

ARTIGO RECEBIDO: 15/12/2023 – APROVADO: 20/03/11/2024 - PUBLICADO: 30/04/2024

DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS NA ESTAÇÃO CHUVOSA DO ESTADO DO TOCANTINS

DETECTING TRENDS IN THE RAINY SEASON IN THE STATE OF TOCANTINS

DETECCIÓN DE TENDENCIAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA EN EL ESTADO DE TOCANTINS

*Vinicius Cirqueira dos Santos*¹; Roberta Araújo e Silva²; Gírlene Figueiredo Maciel³*

¹ Discente do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

² Meteorologista, Doutora em Meteorologia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

³ Docente, Doutor em Recursos Naturais, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

*Correspondência: vinicius.cirqueira@mail.uft.edu.br

RESUMO

A precipitação é a principal variável meteorológica no ciclo hidrológico, sendo que a caracterização do seu comportamento fundamental para gestão eficiente dos recursos hídricos. Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo é investigar a ocorrência de possíveis tendências anuais nos dias de início e fim, duração e acumulado de precipitação, a partir de testes estatísticos, na estação chuvosa do estado do Tocantins. A análise de tendência foi obtida a partir de três testes estatísticos não-paramétricos (teste de Mann-Kendall, método de Sen's e teste de Pettitt). Os resultados indicaram que, para os seis municípios analisados, na maioria das cidades a estação chuvosa está iniciando mais tarde, em três cidades a EC está finalizando mais tarde (não se inserindo nesse cenário Palmas, a capital do estado, e Peixe, na qual a EC está finalizando 0,1 dias mais cedo por ano), em quatro cidades a EC está durando menos e igualmente nas quatro cidades a precipitação total acumulada durante a EC está diminuindo. As tendências anuais encontradas nesse estudo corroboram com resultados de outras pesquisas para o bioma cerrado, evidenciando mudanças no comportamento da estação chuvosa do Tocantins, possivelmente – como apontado por outros trabalhos – ocasionadas por mudanças no uso e ocupação do solo.

Palavras-chave: Estação chuvosa. Tendências. Tocantins.

ABSTRACT

Precipitation is the main meteorological variable in the hydrological cycle, and the characterization of its behavior is fundamental for the efficient management of water resources. Given this context, the aim of this study is to investigate the occurrence of possible annual trends in the start and end days, duration and accumulated rainfall, using statistical tests, in the rainy season in the state of Tocantins. The trend analysis was based on three non-parametric statistical tests (Mann-Kendall test, Sen's method and Pettitt's test). The results indicated that, for the six municipalities analyzed, in most cities the rainy

season is starting later, in three cities the CE is ending later (Palmas, the state capital, and Peixe, in which the CE is ending 0.1 days earlier per year, are not included in this scenario), in four cities the CE is lasting less and in all four cities the total precipitation accumulated during the CE is decreasing. The annual trends found in this study corroborate the results of other studies for the cerrado biome, showing changes in the behavior of the rainy season in Tocantins, possibly - as pointed out by other studies - caused by changes in land use and occupation.

Keywords: Rainy season. Trends. Tocantins.

RESUMEN

La precipitación es la principal variable meteorológica del ciclo hidrológico, y la caracterización de su comportamiento es fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos. Dado este contexto, el objetivo de este estudio es investigar la ocurrencia de posibles tendencias anuales en los días de inicio y fin, duración y precipitación acumulada, utilizando pruebas estadísticas, en la estación lluviosa en el estado de Tocantins. El análisis de las tendencias se basó en tres pruebas estadísticas no paramétricas (prueba de Mann-Kendall, método de Sen y prueba de Pettitt). Los resultados indicaron que, para los seis municipios analizados, en la mayoría de las ciudades la estación lluviosa está comenzando más tarde, en tres ciudades la EC está terminando más tarde (no se incluyen en este escenario Palmas, la capital del estado, y Peixe, donde la EC está terminando 0,1 días antes por año), en cuatro ciudades la EC está durando menos y en las cuatro ciudades la precipitación total acumulada durante la EC está disminuyendo. Las tendencias anuales encontradas en este estudio corroboran los resultados de otros estudios para el bioma cerrado, mostrando cambios en el comportamiento de la estación lluviosa en Tocantins, posiblemente - como señalan otros estudios - causados por cambios en el uso y ocupación del suelo.

Descriptor: Temporada de lluvias. Tendencias. Tocantins.

INTRODUÇÃO

A precipitação é a principal variável meteorológica no ciclo hidrológico, seu excesso ou escassez afeta o abastecimento público; o saneamento urbano; a segurança energética da região, entre outros, impactando toda a biodiversidade em geral, podendo – dessa forma – gerar transtornos ambientais, sociais e econômicos (Aparecido, et al., 2022; Scaglioni; Fernandes; Nunes, 2022).

O Cerrado é caracterizado por apresentar sazonalidade climática marcante englobando dois períodos distintos: a estação chuvosa e a estação seca (Rocha; Nascimento, 2021). Na estação chuvosa espera-se, portanto, a maior regularidade da precipitação, sendo vital para a sadia manutenção dos ecossistemas tanto terrestres quanto aquáticos.

A estação seca no Cerrado, além de proporcionar condições propícias para o alastramento de incêndios florestais, com presença de biomassa mais seca, baixa umidade e ventos fortes típicos desse período na região (Gomes; Santos, 2020) impactam negativamente, também, na qualidade da água de corpos hídricos na bacia hidrográfica na qual se encontra, uma vez que nesse período os cursos d'água terão menor vazão, dada a carência de precipitação pluvial, e – consequentemente – maiores serão as concentrações de poluentes por ventura ali presentes, em especial em áreas urbanizadas dado que áreas de vegetação natural preservadas são menos propensas a transportarem esses contaminantes para os

cursos d'água, podendo culminar na eutrofização dos corpos hídricos (MOREIRA; COSTA; BECKER, 2023).

