



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Variabilidade temporal dos atributos da estação chuvosa de Palmas, Tocantins

Roberta Araújo e Silva¹, Vinicius Cirqueira dos Santos², Girlene Figueiredo Maciel³

¹ Dra. em Meteorologia, Meteorologista, Laboratório de Meteorologia e Climatologia – LABMET, Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS-14, ALCNO 14 (Quadra 109 Norte), CEP 77001-090, Palmas, Tocantins. (63) 3929-4005. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9682-300>, roberta.as@uft.edu.br (autor correspondente). ² Engenheiro Ambiental, Quadra 207 Sul, Alameda 02, QI 03, Número 29, CEP 77015-290, Palmas, Tocantins. (63) 98516-0578. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7322-7198>, vinicius.cirqueira@mail.uft.edu.br. ³ Doutor em Recursos Naturais, Professor Associado III, Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Avenida NS-14, ALCNO 14 (Quadra 109 Norte), CEP 77001-090, Palmas, Tocantins. (63) 3929-4005. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9217-3731>, maciel@uft.edu.br.

Artigo recebido em 06/10/2023 e aceito em 25/06/2024

RESUMO

Palmas, Tocantins, a cidade construída em meio a exuberância do Cerrado, possui apenas seis meses do ano de precipitação, sofre com abastecimento de água e a ocorrência de queimadas no período de estiagem. Dessa forma, compreender a dinâmica e identificar as possíveis mudanças dos atributos (início, fim, duração e total acumulado de precipitação) da estação chuvosa de Palmas, é informação relevante para vários setores, principalmente para agricultura, planejamento de recursos hídricos e saúde. Perante isso, o objetivo desse trabalho foi identificar e avaliar estatisticamente os atributos da estação chuvosa de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021. Os atributos da estação chuvosa foram obtidos pela metodologia de Sansigolo (1989). A verificação da existência de tendência e eventuais mudanças bruscas na média da série temporal dos atributos foram obtidos através dos testes estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall, Sen's e Pettitt. Foi identificada tendência de atraso no início da estação chuvosa, encurtamento da duração dessa estação e redução significativa nos totais de precipitação. Os resultados encontrados corroboram com resultados de outras pesquisas, evidenciando mudanças no comportamento da estação chuvosa de Palmas, Tocantins, indicando expansão da estação seca, possivelmente – como apontado por outras pesquisas – em decorrência de mudanças no uso e ocupação do solo e mudanças na circulação da atmosfera.

Palavras-chave: precipitação; estação seca; análise de tendência.

Temporal variability of rainy season attributes in Palmas, Tocantins

ABSTRACT

Palmas, Tocantins, the city built amidst the exuberance of the Cerrado, has only six months of rainfall a year, suffers from water supply and the occurrence of fires during the dry season. Thus, understanding the dynamics and identifying possible changes in the attributes (start, end, duration and total accumulated rainfall) of the rainy season in Palmas is relevant information for various sectors, especially agriculture, water resource planning and health. The aim of this study was to identify and statistically evaluate the attributes of the rainy season in Palmas, Tocantins, from 1995 to 2021. The attributes of the rainy season were obtained using the methodology of Sansigolo (1989). The non-parametric Mann-Kendall, Sen's and Pettitt statistical tests were used to verify the existence of a trend and any abrupt changes in the mean of the time series of attributes. A trend was identified of a delay in the start of the rainy season, a shortening of its duration and a significant reduction in rainfall totals. The results found corroborate those of other studies, showing changes in the behavior of the rainy season in Palmas, Tocantins, indicating an expansion of the dry season, possibly - as pointed out by other studies - because of changes in land use and occupation and changes in the circulation of the atmosphere.

Keywords: precipitation; dry season; trend analysis.

Introdução

Os atributos temporais da precipitação variam de acordo com as regiões e o clima do globo (Knobe et al., 2019). A precipitação influencia o cotidiano da população, direcionando o desenvolvimento econômico e sustentável. Uma assinatura das mudanças climáticas é a alteração nas características da precipitação, como:

diminuição da frequência e aumento da intensidade da precipitação, aumento da frequência de dias secos e diminuição dos dias úmidos (Ferijal., 2020). Normalmente as condições médias de precipitação são usadas no planejamento, gestão das áreas agrícolas e recursos hídricos (Usman e Reason, 2004). No entanto, nem sempre uma

estação chuvosa classificada como dentro das condições normais apresenta distribuição regular da precipitação. Estação chuvosa com alta variabilidade pluviométrica, com episódios de chuvas pontuais intensas e de curta duração, e períodos secos relativamente longos, podem ocasionar alguns problemas ambientais, como: diminuição do lençol freático; escassez de água; aumento da ocorrência de queimadas; diminuição da qualidade do ar; aumento do número de doenças respiratórias; aumento da temperatura; diminuição na umidade do solo; e vegetação extremamente seca e quebras de produção.

Embora a atenção dos cientistas e dos tomadores de decisão, ainda esteja muito voltada para a análise da quantidade medida de precipitação. Na última década estudos sobre os atributos da estação chuvosa de uma região, como estes se comportaram na última década e se comportarão nas décadas futuras, tem sido mais frequente. Estudos realizados sobre as características da estação chuvosa no Quênia (Mugalavai et al., 2008), Zimbábue (Mupangwa, Walker, Twomlow, 2011), Gana (Owusu e Waylen, 2013), Nigéria (Oguntunde et al., 2014; Obarein e Amanambu, 2019), e Peru (Giraldez et al., 2020), identificaram mudanças na estação. Resultados semelhantes também foram encontrados para os biomas Amazônico (Debortoli et al., 2012), Pantanal (Marengo et al.; 2021), e Cerrado (Hofmann et al., 2023).

Conhecer os atributos da estação chuvosa é importante para uma investigação mais aprofundada das características sazonais, tais como diferenças na precipitação durante as estações chuvosa e seca (Ferijal et al., 2022). Entretanto, identificar as possíveis mudanças da estação chuvosa de uma região, avaliando as datas de início/término, não é tarefa muito fácil, principalmente nas regiões que abrangem o Cerrado, que apesar de possuir as duas estações bem definidas, tem alta variabilidade pluviométrica regional (Costa e Queiroz, 2021). Hofmann et al (2023), ao analisarem as tendências das chuvas e a frequência dos dias chuvosos no Cerrado brasileiro, entre 1960 e 2021, identificaram que está ocorrendo redução significativa nas precipitações e na frequência de dias chuvosos nas regiões norte e central do Cerrado. De acordo com Spinoni et al. (2020), nas próximas décadas, aumentará a frequência e a severidade dos eventos de secas meteorológicas na maior parte do mundo, resultado da diminuição da precipitação. Marengo et al. (2021), por sua vez, observam que as secas, aliadas à alta temperatura, afetaram o funcionamento hidroclimatológico de uma região,

aumentam o risco de incêndios, diminuem os níveis dos rios, impactando os seres humanos e a biodiversidade.

