaptação para áreas com maior vulnerabilidade hídrica.
2. Investimento em tecnologias de irrigação eficiente e manejo hídrico sustentável, especialmente nas áreas com tendência significativa de redução das chuvas.
3. Monitoramento contínuo dos indicadores climáticos e hidrológicos, com atualização dos dados e uso de séries mais recentes.
4. Promoção da recomposição florestal nas áreas de recarga hídrica, como estratégia para mitigar os efeitos das mudanças no ciclo da água.
5. Integração entre dados climáticos e socioeconômicos para orientar políticas de desenvolvimento regional resiliente ao clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- i. Addinsoft. *XLSTAT Statistical Software for Excel*. Disponível em: <https://www.xlstat.com>. Acesso em: 21 set. 2024.
- ii. ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *HIDROWEB*. Disponível em: <https://www.snhirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- iii. ANA. Plano *Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia*. Brasília: ANA; SPR, 2009.
- iv. Ciência e Cultura. *Biotemas brasileiros e as mudanças climáticas*. Disponível em: <https://cienciaecultura.bvs.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- v. GOLDEN SOFTWARE. *SURFER®* Versão 17.0.275., 2019. Colorado, USA. Disponível em: www.goldensoftware.com.
- vi. Karmeshu, N. *Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann-Kendall test – A case study from India*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 24 out. 2024.
- vii. Pettitt, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135, 1979.
- viii. Typeset. *Trend in hydrological series and land use changes in a tropical watershed*. Disponível em: <https://typeset.io>. Acesso em: 24 out. 2024.