Diante desse contexto, o conhecimento à cerca do comportamento temporal da estação chuvosa do Tocantins, com detalhamento sobre antecipação ou atraso, é fundamental para promoção de uma gestão mais assertiva e eficaz na ocorrência de eventos extremos de precipitação, com base em comportamentos passados.

MATERIAIS E MÉTODOS

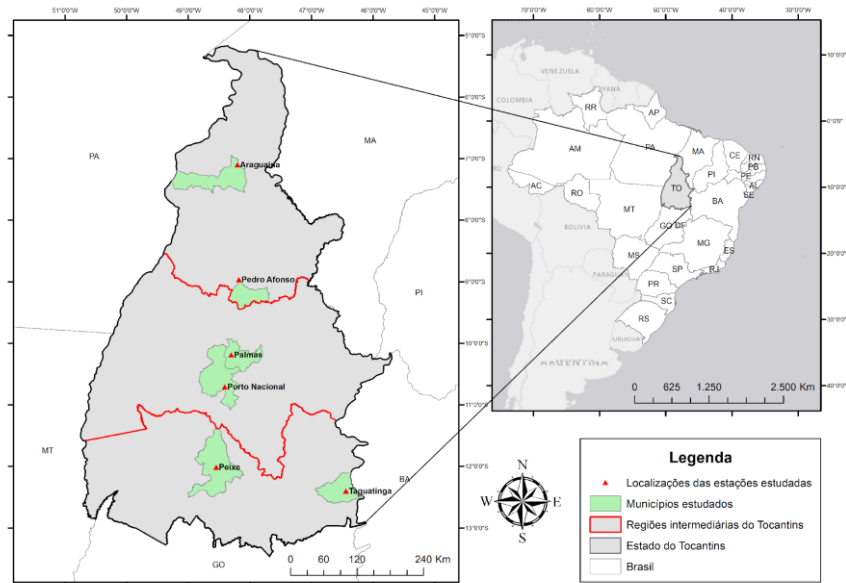
O estado do Tocantins, localizado no norte do Brasil sendo o mais novo estado brasileiro, conta com uma área territorial total de 277.423,627 km² e engloba, em cerca de 90% do seu território, o bioma Cerrado, este considerado o berço de águas do país (IBGE, 2023; Rocha; Nascimento, 2021). No estado encontram-se instaladas, somente no rio Tocantins, três relevantes usinas hidrelétricas, sendo elas: UHE São Salvador, UHE Peixe Angical (essa com reservatório) e UHE Lajeado (ANA, 2021), além de demais pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) espalhadas pelo território tocantinense.

Paralelamente, o estado vem se destacando no cenário nacional como um grande produtor e exportador de grãos, sendo nesses quesitos o maior e mais promissor da região norte do país (SEAGRO, 2022), ocupando espaço, também, na cultura de pecuária, já respondendo pelo 10º maior estado detentor de rebanho bovino do Brasil (IBGE, 2022).

É evidente, dessa forma, as diversas modificações no uso e ocupação do solo, principalmente com foco em uso agropecuário, que esse território vem sofrendo nos últimos anos, sendo o Tocantins um dos estados integrantes da região denominada MATOPIBA – a mais nova fronteira agrícola brasileira (Costa; Botta; Cardille, 2003; Bolfe, et al., 2016).

Para a realização do presente trabalho foram utilizados dados de precipitação diários de estações convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instaladas nos municípios de Araguaína (Cód. 82659), Palmas (Cód. 83033), Pedro Afonso (Cód. 82863), Peixe (Cód. 83228), Porto Nacional (Cód. 83064) e Taguatinga (Cód. 83235). Como mecanismo de classificação das regiões do estado foi utilizado a classificação das regiões geográficas intermediárias do Tocantins, conforme IBGE (2017), sendo elas: Região Geográfica Intermediária de Araguaína (englobando 65 municípios, dentre eles Araguaína e Pedro Afonso), representando a região norte do estado; Região Intermediária de Palmas (abrangendo 42 municípios, dentre eles Palmas e Porto Nacional), representando a região central do estado, e; Região Intermediária de Gurupi (compreendendo 32 municípios, dentre eles Peixe e Taguatinga), representando a região sul do estado, conforme Figura 1.

Figura 1 - Localização dos municípios estudados e estações meteorológicas utilizadas.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Os dados obtidos foram posteriormente organizados e tratados em planilhas utilizando o software Microsoft Office Excel. Para realização dos cálculos de caracterização da estação chuvosa utilizou-se o mesmo software. Como mecanismo de filtragem de dados, utilizou-se o critério proposto por Teixeira (2010), eliminando intervalos anuais que apresentaram $\geq 10\%$ de falhas, contínuas ou não, durante o período médio compreendido pela estação chuvosa para o bioma da região.

Caracterização da Estação Chuvosa

A definição da data do início da estação chuvosa (IEC) foi obtida através do critério proposto por Sansigolo (1989), que considera a primeira data após determinada data específica, em que ocorreu 20 mm de chuva totalizado em até dois dias consecutivos, desde que não ocorra períodos secos superiores a sete dias durante os 30 dias subsequentes. O estado do Tocantins está localizado predominantemente dentro do bioma Cerrado, que apresenta como característica concentração das chuvas no verão do hemisfério Sul. Diante desse cenário, a condição aceitável para identificação do IEC é o primeiro dia dos meses de setembro ou outubro em que ocorrer a primeira chuva com quantidade mínima de 20 mm, totalizada em até dois dias consecutivos, condicionado a não ocorrência de 10 dias secos durante os 30 dias seguintes. A altura de 20 mm de chuva foi adotada, porque sob essas condições a água pode ser armazenada no solo por períodos de até dez dias atendendo as necessidades hídricas das plantas (Machado, et al., 1996).

A data do fim da estação chuvosa (FEC) considera o primeiro dia após a data de 1ª de março, de uma sequência igual a 15 dias sem chuva, sendo considerado dia seco aquele que apresenta

precipitação inferior a 1,0 mm (Assad; Sano, 1988). A data de 1^a de março foi escolhida por ser a mais provável para regiões em que a estação chuvosa se concentra no verão.