Palmas, capital do estado do Tocantins, foi construída de forma planejada no início dos anos 90, em meio a exuberância do Cerrado brasileiro. Apesar de planejada, a cidade enfrenta desafios ambientais, pois passou por grandes mudanças em seus padrões biofísicos desde o seu surgimento. A conversão de vegetação como floresta tropical ou savana em pastagens interrompe o ciclo hidrológico de uma bacia de drenagem, alterando o equilíbrio entre chuva e evaporação (Costa, Botta e Cardille, 2003). O regime de precipitação de Palmas é tipicamente tropical, com distribuição sazonal, máxima na primavera – verão (estação chuvosa), e mínima no inverno (estação seca). Na estação chuvosa, a população palmense fica exposta às inundações e alagamentos, em consequência da pouca capacidade de infiltração ou de escoamento. Por outro lado, na ausência de chuva, na estação seca, verificam-se queimadas e a baixa umidade atmosférica, que representam fatores de risco à saúde da população local. Silva et al. (2010) observaram irregularidade temporal da chuva, entre 1995-2010, dentro do período chuvoso de Palmas. Silva, Ries e Maciel (2020) identificaram tendência de aumento da temperatura do ar máxima e mínima em Palmas, sugeriram que esses resultados ocorreram por conta da maior retenção de energia na forma de calor sensível durante a noite, possivelmente devido a substituição da cobertura da superfície terrestre, dificultando a troca de energia entre a superfície e a atmosfera. Luković et al. (2021) observou que o incêndio florestal mais destrutivo da história da Califórnia, ocorrido em 2018, com perdas humanas e materiais, se deu pelo atraso do início da estação chuvosa. Para Bombardi, Moron, e Goodnight. (2020) e Ferijal et al. (2021) o encurtamento da estação chuvosa em uma região, pode ser consequência do desmatamento.

Dada a variabilidade da estação chuvosa em Palmas, Tocantins, sendo os acumulados de precipitação registrados na estação chuvosa a principal fonte de água, e as previsões de mudanças devido às alterações climáticas. Este estudo propõe a investigar a dinâmica da estação chuvosa, com inferência minuciosa sobre o atraso ou antecipação dessa estação, e a identificação de ocorrência de possíveis tendências nesses atributos, a partir de análises estatísticas, para o período de 1995 a 2021.

Material e métodos

Área de estudo e dados utilizados

O município de Palmas, Tocantins (Figura 01), abrange uma área de 2.227,329 km² e possui uma população estimada de 313.349 habitantes (IBGE, 2022). Apresenta Plano Diretor bem definido, situando-se entre o lago formado pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães e a Serra do Lajeado. Possui uma altitude média de 260 metros acima do nível do mar

e apresenta todo o seu território inserido no domínio Cerrado. O clima na área de estudo é classificado como tropical úmido com estação seca, apresentando temperaturas elevadas e distribuição sazonal das precipitações pluviais bem caracterizadas com dois períodos bem definidos: a estação chuvosa e a estação seca (Tullio, 2019).

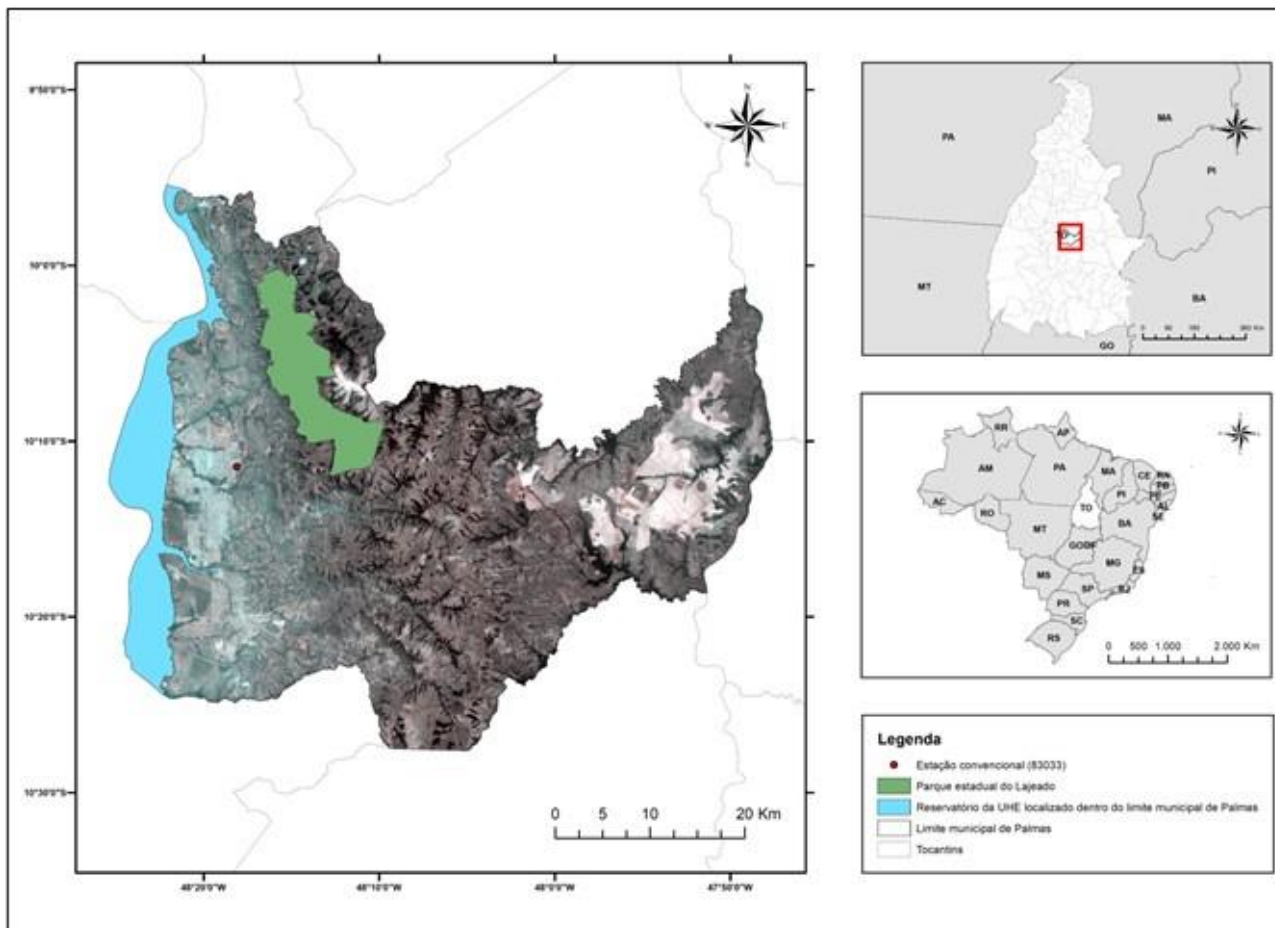


Figura 1. Localização geográfica do município de Palmas e da estação meteorológica do INMET.

Neste estudo foram utilizados dados diários de precipitação, obtidos no Banco de Dados Meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), da estação meteorológica convencional de Palmas (Cód. 83033), para o período de 1995 a 2021, com as coordenadas geográficas: 10°11'27,23'' de latitude sul; 48°18'6,56'' de longitude oeste, e altitude de 290,7 m.

Determinação da estação chuvosa (EC)

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 em dois dias consecutivos, desde que não ocorra períodos secos

superiores a sete dias durante os 30 dias subsequentes. Como Palmas, Tocantins, está localizada dentro do bioma Cerrado, 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 e Sano, 1988). A data de 1ª de março foi escolhida por ser a mais provável para regiões em que a estação chuvosa se concentra no verão.

Desse modo, a DEC (duração da estação chuvosa) 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 município de Palmas, Tocantins.

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

Testes estatísticos

Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK) é 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, sendo um teste não paramétrico (Silva et al., 2010; Costa et al., 2015). O teste de Mann-Kendall é calculado pelas Equações (2) e (3):

$$S = \sum_{i < j} a_{ij} \quad (2)$$

de modo que:

$$a_{ij} = \text{sin}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i) = \begin{cases} +1 \text{ se } \mathbf{x}_i < \mathbf{x}_j \\ 0 \text{ se } \mathbf{x}_i = \mathbf{x}_j \\ -1 \text{ se } \mathbf{x}_i > \mathbf{x}_j \end{cases} \quad (3)$$

em que: S é o somatório dos sinais da diferença, par a par, de todos os valores da série ($\mathbf{x}_i$) em relação aos valores em que a ele são futuros ($\mathbf{x}_j$).