Após o cálculo das datas inicial e final da estação chuvosa foi calculada a duração da estação chuvosa (DEC), determinada para cada ano da série histórica, e em dias. A DEC é obtida pela diferença entre a data do FEC e o IEC, como mostra a Equação 1. Também foram calculados os totais de precipitação durante a estação chuvosa (TPEC), obtendo-se assim uma análise climatológica da distribuição da precipitação no estado do Tocantins.

$$DEC = \begin{cases} (365 + (FEC - IEC), \text{ano não bissexto}) \\ (366 + (FEC - IEC), \text{ano bissexto}) \end{cases} \quad (1)$$

Testes Estatísticos Utilizados

Nessa pesquisa foram utilizados três métodos não-paramétricos para análise de tendências da estação chuvosa, conforme adotado por Santos, Silva e Maciel (2023). Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) - uma ferramenta estatística recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) na avaliação de possíveis tendências em séries temporais de dados ambientais, no intuito de analisar possíveis mudanças climáticas (Silva, Júnior e Batista., 2010; Costa et al., 2015); método de Sen's (Sen, 1968) - utilizado para estimar a magnitude da inclinação de uma tendência existente - mudança por unidade de tempo, calculando as inclinações para todos os pares ordenados de dados e, em seguida calculando a mediana dessas inclinações como estimativa da inclinação geral (TAO et al., 2014); teste de Pettitt – utilizado para localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, o teste de Pettitt (Pettitt, 1979) foi utilizado adotando-se o nível de significância de 10% para aplicação. A comparação entre os resultados desses quatro métodos estatísticos permitiu a obtenção de conclusões mais robustas.

DADOS E DISCUSSÃO

Filtragem de dados

Os períodos analisados para cada série, conforme método de filtragem de dados, foram:

1. Região intermediária de Araguaína

- Araguaína: 1984 a 2022, totalizando 39 anos;
- Pedro Afonso: 1977, 1979 a 1999 e 2001 a 2022, totalizando 44 anos. A EC do ano de 1978 não foi caracterizada dada a presença de falhas no primeiro semestre do ano posterior, sendo que para o ano de 2000 não foi possível determinar a data de início da EC pela metodologia empregada, evidenciando uma grande presença de período de estiagem nesta;

2. Região intermediária de Palmas

- Palmas: 1995 a 2022, totalizando 28 anos;
- Porto Nacional: 1961 a 1969, 1971 a 1989, 1997 a 2022, totalizando 54 anos. O início da EC não foi identificado pela metodologia empregada para o ano de 1970, evidenciando a grande presença de períodos de estiagem durante o período compreendido pela estação chuvosa na região. Para os anos de 1990 a 1996 verificou-se presença de falhas;

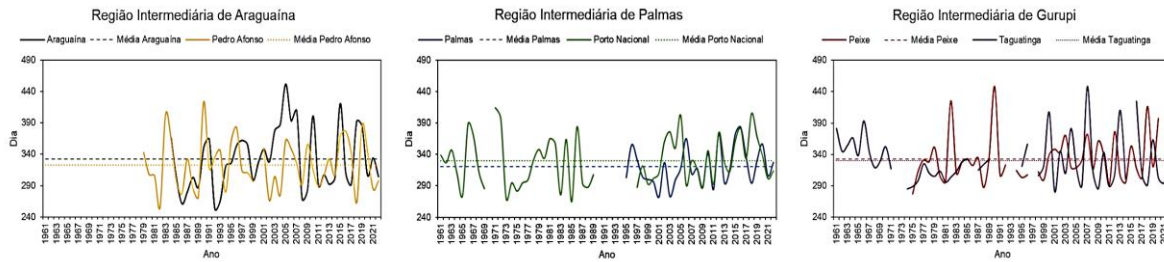
3. Região intermediária de Gurupi

- Peixe: 1975 a 1992, 1994, 1996, 1998 a 2020, totalizando 44 anos. A EC não foi caracterizada para o ano de 1993 dada a presença de falhas no segundo semestre, sendo que para o ano de 1997 o início da EC não foi identificado pela metodologia empregada. A série histórica apresenta seu término no ano de 2020 pois a Estação Meteorológica - Cód. 83228 - encontrava-se em *status* “Fechada” no momento de download dos dados, dispondo somente de dados até a data de 30 de setembro de 2021. A referida estação voltou à operação na data de 23 de novembro de 2022.
- Taguatinga: 1961 a 1971, 1974 a 1985, 1987 a 1989, 1995 a 1996, 1998 a 2014, 2016 a 2022, totalizando 52 anos. O IEC não foi identificado pelo método empregado para os anos de 1986, 1997 e 2015. Para os anos de 1972, 1973 e 1990 a 1994 foi verificada presença de falhas.

Início da Estação Chuvosa (IEC)

Na figura 2 são apresentados os IECs para cada ano de cada série analisada. Verifica-se que o início da estação ocorre, em média, mais antecipadamente no município de Palmas em relação aos demais municípios, sendo em 16 de novembro (dia juliano 320), seguido por Pedro Afonso, na qual ocorre em média no dia 18 de novembro (dia juliano 322), Porto Nacional e Taguatinga, na qual ocorrem em média no dia 26 de novembro (dia juliano 330) e, sendo as médias de IECs mais tardios identificadas, Araguaína e Peixe, na qual ocorrem no dia 28 de novembro (dia juliano 332).

Figura 2 - Variabilidade interanual do Início da Estação Chuvosa (IEC) para Região Intermediária de Araguaína (Araguaína e Pedro Afonso), Região Intermediária de Palmas (Palmas e Porto Nacional) e Região Intermediária de Gurupi (Peixe e Taguatinga).



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Os resultados apontam, portanto, que o início da estação chuvosa se dá primeiramente no centro do Tocantins, se prolongando à medida na qual aproxima-se dos extremos norte ou sul do estado, se comportando minimamente diferente no extremo sudeste do Tocantins na qual verificou-se média similar ao município de Porto Nacional. De modo geral, foi identificado que o início da estação chuvosa se dá na segunda quinzena do mês de novembro no estado.

Referente às análises estatísticas, conforme Tabela 1, foram verificadas tendências positivas, pelo teste de Mann-Kendall e Magnitude de Sen's para cinco dos seis municípios estudados, sendo eles: Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional e Peixe. Desse modo, para as cidades supracitadas há tendência de que o início da estação chuvosa se dê cada vez mais tarde. Situação diferente foi encontrada para a cidade de Taguatinga, na qual foi verificada tendência negativa para o início da estação da estação chuvosa, refletindo-se em tendência de início cada vez mais cedo no município.

Conforme magnitude de Sen's, levando em consideração o período de cada série histórica, as ECs de Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional e Peixe contam com atraso de, nessa ordem, 39,0 dias, 14,7 dias, 30,5 dias, 22,5 dias e 22,0 dias no dia de início, ressaltando-se as magnitudes encontradas para Araguaína e Palmas, na qual têm-se atraso de 1,0 e 1,1 dias ao ano no dia de início da estação chuvosa, respectivamente. Por outro lado, a estação chuvosa de Taguatinga está iniciando 24 dias mais antecipadamente, levando em consideração todo o período para a respectiva série.

Quanto aos pontos de mudança brusca nas séries, constatou-se o ano de 2003 para Araguaína, 2019 para Pedro Afonso, 2019 para Porto Nacional, 2015 para Peixe e 1983 para Taguatinga. Para o município de Palmas, o ponto de mudança brusca apontado pelo teste de Pettitt foi o penúltimo ano da série analisada (2021), traduzindo-se desta maneira como ausência de mudança brusca.

Tabela 1 - Resultado do teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o IEC de Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional, Peixe e Taguatinga.

Região Intermediária	Município	Média (dia)	MK	Sen's		Pettitt
				(dias.ano ⁻¹)	(dias.período ⁻¹)	
Araguaína	Araguaína	332,3	1,5	1,0*	39,0	2003
	Pedro Afonso	322,5	1,2	0,3*	14,7	2019
Palmas	Palmas	320,4	0,6	1,1*	30,5	2021
	Porto Nacional	329,7	1,3	0,4*	22,5	2019
Gurupi	Peixe	332,2	1,1	0,5*	22,0	2015
	Taguatinga	329,7	-1,6	-0,5*	-24,0	1983

*tendência estatisticamente significativa para $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

O desmatamento, bastando pronunciado no bioma cerrado – tendo em vista que cerca de 41,3% da cobertura vegetal natural desse bioma já se encontra convertida para uso antrópico - está vinculado diretamente à redução na taxa de evapotranspiração, reincidindo sobre o ciclo hidrológico e a temperatura (Ferijal; Batelaan; Shanafield, 2021; Rocha; Nascimento, 2021).

Butt, Oliveira e Costa (2011), ao analisarem a precipitação em áreas desmatadas do estado de Rondônia, constataram que a estação chuvosa está iniciando mais tardiamente e atribuíram às mudanças do uso da terra. O atraso no IEC foi verificado, também, por Luković *et al.* (2021) para o estado da Califórnia (EUA), na qual foi constatado que a estação chuvosa está iniciando em cerca de 27 dias de atraso, para dados desde a década de 1960, sendo esse o principal contribuinte para o aumento da frequência de focos de incêndio na região.

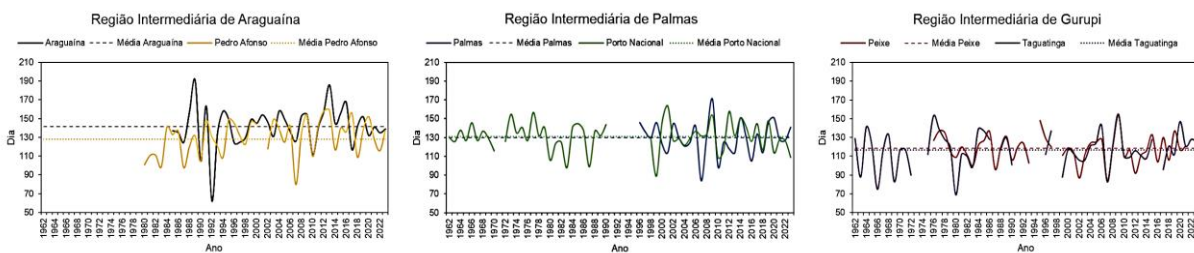
Silva *et al.* (2021) relatam em seu trabalho que a bacia hidrográfica do rio Lontra, bacia essa que abrange o município de Araguaína, vem sofrendo com desmatamento, em especial para formação de pastagens para alimentação de gados de corte, dado que o município é o terceiro maior detentor de cabeças bovinas no estado do Tocantins (IBGE, 2019). Peixe e Porto Nacional, por outro lado, são grandes representantes do setor agrícola do estado, respondendo pelos, nessa ordem, 2º e 3º maiores produtores de soja no estado do Tocantins (IBGE, 2019), denotando – de forma indireta – que áreas consideráveis de seus respectivos limites municipais já se encontram convertidas para tal utilização.

Dessa forma, a presença de tendência de retardamento para o início da estação chuvosa em cinco dos seis municípios analisados, ou em 83% das cidades estudadas, possivelmente vinculada às modificações no uso e ocupação do solo, ressalta uma possível mudança no padrão de distribuição da precipitação no estado.