Quando $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal ($\mu = 0$ e $\sigma^2 = 1$), na qual a sua variância ($\text{Var}(S)$), pode ser obtida através da Equação (4):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q (t_i - 1)(2t_i + 5)}{18} \quad (4)$$

em que: em que t_p representa a quantidade de repetições de uma extensão i e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados

Silva, R. A., Santos, V. C., Maciel, G. F.

em um grupo p. O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico não parametrizado de Mann-Kendall (Z_{MK}) é computado pela Equação (5). Um valor positivo de Z_{MK} indica tendência crescente, quando negativa indica tendência decrescente. O nível de significância adotado foi de $\alpha = 0,05$, que corresponde respectivamente a 5%, quando a hipótese nula de não tendência é rejeitada se $|Z_{MK}| > 1,96$ ($Z_{(1-p/2)}$) obtido da tabela de distribuição normal cumulativa padrão).

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ se } S > 0 \\ 0; \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Método de Sen's

O método não paramétrico de Sen's é usado para estimar a magnitude da inclinação de uma tendência existente - mudança por unidade de tempo (Tao et al., 2014). Este método calcula as inclinações para todos os pares ordenados de dados e, em seguida calcula a mediana dessas inclinações como estimativa da inclinação geral (SALMI et al., 2002).

As estimativas da inclinação de N pares de dados é obtida por Q_i (Equação 6), conforme Kahya e Kalayc (2004):

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad (6)$$

Onde: x_j e x_k são os valores nos períodos j e k ($j > k$), respectivamente.

Se houver n valores x_j na série temporal, obtemos N estimativas de inclinação Q_i . O número de estimativas de inclinação (N) é dado pela Equação (7).

$$N = \left[\frac{n(n-1)}{2} \right] \quad (7)$$

Onde: n é o tamanho da série.

O estimador de inclinação de Sen's é a mediana desses N valores de Q_i . Os valores N de Q_i são classificados em ordem crescente e o estimador de Sen's (Q_{mediana}), (Equações 8 e 9), dado por:

1) Se N for ímpar

$$Q_{\text{mediana}} = \left[\frac{(N+1)}{2} \right] \quad (8)$$

2) Se N for par

$$Q_{\text{mediana}} = \frac{\left\{ Q_{\left(\frac{N}{2}\right)} + Q_{\left[\frac{(N+2)}{2}\right]} \right\}}{2} \quad (9)$$

Teste de Pettitt

Para localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal foi utilizado o teste de Pettitt (Pettitt, 1979), adotando-se o nível de significância de 10% para aplicação. A estatística $U_{t,T}$, segundo Penereiro e Meschiatti (2018), pode ser calculada pelas Equações (10) e (11).

$$U_{(t,T)} = U_{(t-1,T)} + V_t \quad (10)$$

$$V_t = \sum_{j=1}^T \text{ sinal } (X_i - X_j) \quad (11)$$

A hipótese nula do teste de Pettitt admite ausência de um ponto de mudança na série. A estatística do teste de Pettitt é $K(t)$ (Equação 12), representa o ponto de mudança brusca na média da série temporal e seu nível de significância (p) é calculado pela Equação (13).

$$K_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{(t,T)}| \quad (12)$$

$$p \cong 2e^{\left\{ \frac{-6K(t)^2}{(T^3+T^2)} \right\}} \quad (12)$$

Resultados e discussão

Início da Estação Chuvosa (IEC)

Os dias de Início da Estação Chuvosa (IEC) para cada ano da série histórica analisada de Palmas, Tocantins, são apresentados na Figura 2. O IEC, em média, ocorre no dia juliano 320 (16/11). O IEC mais precoce, da série histórica analisada, ocorreu no ano de 2001, dia juliano 272 (29/09), e o mais tardio no ano de 2016, dia juliano 17 (17/01) do ano seguinte, ano de 2017.

As EC dos anos de 1996, 2006, 2010, 2012, 2015 e 2016, iniciaram tardiamente, quando comparada ao IEC médio, nos meses de dezembro e janeiro, dos anos seguintes. Nota-se, que dentre esses anos, a EC que apresentou início mais tardio foi a de 2016, que ocorreu com 63 dias de atraso, no dia juliano 17 do ano de 2017. Situação semelhante também se observou na EC de 2010, com EC iniciando no final do mês de dezembro. As

EC dos anos de 2012 e 2015 também apresentaram comportamento semelhante as citadas anteriormente, porém com EC iniciando-se nos primeiros dias julianos 7 de janeiro de 2013 e 9 de janeiro de 2016, respectivamente. Por outro lado, as EC dos anos de 2001, 2003, 2009 e 2011 apresentaram início precoce. Sendo que, nos anos de 2001 e 2003 a EC iniciou ainda no mês de setembro, ou seja, 48 dias antes do início médio, nos dias julianos 272 (29/09) e 273(30/09), respectivamente. Nos anos de 2009 e 2011 a EC iniciou em meados de outubro, nos dias 11 e 14, respectivamente, o que corresponde a 36 dias de antecedência. Observa-se que nos primeiros anos da série histórica analisada o IEC é precoce, iniciando nos meses de setembro e outubro, a partir de 2006 predomina IEC tardio.

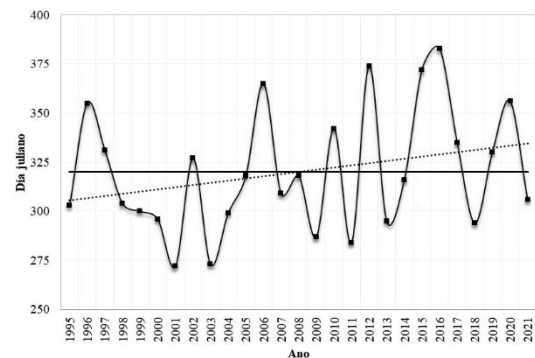


Figura 2. Variabilidade interanual do Início da Estação Chuvosa (IEC) (linha com marcador), média da IEC (linha sólida), e tendência (linha pontilhada) de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos testes estatísticos não paramétricos aplicados ao IEC de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021. Encontrou-se para o IEC tendência crescente pelo teste de Mann-Kendall, porém sem significância estatística. A inclinação de Sen's encontrada foi positiva com taxa crescente de aproximadamente 1,1 dias/ano e significância estatística. Indicando, como foi observado na Figura 2, que a IEC está começando cada vez mais tarde, com atraso em torno de 30 dias para o período de 27 anos. O teste de Pettitt encontrou que a mudança brusca na média dos dias de IEC, para a série histórica analisada, ocorreu no ano de 2014.

Tabela 1 – Resultado dos Testes Estatísticos de Mann-Kendall, Método de Sen's e Pettitt para o IEC de Palmas, Tocantins, no período 1995-2021

Série Histórica	MK	Sen's		Pettitt
		(dias.ano ⁻¹)	(dias.27anos ⁻¹)	(ano)
1995-2021	1,1	1,1*	30,4*	2014**

* nível de significância $\alpha = 0,05$; ** nível de significância $\alpha = 0,10$

Final da Estação Chuvosa (FEC)

O FEC de Palmas, Tocantins, em média, ocorre no dia 09 de maio (dia juliano 129), os valores de FEC oscilaram entre 171 e 84, como mostra a Figura 2. A EC dos anos de 2006, 2009 e 2015 terminou mais cedo, entre o final do mês de março e a primeira quinzena de abril. Na EC de 2006 o FEC ocorreu no dia 26 de março (dia juliano 84), 9 de abril (dia juliano 99) na EC de 2009 e 14 de abril (dia juliano 105) na EC de 2015. Nas EC de 2008, 2013 e 2019 o final foi mais tardio, se estendendo até o final do mês de maio e junho, respectivamente. Em 2008 a EC finalizou no dia 20 de junho (dia juliano 171), em 2013 no dia 31 de maio (dia juliano 171); e em 2019 o FEC finalizou no dia 30 de maio (dia juliano 151). Nota-se na Figura 3 que não há uma configuração de FEC precoce ou tardio.

Os resultados dos testes estatísticos não paramétricos aplicados ao FEC de Palmas, para o período de 1995 a 2021, são apresentados na Tabela 2. A análise interanual da variação do FEC pelo teste de Mann-Kendall mostra pequena tendência negativa e sem significância estatística. Esse resultado indica que a EC está terminando um pouco mais cedo.

Tabela 2 – Resultado dos testes estatísticos de Mann-Kendall, Método de Sen's e de Pettitt para o FEC de Palmas, Tocantins, no período 1995-2021

Série Histórica	MK	Sen's		Pettitt
		(dias.ano ⁻¹)	(dias.27anos ⁻¹)	(ano)
1995-2021	-0,4	-0,3*	-7,4*	2021**

* nível de significância $\alpha = 0,05$; ** nível de significância $\alpha = 0,10$

Duração da estação chuvosa (DEC)

A EC de Palmas, Tocantins, dura em média 174 dias, como mostra a Figura 4, o que corresponde a aproximadamente 6 meses. Verifica-se que a EC mais curta ocorreu no ano de 2016, com duração de apenas 84 dias, ou seja, uma EC 90 dias mais curta que a média. Também se observou EC curtas, próximo de 100 dias, nos anos de 2015 (98 dias), 2012 (106 dias) e 2006 (116 dias). Em contrapartida, a EC mais alongada ocorreu nos anos de: 2001 (238 dias), 2013 (221 dias) e 2008

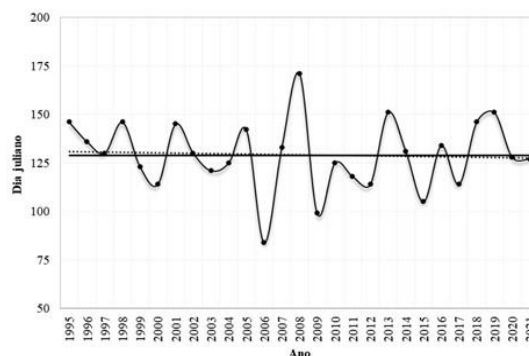


Figura 3. Variabilidade interanual do Final da Estação Chuvosa (FEC) (linha com marcador), média da FEC (linha sólida), e tendência (linha pontilhada) de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021.

Pelo estimador de Sen's encontrou tendência positiva e com pequena taxa de decrescimento de 0,3 dias/ ano, indicando que no período de 27 anos o FEC antecipou seu término em apenas 7 dias, ou seja, a estimativa é de que a EC está finalizando um pouco mais cedo. O ponto de mudança brusca no FEC, identificado através do teste de Pettitt, ocorreu no ano de 2021.

(219 dias), um alargamento de dois meses (64 dias) na EC. Nota-se que a DEC apresenta comportamento cíclico, com DEC alongada a cada 4 anos e DEC encurtada a cada 3 anos.

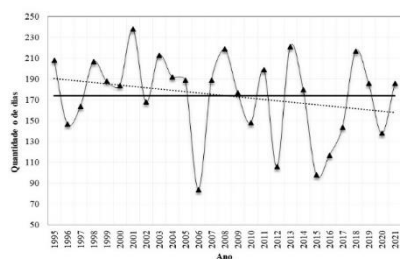


Figura 4. Variabilidade interanual da Duração da Estação Chuvosa (DEC) (linha com marcador), média da DEC (linha sólida), e tendência (linha pontilhada) de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes estatísticos não-paramétricos aplicados a DEC de Palmas (TO), para período de 1995 a 2021. O teste de Mann-Kendall mostra tendência negativa na série temporal de DEC, mas sem significância estatística. O estimador da inclinação de Sen's indicou taxa decrescente, com significância estatística, de aproximadamente 1,0 dia/ano. Indicando que no período de 27 anos houve um encurtamento na DEC, de 27 dias. O teste de Pettitt indica o ponto de mudança brusca encontrado na série em análise no ano de 2004.

Tabela 3 – Resultado dos testes estatísticos de Mann-Kendall, Método de Sen's e de Pettitt para o DEC de Palmas (TO), no período 1995-2021

Série Histórica	MK	Sen's		Pettitt
		(dias.ano ⁻¹)	(dias.27anos ⁻¹)	(ano)
1995-2021	-1,0	-1,0*	-27,0*	2004**

* nível de significância $\alpha = 0,05$; ** nível de significância $\alpha = 0,10$

Total de precipitação da estação chuvosa (TPEC)

O TPEC médio de Palmas, Tocantins, para a série histórica analisada é de 1567,6 mm. Nota-se que a EC menos chuvosa foi observada no ano de 2015 (674,2 mm) e a EC mais chuvosa ocorreu no ano de 1999 (2397,5 mm) (Figura 5). Os TPEC observados nos anos de 2015 (674,2 mm), 2012 (920,1 mm), 2016 (1064,5 mm), e 2006 (1171,9 mm), ficaram bem abaixo da média. As EC mais chuvosas ocorreram nos anos de 1999 (2397,5 mm), 2001 (2190,5 mm), e 2005 (1981,8 mm). Observa-se que nos primeiros anos da série analisada predomina TPEC acima da média ou próximo dela. Em contrapartida, nos últimos dez anos da série histórica os TPEC ficaram abaixo da média.

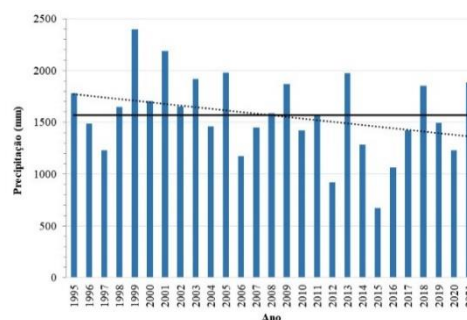


Figura 5. Variabilidade interanual do Total da Precipitação da Estação Chuvosa (TPEC) (coluna), média do TPEC (linha sólida) e tendência (linha pontilhada) de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos testes estatísticos não paramétricos aplicados a TPEC de Palmas, para o período de 1995 a 2021. O teste de Mann-Kendall mostra tendência negativa no TPEC, não significativa. O estimador de Sen's indicou taxa decrescente de aproximadamente 14,5 mm/ano para a precipitação total durante a estação chuvosa. Indicando que no período de 27 anos houve um decréscimo de 390,5 mm no TPEC do município. O ano de 2016 foi o ano que apresentou a mudança brusca na série em análise

Tabela 4 – Resultado dos testes estatísticos de Mann-Kendall, Método de Sen's e de Pettitt para o TPEC de Palmas – TO, no período 1995-2021

Série Histórica	MK	Sen's		
		(mm.ano ⁻¹)	(mm.27anos ⁻¹)	Pettitt (ano)
1995-2021	-1,6	-14,5*	-390,5*	2016**

* nível de significância $\alpha = 0,05$; ** nível de significância $\alpha = 0,10$

Precipitação mensal de 1995 a 2021

A Figura 7 mostra a distribuição mensal dos acumulados de precipitação registrados durante as EC de Palmas, Tocantins, de 1995 a 2021. Nota-se que em apenas dois anos, dos 27 analisados, a EC iniciou precocemente no mês de setembro, porém com baixos volumes pluviométricos. Nos anos de 2001 e 2003 a EC iniciou precocemente no final do mês de setembro. Isso aconteceu porque, nesses anos já era observado atividade convectiva no centro do Brasil, no mês de setembro, em decorrência do avanço de sistemas frontais (CLIMANÁLISE, set, 2001; 2003).