Final da Estação Chuvosa (FEC)

Na Figura 3 são apresentados os Finais das Estações Chuvosas para cada série analisada. Constata-se que o final da estação chuvosa se dá primeiramente na Região Intermediária de Gurupi, ocorrendo, em média, no dia 27 de abril (dia juliano 117) para o Município de Taguatinga seguido pelo município de Peixe, na qual ocorre – em média – no dia 28 de abril (dia juliano 118). Em ordem crescente, ocorre posteriormente em Pedro Afonso – em média no dia 08 de maio (dia juliano 128), em Palmas – no dia 10 de maio (dia juliano 130), em Porto Nacional – no dia 11 de maio (dia juliano 131) e, sendo o final mais tardio da EC, na cidade de Araguaína, na qual ocorre em média no dia 22 de maio (dia juliano 152). Desse modo é possível observar que o fim da estação chuvosa ocorre, em média, mais antecipadamente no sul do estado e mais tardiamente no norte do Tocantins.

Figura 3 - Variabilidade interanual do Final da Estação Chuvosa (FEC) para Região Intermediária de Araguaína (Araguaína e Pedro Afonso), Região Intermediária de Palmas (Palmas e Porto Nacional) e Região Intermediária de Gurupi (Peixe e Taguatinga).



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Quanto às análises estatísticas, conforme Tabela 2, foram verificadas tendências positivas para os dois municípios representantes da Região Intermediária de Araguaína e para Taguatinga, denotando - dessa forma – que há tendência de que a EC nessas localidades finalize cada vez mais tardiamente. Ressalta-se que para o município de Pedro Afonso a tendência encontrada é estatisticamente significativa para $\alpha=0,05$. Por outro lado, verificou-se que para os municípios representantes da Região Intermediária de Palmas, bem como para a cidade de Peixe, há presença de tendências negativas, denotando – dessa forma – que para as mencionadas localidades a tendência é de que a estação chuvosa finalize cada vez mais cedo.

O método de Sen's apontou que, para os municípios de Palmas e Peixe, a estação chuvosa está finalizando, nesta ordem, 2,0 dias e 4,9 dias mais cedo, se levado em consideração o período total das duas séries históricas. De outra forma, verificou-se que para Araguaína, Pedro Afonso e Taguatinga a estação chuvosa está finalizando 5,2 dias, 27,2 dias e 3,3 dias mais tarde, respectivamente, se levado em

consideração o período total das séries históricas. Porto Nacional, embora tenha apresentado tendência pelo teste de Mann-Kendall, apresentou magnitude de tendência igual a zero pelo método de Sen's.

Referente aos pontos de mudança brusca nas séries, verificou-se o ano de 2022 para Araguaína e Taguatinga demonstrando, dessa forma, que esses não ocorreram para as séries dos mencionados municípios. Foi constatado, para Pedro Afonso, ponto de mudança brusca o ano de 1995, 2014 para Palmas e 2004 para Porto Nacional. O município de Peixe, assim como Araguaína e Taguatinga, apresentou como ponto de mudança brusca o penúltimo ano da série analisada, traduzindo-se desta maneira como ausência de mudança brusca.

Tabela 2 - Resultado do teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o FEC de Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional, Peixe e Taguatinga.

Região Intermediária	Município	Média (dia)	MK	Sen's		Pettitt
				(dias.ano ⁻¹)	(dias.período ⁻¹)	
Araguaína	Araguaína	142	0,5	0,1*	5,2	2022
	Pedro Afonso	128	2,4*	0,6*	27,2	1995
Palmas	Palmas	130	-0,2	-0,1*	-2,0	2014
	Porto Nacional	131	-0,2	0,0	0,0	2004
Gurupi	Peixe	118	-0,6	-0,1*	-4,9	2020
	Taguatinga	117	0,4	0,1*	3,3	2022

*tendência estatisticamente significativa para $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

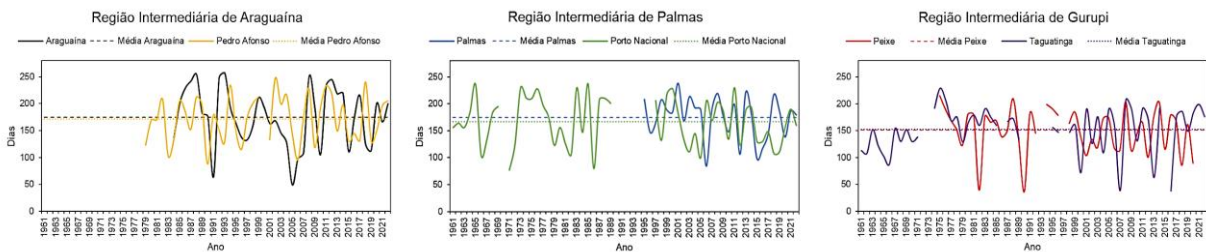
Para o município de Pedro Afonso, a inclinação de Sen's indicou que a cada ano a EC finaliza 0,6 dias mais tarde, sendo a tendência de FEC encontrada mais pronunciável, podendo ser um indicativo de que a estação chuvosa no município esteja sofrendo deslocamento, uma vez que – como apontado anteriormente, está iniciando a cada ano 0,3 dias mais tarde.

O indicativo de magnitudes de tendências ligeiramente inferiores aos encontrados para os IECs se dão ao fato de que, durante o período final da estação chuvosa a atmosfera tende a permanecer estável, refletindo-se em uma maior estabilidade para esse parâmetro.

Duração da Estação Chuvosa (DEC)

Na Figura 4 são apresentadas as Durações das Estações Chuvosas para cada ano de cada série analisada. Verifica-se que, em média, a estação chuvosa apresenta maior duração nos municípios das regiões intermediárias de Araguaína e Palmas, na qual tem-se duração média da EC de 174 dias para Araguaína, 171 dias para Pedro Afonso, 175 dias para Palmas - sendo a maior média observada - e 167 dias para Porto Nacional. De outra forma, verificou-se para a Região Intermediária de Gurupi as menores médias de DEC, na qual verificou-se média de 151 dias para Peixe e 152 dias para Taguatinga, evidenciando – dessa forma – que ao apresentarem os finais das estações chuvosas mais adiantados, em média, apresentaram também as menores durações das mesmas.