Nas EC dos anos de 2001, 2002, 2009 e 2011, no mês de outubro os acumulados de precipitação ficaram em torno de 200,00 mm, um pouco acima da normal climatológica mensal (144,0 mm); com exceção de 2001, com registros de acumulados de precipitação de 400,0 mm. Em outubro de 2001, 2002, 2009 e 2011 verificou-se avanço de sistemas frontais, mais de um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) por mês (CLIMANÁLISE, out, 2001; 2003). Essas condições podem ter favorecido o aumento da nebulosidade, das áreas de instabilidade, das chuvas acima de média climatológica e a data do início da EC observados nesses anos.

Como foi definido anteriormente, para a série histórica analisada e pela metodologia adotada, a EC de Palmas, Tocantins, inicia-se no dia 16 de novembro. Porém nos anos de 1999, 2001, 2018 e 2021, as EC iniciaram mais cedo, nos meses de setembro e outubro. Observa-se que nesses anos os acumulados e precipitação ficaram acima de 400,0 mm, o que corresponde a 83,4% e 97,5% acima da normal climatológica de novembro para Palmas que é de 223,6 mm (Figura 6). Nesse período a La Niña estava atuando nesses anos, ocorreram mais de um evento de ZCAS por mês, e os sistemas frontais avançaram até o centro do Brasil (CLIMANÁLISE, nov, 1999; 2001; CPTEC/INPE/INFOCLIMA, nov, 2018). Por outro

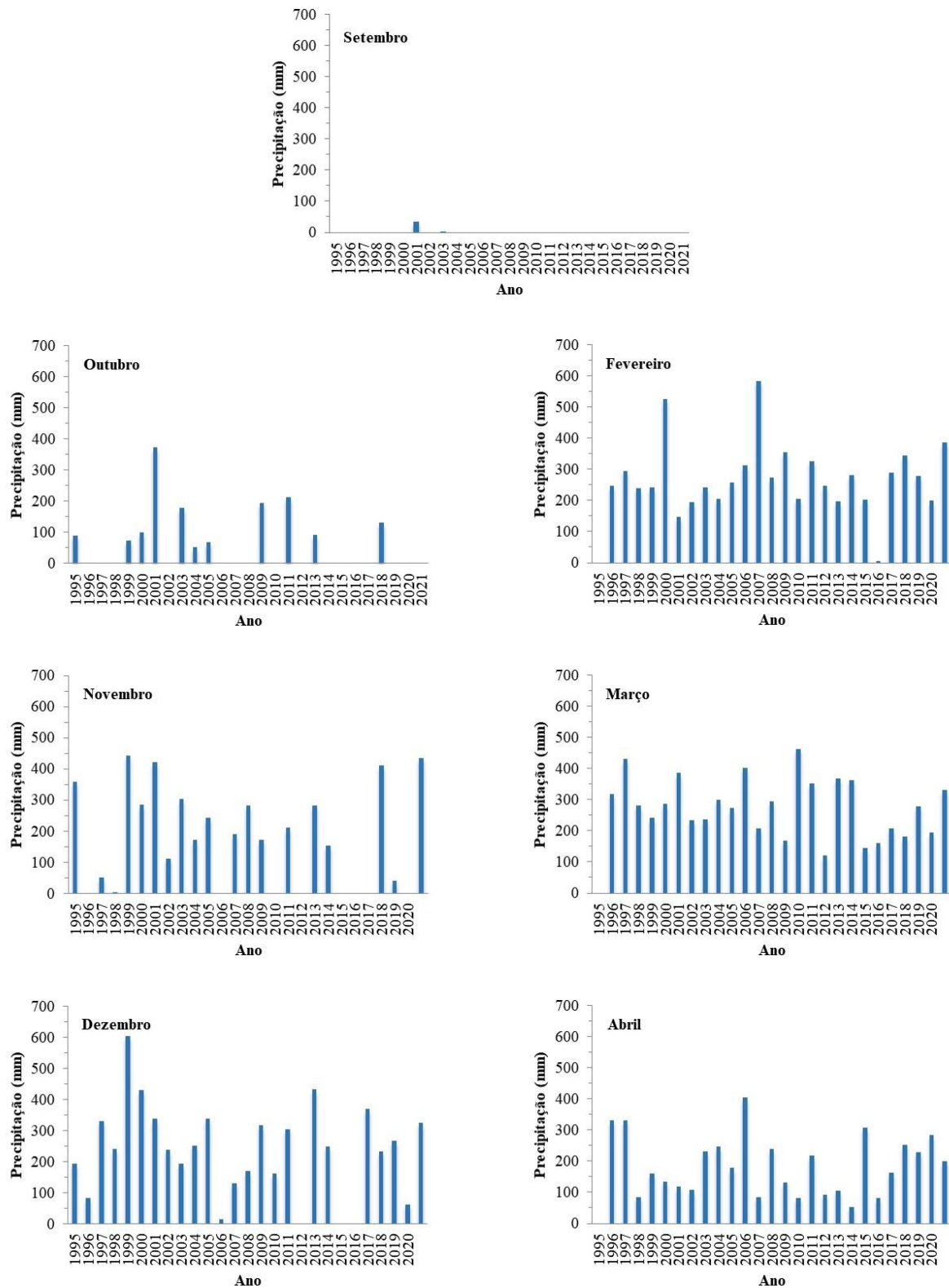
lado, nas EC de 1996, 1998, 2006, 2010, 2015, 2016, 2017 e 2020, não houve registro de precipitação no mês de novembro. Nesses anos não houve predomínio da fase positiva (El Niño) ou negativa (La Niña) do El Niño Oscilação Sul (ENOS), e outra peculiaridade dos novembros desses anos, é que não houve formação de ZCAS no mês novembro (CLIMANÁLISE, nov, 1996; 1998, 2006, 2010; CPTEC/INPE/INFOCLIMA, nov, 2017, 2020).

A análise do mês de dezembro (Figura 6), mostra que o ano mais chuvoso foi 1999, com acumulado de precipitação superior a 600,0 mm, 128,8% acima da normal climatológica (264,5 mm), seguido pelos anos de 2000 (430,0 mm) e 2013 (433,0). No mês de dezembro de 1999 a La Niña estava atuando, ocorreram mais de dois eventos de ZCAS e sete sistemas frontais (CLIMANÁLISE, dez, 1999). Em dezembro de 1996 e 2020, apesar da atuação da La Niña, a precipitação registrada não ultrapassou os 100 mm (CLIMANÁLISE, dez, 1996; CPTEC/INPE/INFOCLIMA, dez, 2020). Nos anos de 2000 e 2003, foram registrados dois episódios de ZCAS que explicam os acentuados volumes pluviométricos observados (CLIMANÁLISE, dez, 2000; 2003). Por outro lado, nos anos de 2006, 2015 e 2016 não houve registros de precipitação, ou foi menor que 20,0 mm, no mês de dezembro, quando já deveria ter se iniciado a EC de Palmas, Tocantins. Nesses três anos (2006, 2015 e 2016), provavelmente, foi a atuação do fenômeno El Niño que contribuiu para o atraso no início da EC, pois não houve episódios bem configurados de ZCAS (CPTEC/INPE/INFOCLIMA, dez, 2006, 2015; 2016). No ano de 2012 o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) apresentava condições de neutralidade, mas não se configurou episódio clássico de ZCAS e o sistema de alta pressão subtropical inibiu as chuvas na grande área central do Brasil (CLIMANÁLISE, dez, 2012).

Climatologicamente o mês de janeiro é o mês mais chuvoso de Palmas, Tocantins, com normal climatologia de 298,6 mm. Na série

histórica analisada os anos de 1999, 1998, 2002, 2003, 2004, 2010, 2016, 2017 e 2020 apresentaram acumulados de precipitação acima da climatologia,

entre 350,0 mm e 400,0 mm. Destaca-se que as EC de 2015 e 2016 iniciaram tardiamente em janeiro



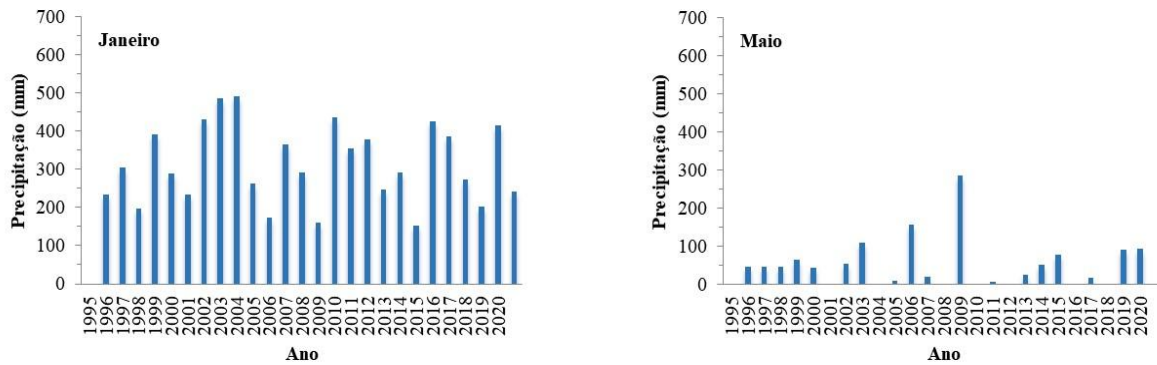


Figura 6. Acumulado mensal da precipitação observados durante a estação chuvosa de Palmas, Tocantins, para o período de 1995 a 2021

de 2016 e 2017, respectivamente. Nos meses de janeiro de 1998, 2006, 2009, e 2015, quando o El Niño estava atuando, observou-se os menores registros de precipitação para os janeiros da série analisada. Em contrapartida, no ano de 2003, com atuação de El Niño, houve a formação de três episódios de ZCAS que influenciou na formação de muita atividade convectiva sobre o Brasil (CLIMANÁLISE, jan, 2013). Nos anos de 1999, 2010 e 2020, no mês de janeiro, a La Niña estava atuando e ocorrem eventos de ZCAS (CLIMANÁLISE, jan, 1999). E em janeiro dos anos de 2002 e 2004 a fase neutra do El Niño Oscilação Sul (ENOS) estava atuante e houve a formação de mais de três episódios de ZCAS (CLIMANÁLISE, jan, 2002; 2004).

No mês de fevereiro a normal climatológica da precipitação é de 260,0 mm. Nos anos de 2000 e 2007 as precipitações ficaram bem acima da climatologia, choveu 526,7 e 583,2 mm respectivamente. Nesses anos houve a configuração de vórtices ciclônicos de altos níveis e episódios de ZCAS que favoreceram as chuvas abundantes observados no Tocantins (CLIMANÁLISE, fev, 2000; 2007). Neste mês também se destaca o ano de 2016, com registro de precipitação de apenas 4,6 mm, a CPTEC/INPE/INFOCLIMA (fev, 2016) ressalta que os meses de verão foram influenciados pela fase quente do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), principalmente nas Regiões Norte (déficit).

A climatologia da precipitação de março de 264,0 mm. Nos anos de 1997 e 2010 os acumulados de precipitação ultrapassaram os 400,0 mm. Os dois episódios mensais de ZCAS que ocorrem

nesses anos favoreceram a ocorrência dessas chuvas mais acentuadas. O março com menor acumulado de precipitação foi observado no ano 2012, essa condição se deu pela intensificação do sistema de alta, que inibiu a formação de episódios de ZCAS (CLIMANÁLISE, mar, 2012).

No mês de abril a climatologia da precipitação é 179,8 mm. No período analisado observa-se que os anos apresentaram os maiores acumulados de precipitação foram os anos de 2006 (403,8 mm) e 1997 (331,9 mm). No ano de 1997 foi a presença de um cavado e do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) na região central do Brasil e a entrada de sistemas frontais que organizaram a convecção e provocaram os elevados volumes de chuvas observados (CLIMANÁLISE, abr, 1997).

A climatologia da precipitação do mês de maio é de 60,5 mm. Nos anos de 2009 e 2006 destacam-se com os maiores acumulados de precipitação do período analisado, com volumes que ultrapassaram de 284,4 mm e 155,7 mm, respectivamente. Esses excessos de chuva estavam associados principalmente à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (CLIMANÁLISE, mai, 2006; 2009).

Palmas, Tocantins, sofre influência de sistemas atmosféricos de origem tanto tropical, sistemas que atuam na região amazônica, quanto extratropical, resquícios de sistemas frontais. A variabilidade sazonal da precipitação, com duas estações bem definidas: uma seca no inverno e outra chuvosa no verão; é influenciada pelas variações na direção do vento e na circulação atmosférica associada as condições do Oceano

Atlântico. Esses centros de ação (extensas zonas de baixa ou alta pressão), que originam movimentos da atmosfera, interferem nos fluxos de ventos predominantes (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007; Monteiro, 2022), e deslocam as massas de ar. Verifica-se que o movimento de início e fim da estação chuvosa de Palmas, Tocantins, corresponde, previsivelmente, à direção da Massa Equatorial Continental (MEC), no verão, e da Massa Tropical Atlântica (MTA), inverno. Souza (2016), em sua pesquisa sobre a atuação dos sistemas atmosféricos sobre o estado do Tocantins, observou um amplo controle dos sistemas atlânticos vindos de leste (MTA) e norte (Massa Equatorial Atlântica), interrompido ocasionalmente por avanços de sistemas continentais (MEC) vindos de oeste, sendo este o principal causador de instabilidades na primavera-verão. O deslocamento dessas massas de ar, pelos centros de ação, contribui para a área de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que o é o responsável por esses grandes volumes pluviométricos da região central do Brasil (Ferreira et al., 2004). A ZCAS é uma intensa faixa de convecção que se forma a primeira-verão e contribui para o aumento das chuvas desde a região noroeste da Amazonia até a região sudeste do Atlântico Sul (Alves e Eidt, 2021). Nota-se que esse sistema e o avanço das frentes influenciam as chuvas da estação chuvosa de Palmas. Nos anos em que verificou avanço de sistemas frontais e mais de um episódio a ZCAS na primavera, foram observadas as EC de início precoce, como é o caso dos anos de 2001, 2002, 2009 e 2011. Por outro lado, quando a ZCAS não se configurou na primavera, como foi o caso das EC de 1996, 1998, 2006, 2010, 2015, 2016, 2017 e 2020, a EC teve início a partir do mês de novembro. Para Hofmann et al. (2023) a redução nas precipitações e na frequência de dias chuvosos nas regiões norte e central do Cerrado estão associadas a intensificação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e a redução na evapotranspiração regional. Esses autores também sugerem expansão e intensificação da estação seca na região. A estação de primavera é a mais propícia as teleconexões com o Oceano Pacífico Tropical (Grimm, 2021). Segundo esse autor, na primavera, em novembro de El Niño (La Niña), fortes anomalias negativas (positivas) ocorrem no centro-leste e norte do Brasil Coelho et al (2015) destaca que a seca que afetou o sudeste do Brasil, durante o verão de 2014, está relacionada à falta de formação de ZCAS. Verdan e Silva (2021) verificaram maior (menor) frequência de ZCAS na

fase negativa (positiva) do ENOS (El Niño-Oscilação Sul).