Figura 4 - Variabilidade interanual da Duração da Estação Chuvosa (DEC) para Região Intermediária de Araguaína (Araguaína e Pedro Afonso), Região Intermediária de Palmas (Palmas e Porto Nacional) e Região Intermediária de Gurupi (Peixe e Taguatinga).



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

As análises estatísticas (Tabela 3) apontaram tendências negativas, ou seja, de encurtamento da estação chuvosa, para quatro dos seis municípios analisados, sendo eles: Araguaína, Palmas, Porto Nacional e Peixe. Pedro Afonso e Taguatinga, diferentemente do que foi verificado para os demais municípios, apresentaram tendências positivas para a duração da estação chuvosa, traduzindo-se em tendências de dilação da DEC para esses.

As magnitudes das tendências, calculadas pelo método de Sen's, indicaram que as durações das estações chuvosas de Araguaína, Palmas, Porto Nacional e Peixe, estão durando, nessa ordem, 35,1 dias, 25,6 dias, 20,3 dias e 37,6 dias a menos, se observado todo os períodos das respectivas séries. Dentre os municípios citados, destacam-se Araguaína e Palmas na qual verifica-se um decréscimo de aproximadamente um dia na duração da EC por ano. De outra forma, verificou-se que para Pedro Afonso e Taguatinga a estação chuvosa está durando 20,9 dias e 35,9 dias a mais, respectivamente, levando em consideração o período de cada série histórica.

Os pontos de mudança brusca, apontados pelo teste de Pettitt, não foram encontrados para três dos seis municípios, sendo eles: Pedro Afonso, Palmas e Peixe. Para Araguaína, o ponto de mudança brusca na série foi o ano de 1995, 2019 para Porto Nacional e 2008 para Taguatinga.

Tabela 3 - Resultado do teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para a DEC de Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional, Peixe e Taguatinga.

Região Intermediária	Município	Média (dias)	MK	Sen's		Pettitt
				(dias.ano ⁻¹)	(dias.período ⁻¹)	
Araguaína	Araguaína	174	-1,1	-0,9*	-35,1	1995
	Pedro Afonso	171	0,7	0,5*	20,9	2021
Palmas	Palmas	175	-1,1	-0,9*	-25,6	2021
	Porto Nacional	167	-0,9	-0,4*	-20,3	2019
Gurupi	Peixe	151	-1,9	-0,9*	-37,6	2019
	Taguatinga	152	1,9	0,7*	35,9	2008

*tendência estatisticamente significativa para $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Partindo do conhecimento de que no Tocantins há presença de dois períodos climatológicos bem definidos, clima quente e seco – respondendo pela estação seca, e clima quente e úmido – respondendo pela estação chuvosa (Neto, 2016; Rocha; Nascimento, 2021), nos municípios na qual foram constatadas tendências de redução da DEC (Araguaína, Palmas, Porto Nacional e Peixe) têm se, inversamente, tendências de aumento da duração da estação seca, recaindo no aumento da possibilidade de ocorrência de eventos adversos alavancados por esse período, em especial os incêndios florestais.

De igual modo, o período seco propicia a ocorrência das queimadas intencionais de biomassa por atividades agropecuárias, doravante denominadas queimadas, posto que aproximadamente 71% da distribuição de queimadas no território do bioma Cerrado se dá no período seco, enquanto a estação chuvosa responde por 29% das ocorrências de focos (Rocha; Nascimento, 2021). As queimadas afetam negativamente não somente a saúde humana, através da fuligem, mas também a fauna em geral e o solo, uma vez que esse fica exposto à ação da precipitação da seguinte estação chuvosa, podendo ocorrer – desse modo – o aumento de atividades erosivas e, seguidamente, assoreamento de cursos d'água, ocasionando efeitos negativos não limitados à fauna aquática mas também em comunidades socialmente vulneráveis, que por vezes residem em áreas de preservação permanente, como apontado por Silva *et*

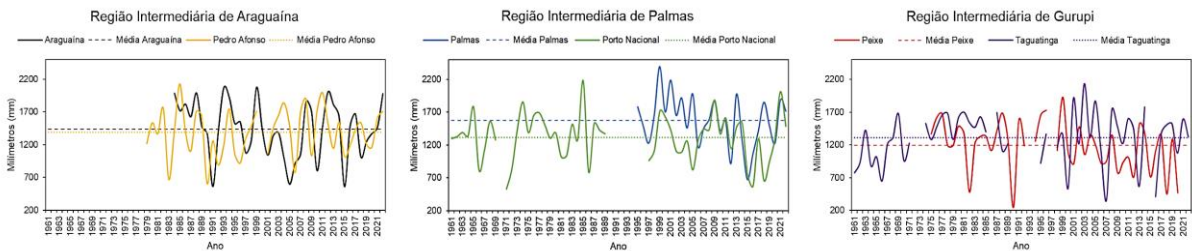
al. (2021) para a região da bacia hidrográfica do rio Lontra, amplificando a exposição destas à eventos de inundação.

Segundo Derbotoli *et al.* (2012) as queimadas são, também, possíveis retardantes do IEC, uma vez que resultam na emissão de partículas no ar reduzindo o total de radiação recebida pelas superfícies terrestres, provocando impacto adverso sobre o balanço de carbono e a formação de nuvens propícias a chuvas.

Totais de Precipitação Durante a Estação Chuvosa (TPEC)

Na figura 5 são apresentados os Totais Acumulados de Precipitação para cada série analisada. Verifica-se que a maior média do TPEC ocorre para a capital do estado, Palmas, sendo de aproximadamente 1.573 mm. Seguindo, em ordem decrescente, tem-se o município de Araguaína - com média de TPEC de aproximadamente 1.442 mm, Pedro Afonso – com média de aproximadamente 1.391 mm, Taguatinga – com média de aproximadamente 1.313 mm, Porto Nacional – com média de aproximadamente 1.311 mm e, contando com a menor média de total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa, Peixe – com média de aproximadamente 1.194 mm.