Os resultados mostram um alongamento da estação seca de Palmas, Tocantins, devido ao encurtamento da DEC, os IEC são mais tardio e os FEC mais precoces. Esses resultados corroboram com os encontrados para os biomas Amazônico e Pantanal, por: Marengo et al. (2001); Debortoli et al (2012); Fu et al (2013); Marengo et al (2021), indicando que a expansão da estação seca na região transcende os limites do Cerrado.

Luković et al. (2021) observaram que a estação chuvosa da Califórnia (EUA) está atrasando seu início em aproximadamente 27 dias, desde 1960. O atraso de IEC ocorrido em Palmas pode estar relacionado a maior queima de biomassa, ação que culmina na emissão de partículas no ar reduzindo o total de radiação recebida pelas superfícies terrestres, causando impacto sobre o balanço de carbono e a formação de nuvens propícias a chuvas (DERBOTOLI et al., 2012). Segundo Wright et al. (2017) os mecanismos de interações entre os processos de superfície terrestre, convecção e queima de biomassa podem alterar o início da estação chuvosa.

Para Wang, Sun e Mei (2011) e Alves et al. (2017), as mudanças no uso da terra influenciam na duração da estação seca de uma região. Vários estudos mostram evidências da relação entre a redução da DEC e dos TPEC com o desmatamento local (Araujo, 2010; Butt, de Oliveira e Costa, 2011; Debortoli et al., 2012; Salazar et al., 2016; Campos e Chaves, 2020; Ferijal, Batelaan e Shanafield, 2021). Isso porque, o desmatamento provoca mudanças nos processos biofísicos terrestres após a retirada da vegetação nativa, mudando o balanço de energia local e as componentes do hidrológico. Segundo Rocha e Nascimento (2021) cerca de 41,3% da cobertura natural do bioma Cerrado já se encontra convertida para uso antrópico. Butt, de Oliveira e Costa (2011) destacam que em regiões em que a precipitação é essencialmente convectiva, como é o caso de Palmas, Tocantins, mudanças no balanço de radiação da superfície causadas pela substituição da vegetação são as prováveis causas das alterações da precipitação durante a estação úmida. Silva, Ries e Maciel (2020) identificaram tendência de aumento nas temperaturas máxima e mínima para a cidade de Palmas, Tocantins, indicando que o município já está sofrendo uma variação em seu balanço energético local, podendo ocasionar, como consequência, a maior probabilidade de ocorrência

de eventos severos na região. Embora neste estudo não tenhamos quantificado o papel das mudanças na cobertura do solo, os estudos referenciados mostram isso.

Alterações na precipitação e temperatura do ar podem favorecer a ocorrência de incêndios florestais (CORRÊA e DIAS, 2023). As atividades antrópicas, como o desmatamento, potencializam o impacto dos w por causas naturais, alongando a duração da estação seca e aumentando o risco de incêndios (Aragão et al., 2014; 2018). O atraso no IEC em Palmas, Tocantins, também pode contribuir para o aumento da frequência de focos de incêndio na região, como observou Luković et al. (2021) para o estado da Califórnia. Lafan e Quiring (2012) lembram que a variabilidade intranual da precipitação influencia mais a ocorrência de incêndios florestais do que o acumulado de precipitação anual. Sousa (2021) aponta que, entre os anos de 2015 a 2020, o ano 2015 foi o que apresentou maior índices de áreas queimadas no Parque Estadual do Lajeado - inteiramente inserido dentro do limite municipal de Palmas e sendo o detentor dos mananciais que abastecem a cidade, esse ano apontando como detentor do menor total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa do município. Os impactos ambientais e sociais do atraso no IEC, encurtamento da DEC e redução do TPEC, de Palmas, pode ser direto, através redução da disponibilidade de água e indireto, alterando a fenologia/reprodução das plantas.

Conclusão

A estação chuvosa de Palmas, Tocantins, se inicia, em média, em 16 de novembro e termina em 9 de maio, com duração de 174 dias. A data de início da estação chuvosa independe da sua qualidade, o fato da estação chuvosa começar mais cedo ou mais tarde não é um indicador de que a estação será mais abundante ou escassa. A tendência é de encurtamento da estação chuvosa de Palmas, em cerca de 1 mês em. Essa diminuição da duração da estação chuvosa reverbera nos totais acumulados de precipitação, com redução de aproximadamente 400,0 mm, e são mais acentuados no início da estação chuvosa. Os resultados encontrados também sugerem a expansão e intensificação da estação seca na região, potencialmente trazendo amplos impactos ambientais e sociais, que pode transcender os limites do Cerrado. As tendências encontradas nesse estudo corroboram com resultados de outras pesquisas para o bioma Cerrado, evidenciando mudanças no comportamento da estação chuvosa

de Palmas, possivelmente – como apontado por outras pesquisas – em decorrência de mudanças no uso e ocupação do solo. As mudanças no uso da terra das áreas de vegetação do bioma Amazônico e Cerrado podem estar mudando os processos físicos entre a atmosfera e a superfície terrestre, influenciado nas características da estação chuvosa do município. Mudanças na circulação atmosférica e aumento da subsidência regional, também contribuiu potencialmente para a redução das chuvas. Algumas regiões do Tocantins, mesmo na estação chuvosa, sofrem com escassez hídrica. Os resultados encontrados nesse estudo podem tornar os conflitos hídricos mais frequentes nos próximos anos. Portanto, avaliar os impactos dessas alterações é importante na elaboração de políticas públicas de mitigação e de resiliência.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Tocantins (PIBIC/UFT) pela concessão de bolsa ao segundo autor e ao INMET pela disponibilização dos dados de precipitação.

Referências

- Alves, L. M.; Eidt, R. T. Clima da Região Centro-Oeste. in Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática (eds. Cavalcanti, I. F. A. & Ferreira, N. J.) 61–69. Oficina de Textos, 2021.
- Alves, L.; Marengo, J.; Fu, R.; Bombardi, R. Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation. *American Journal of Climate Change*, 6, 75-98, 2017. doi:10.4236/ajcc.2017.61005.
- Aragão, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun*, 9, 536, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- Aragão, L. E. O. C. et al. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, 89, 913–931, 2014. <https://doi.org/10.1111/brv.12088>.
- Araujo, R. C. de. Efeitos do desmatamento sobre o ciclo hidrológico: uma comparação entre a Bacia do Rio Curua-Una e a Bacia do Rio Uraim. 2010. 115 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- Assad, E. D.; Sano, E., E. Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na agricultura. 20ed. Brasília, EMBRAPA. 434 p, 1988.