Figura 5 - Variabilidade interanual do Total de Precipitação Durante a Estação Chuvosa (TPEC) para Região Intermediária de Araguaína (Araguaína e Pedro Afonso), Região Intermediária de Palmas (Palmas e Porto Nacional) e Região Intermediária de Gurupi (Peixe e Taguatinga).



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Referente às análises estatísticas, conforme Tabela 4, foram apontadas pelo teste de Mann-Kendall presença de tendências negativas, ou seja – de decréscimo no total de precipitação, para quatro das seis cidades analisadas, sendo elas: Araguaína, Palmas, Porto Nacional e Peixe, nessa última estatisticamente significativa. Em contraposição, foram observadas tendências positivas, ou seja – de acréscimo no total de precipitação, para Pedro Afonso e Taguatinga.

O método de Sen's apontou que as estações chuvosas de Araguaína, Palmas, Porto Nacional e Peixe reduziram, nessa ordem, 294,7 mm, 310,1 mm, 42,4 mm e 505,1 mm nos totais acumulados de precipitação, se observado os períodos totais das respectivas séries. Destaca-se, negativamente, nesse cenário o município de Peixe, na qual observa-se decréscimo de aproximadamente 11,5 mm de

precipitação ao ano. De outra forma, para as cidades de Pedro Afonso e Taguatinga foram apontados acréscimos de 167,2 mm e 210,2 mm, respectivamente, nos totais acumulados de precipitação durante a estação chuvosa se observado os períodos das respectivas séries.

Os pontos de mudança brusca nas séries, apontados pelo teste de Pettitt, não foram localizados para Araguaína e Pedro Afonso. Para Palmas, o ponto de mudança brusca na série foi o ano de 2007, 2019 para Porto Nacional, 2009 para Peixe e 1975 para Taguatinga.

Tabela 4 - Resultado do teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o TPEC de Araguaína, Pedro Afonso, Palmas, Porto Nacional, Peixe e Taguatinga.

Região Interme- diária	Município	Média (mm)	MK	Sen's		Pettitt
				(mm.ano ⁻¹)	(mm.período ⁻¹)	
Araguaína	Araguaína	1441,8	-1,8	-7,6*	-294,7	2021
	Pedro Afonso	1391,2	0,6	3,8*	167,2	2021
Palmas	Palmas	1572,9	-1,4	-11,1*	-310,1	2007
	Porto Nacional	1311,2	-0,3	-0,8*	-42,4	2019
Gurupi	Peixe	1193,7	-2,6*	-11,5*	-505,1	2009
	Taguatinga	1313,1	1,1	4,0*	210,2	1975

*tendência estatisticamente significativa para $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A presença de tendência de redução no total acumulado de precipitação para a maioria dos municípios do Tocantins analisados (67%) corroboram os resultados obtidos por Campos e Chaves (2020) e Salazar *et al.* (2016) para o bioma Cerrado, na qual sugerem – esses últimos - que o uso e ocupação do solo é o responsável pela diminuição do total de precipitação para a região, a partir de 1970.

Segundo Salazar *et al.* (2016, p. 107), “pequenas mudanças na cobertura da terra podem afetar significativamente o clima superficial no Cerrado”. Na presença da vegetação se há maior infiltração da água no solo, essa posteriormente é transferida - em forma de vapor - para a atmosfera, sendo a evaporação do solo, quanto à evapotranspiração, mais representativa – no que se refere à transferência de vapor de água - que a transpiração fotossintética. Na ausência de vegetação a umidade do solo é menor e, conseqüentemente, o vapor de água a ser transferido para a atmosfera é menor.

Os impactos negativos da diminuição do total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa transcendem o ambiente natural, recaindo de maneira direta sobre a principal atividade econômica do Tocantins, a agropecuária. As culturas agrícolas de soja e milho, notadamente as mais cultivadas em território tocantinense (CONAB, 2021) são produzidas em regime de sequeiro, ou seja, dependem do regime pluviométrico para satisfação das necessidades hídricas das plantas, bem como as forrageiras (pastagem para o gado) que apresentam, como as culturas supracitadas, eficiência de produção diretamente associada à disponibilidade hídrica, sendo evidente nesse contexto a influência da qualidade da estação chuvosa na atividade agropecuária do estado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante os resultados observados, pode-se inferir que a estação chuvosa está iniciando mais tarde em Araguaína (1,0 dia/ano), Palmas (1,1 dias/ano), Pedro Afonso (0,3 dias/ano), Peixe (0,5 dias/ano) e Porto Nacional (0,4 dias/ano). Situação contrária é observada para Taguatinga, na qual a EC está iniciando mais cedo (-0,5 dias/ano).

O final da estação chuvosa está ocorrendo mais antecipadamente para Palmas (-0,1 dias/ano) e Peixe (-0,1 dias/ano). Por outro lado, o FEC está ocorrendo mais tardiamente para Araguaína (0,1 dias/ano), Pedro Afonso (0,6 dias/ano) e Taguatinga (0,1 dias/ano). Para Porto Nacional não foi verificada tendência para o FEC.

A estação chuvosa está se encurtando em Araguaína (-0,9 dias/ano), Palmas (-0,9 dias/ano), Peixe (-0,9 dias/ano) e Porto Nacional (-0,4 dias/ano). De outra forma, a DEC está se prolongando em Pedro Afonso (0,5 dias/ano) e Taguatinga (0,7 dias/ano).

O total de precipitação durante a estação chuvosa está diminuindo para Araguaína (-7,6 mm/ano), Palmas (-11,1 mm/ano), Peixe (-11,5 mm/ano) e Porto Nacional (-0,8 mm/ano). De outra forma, o TPEC está aumentando para Pedro Afonso (3,8 mm/ano) e para Taguatinga (4,0 mm/ano).

A estação chuvosa está aumentando para Pedro Afonso e, principalmente, para Taguatinga, na qual verifica-se, para essa última, que o início da EC está ocorrendo 24 dias mais cedo e que o final da EC está ocorrendo três dias mais tarde, durando cerca de 36 dias a mais e chovendo, também, 210 mm a mais.

Por outro lado, a presença de tendência de redução no total de precipitação durante a estação chuvosa para a maioria dos municípios do Tocantins analisados corrobora com outras pesquisas realizadas não somente para o bioma Cerrado, mas também para demais regiões do globo, demonstrando mudanças no comportamento da estação chuvosa do estado do Tocantins, possivelmente, assim como apontado por outros estudos para outras localidades, em decorrência das modificações no uso e ocupação

do solo, em áreas de vegetação do bioma Amazônico e Cerrado, modificando os processos físicos entre a atmosfera e a superfície terrestre. Portanto, avaliar os impactos dessas alterações é importante na elaboração de políticas públicas de mitigação e de resiliência.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

BIBLIOGRAFIA

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Boletim Diário de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins: 14/09/2021**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/tocantins/boletins-tocantins-diario/tocantins-14_9_2021.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

APARECIDO, L. E. O.; MORAES, J. R. S. C. de; LIMA, R. F. de; TORSONI; G. B. Spatial Interpolation Techniques to Map Rainfall in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 141-155, 2022.

ASSAD, E., D.; SANO, E., E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na agricultura**. 20ed. Brasília, EMBRAPA. p. 434, 1988.

BOLFE, É. L.; VICTÓRIA, D. D. C.; CONTINI, E.; SILVA, G. B.; ARAUJO, L. S.; GOMES, D. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de política agrícola**, v. 25, n. 4, p. 38-62, 2016.

BUTT, N.; OLIVEIRA, P. A.; COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D11120, p. 1-8, 2011.

CAMPOS, J. O.; CHAVES, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 01, p. 157-169, 2020.

Cirqueira dos Santos, V.; Araújo e Silva, R.; Figueiredo Maciel, G.. DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS NA ESTAÇÃO CHUVOSA DO ESTADO DO TOCANTINS. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, 11(3). https://doi.org/1020873.2024_v3_11

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **TOCANTINS – Produção de grãos na safra 2021/22 tende a superar 5,5 milhões de toneladas no estado.** [S.l.], 2021. Disponível em: <[COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of hydrology**, v. 283, n. 1-4, p. 206-217, 2003.](https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4432-tocantins-producao-de-graos-na-safra-2021-22-tende-a-superar-5-5-milhoes-de-toneladas-no-estado#:~:text=Soja%20e%20milho%20s%C3%A3o%20os%20principais%20produtos%20cultivados%20no%20estado.>https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4432-tocantins-producao-de-graos-na-safra-2021-22-tende-a-superar-5-5-milhoes-de-toneladas-no-estado#:~:text=Soja%20e%20milho%20s%C3%A3o%20os%20principais%20produtos%20cultivados%20no%20estado.>. Acesso em: 10 maio 2023.</p></div><div data-bbox=)

COSTA, M. D. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. D. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, p. 1321-1334, 2015

DEBORTOLI, N.; DUBREUIL, V.; DELAHAYE, F.; RODRIGUES-FILHO, S. Análise temporal do período chuvoso na Amazônia Meridional brasileira (1971-2010). **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 382–394-382–394, 2012.

FERIJAL, T.; BATELAAN, O.; SHANAFIELD, M. Spatial and temporal variation in rainy season droughts in the Indonesian Maritime Continent. **Journal of Hydrology**, v.603, n. 126999, p. 1-12, 2021.

GOMES, W. B. S.; SANTOS, A. B. A. dos. **Prática e consequências das queimadas na cidade de Palmas – TO.** 2010. Monografia (graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>>. Acesso em 30 ago. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal de 2021.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017.html>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

- KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. Charles Griffin, London, U.K., p. 220, 1975.
- LUKOVIĆ, J. CHIANG, J. C. H.; BLAGOJEVIĆ, D.; SEKULIĆ, A. A Later Onset of the Rainy Season in California. **Geophysical Research**, v. 48, n. e2020GL090350, 2021.
- MACHADO, M. A. M.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, M. H. Duração da estação chuvosa em função das datas de início do período chuvoso para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 73-79, 1996.
- MANN, H. B. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- MOREIRA, C. V. M.; COSTA, M. R. A. da; BECKER, V. Impactos de eventos extremos de precipitação na qualidade da água: uma análise cienciométrica em escala global. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 35, e. 17, p. 1-10, 2023.
- NETO, V. L. S. Avaliação da erosividade das chuvas na microrregião de Taguatinga - TO. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 1, p. 149-159, 2016.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistic**, London, v. 28, n.2, p. 126-135, 1979.
- ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.
- SALAZAR, A.; KATZFEY, J.; THATCHER, M.; SYKTUS, J.; WONG, K.; MCALPINE, C. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Global and planetary change**, v. 139, p. 97-108, 2016.
- SANSIGOLO, A. S. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, São Paulo, v. 9, p. 40-43. 1989.
- SCAGLIONI, T. P.; FERNANDES, R. K. U.; NUNES, A. B. Eventos extremos de excesso e déficit de precipitação atuantes na Bacia Hidrográfica do Camaquã no período de 1991-2020. **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 672-686, 2022.
- SEAGRO – SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA. **Agricultura**. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/seagro/agricultura/4i8bn98apzb6>>. Acesso em: 10 maio 2023.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1.379-1.389, 1968.

SILVA, M. M. C. da. *et al.* Dinâmica da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Lontra, Norte do Tocantins. **Revista Geoaraguaia**, v. 11, n. 02, p. 183-197, 2021.

SILVA, R. A.; SILVA JÚNIOR, J. L. C.; BATISTA, D. L. Variabilidade da precipitação no município de Palmas - TO. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI, 2010, Belém, **Anais** [...] Belém, XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

TAO, H.; FRAEDRICH, K.; MENZ, C.; ZHAI, J. Trends in extreme temperature indices in the Poyang Lake Basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 6, p. 1543-1553, 2014.

TEIXEIRA, M. S. **Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 219, 2010.