- Bombardi, R. J.; Moron, V.; Goodnight, J. S. Detection, variability, and predictability of monsoon onset and withdrawal dates: A review. *International Journal of Climatology*, v.40, p.641-667, 2020. <https://doi.org/10.1002/joc.6264>
- Butt, N.; de Oliveira, P. A.; Costa, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 116(D11), 2011. <https://doi.org/10.1029/2010JD015174>.
- 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, p. 157-169, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351019>.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Disponível em: <http://infoclima.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 07 mai. 2023.
- CPTEC/INPE – Infoclima: Boletim de informações climáticas. Ano 13, número 4, mês de março de 2006.
- CPTEC/INPE – Infoclima: Boletim de informações climáticas. Ano 23, número 4, mês de março de 2017.
- CPTEC/INPE – Infoclima: Boletim de informações climáticas. Ano 24, número 1, mês de janeiro de 2017.
- CPTEC/INPE – Infoclima: Boletim de informações climáticas. Ano 24, número 12, mês de dezembro de 2017.
- CPTEC/INPE – Infoclima: Boletim de informações climáticas. Ano 25, número 11, mês de dezembro de 2018.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 11, n. 11, nov. 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1196/index.html>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 11, n. 12, dez. 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1296/index.html>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 12, n. 04, abr. 1997. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0497/index.html>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 13, n. 11, nov. 1998. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1198/index.html>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 14, n. 11, nov. 1999. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1199/index.html>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 14, n. 01, jan. 1999. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0199/index.html>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 15, n. 12, dez. 2000. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1200/index.html>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 15, n. 02, fev. 2000. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0200/index.html>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 16, n. 09, set. 2001. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0901/index.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 16, n. 11, nov. 2001. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1101/index.html>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 16, n. 10, out. 2001. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1001/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 17, n. 01, jan. 2002. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0102/index.html>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 18, n. 09, set. 2003. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0903/index.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 18, n. 10, out. 2003. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1003/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 18, n. 12, dez. 2003. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1203/index.html>. Acesso em: 27 abr. 2023.

- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 19, n. 01, jan. 2004. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0104/index.html>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 21, n. 05, mai. 2006. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0506.shtml>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 21, n. 11, nov. 2006. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1106.shtml>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 22, n. 02, fev. 2007. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0207.shtml>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 24, n. 05, mai. 2009. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0207.shtml>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 25, n. 11, nov. 2010. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1110.shtml>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 27, n. 03, mar. 2012. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0312.shtml>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 27, n. 12, dez. 2012. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1212.shtml>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: INPE, v. 28, n. 01, jan. 2013. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0113.shtml>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- Coelho, C. A. S.; Oliveira, C. P.; Ambrizzi, T.; Reboita, M. S.; et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, p. 1-16, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>.
- Corrêa, T. R.; Dias, D. P. Focos de calor e sua relação com a precipitação e temperatura do ar do município de Jataí, Goiás. *Revista Verde [online]*, n.18, v.2, 2018. <https://doi.org/10.18378/rvads.v18i2.9568>.
- 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://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1).
- Costa, M. da S., Lima, K. C., Lima, K. C., Andrade, M. de M., Andrade, M. de M., Gonçalves, W. A., & 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, 1321-1334, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150071>.
- Costa, R. A.; Queiroz, A. T. Avaliação da tendência da precipitação no município de Campina Verde (MG) durante o período de 1976 a 2020. *Entre-Lugar*, v.12, n.24, p.192-208, 2021. <https://doi.org/10.30612/rel.v12i24.15138>.
- Debortoli, N., Dubreuil, V., Delahaye, F., & Rodrigues Filho, S. Análise Temporal do Período Chuvoso na Amazônia Meridional Brasileira (1971-2010). *Revista Geonorte, Ed. Especial 2*, v. 1, n. 5, 382-394, 2012.
- IBGE – INSTITUTO NRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Cidades. Rio de Janeiro, IBGE: 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 18 mar. 2022.
- Ferijal, T. Advancing the characterization of dry spells during the rainy season. 2020. 100f. Thesis (Doctor of Philosophy) - College of Science and Engineering, Flinders University, Adelaide South Australia, 2020.
- Ferijal, T.; Batelaan, O.; Shanafield, M. Spatial and temporal variation in rainy season droughts in the Indonesian Maritime Continent. *Journal of Hydrology*, v.604, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021>.
- Ferijal, T., Batelaan, O., Shanafield, M.; Alfahmi, F. Determination of rainy season onset and cessation based on a flexible driest period. *Theoretical and Applied Climatology*, v.148, p.91-104, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03917-1>
- Ferreira, N. J.; Sanches, M. E.; Silva Dias, M. A. F. Composição da zona de convergência do atlântico sul em período de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.1, 89-98, 2004.
- Fu, R.; et al. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc.*

- Nat. Acad. Sci. 110, 18110–18115, 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>.
- Giráldez, L.; Silva, Y.; Zubieta R.; Sulca J. Change of the rainfall seasonality over central peruvian Andes: onset, end, duration and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Climate, Clima* v.8, n.2, 2020. <https://doi.org/10.3390/cli8020023>.
- Grimm, A. M. Variabilidade Climática Interanual. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J. (Org.). *Clima das Regiões Brasileiras e Variabilidade Climática*. 1ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021, v. , p. 96-113.
- Hofmann, G. S.; et al. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian Cerrado. *Scientific Reports*, v.13, n.11236, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38174-x>.
- Lukovic, J.; Chiang, J. C. H.; Blagojevic, D.; Sekulic, A. A later onset of the rainy season in California. *Geophys. Res. Lett.* 48, e2020GL090350, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020GL090350>.
- Kahya, E.; Kalayci, S. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of hydrology*, v. 289, n. 1-4, p. 128-144, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006>.
- Kendal, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, p. 220, 1975.
- Knoben, W. J. M.; Woods, R. A.; Freer, J. E.: Global bimodal precipitation seasonality: A systematic overview. *International Journal of Climatology*, v. 39, p. 558-567, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5786>.
- Machado, M. A. M.; Sediya, 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*, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 73-79, 1996.
- Mann, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- Marengo, J. A.; Liebmann, B.; Kousky, V. E.; Filizola, N. P.; Wainer, I. C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, v. 14, p. 833-852, 2001. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2).
- Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; et al. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water*, v. 03, p. 13, 2021. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>.
- Mendonça, F., Danni-oliveira, I. M., 2007. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Editora Oficina de Textos.
- Monteiro, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n.1, p.312–332, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p312-332>.
- Mugalavai, E. M.; Kipkorir, E. C.; Raes, D., Rao M. S. Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, n. 6–7, p.1123-1135, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.02.013>.
- Mupangwa, W.; Walker, S.; Twomlow, S. Start, end and dry spells of the growing season in semi-arid southern Zimbabwe. *Journal of Arid Environment*, v.75, n. 11, p.1097-1104, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.05.011>.
- Obarein, O. A.; Amanambu, A. C. Rainfall timing: variation, characteristics, coherence, and interrelationships in Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*, v.137, p. 2607–2621, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2731-y>.
- Oguntunde, P. G.; Lischeid, G.; Abiodun, B. J.; Dietrich, O. Analysis of spatial and temporal patterns in onset, cessation and length of growing season in Nigeria, *Agr. Meteorologia Agrícola e Florestal*, v.194, p.77–87, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.017>.
- Owusu, K.; Waylen, P. R.. The changing rainy season climatology of mid-Ghana. *Theoretical and Applied Climatology*, v.112, p.419–430, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0736-5>.
- Penereiro, J. C.; Meschiatti, M. C. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 22, n. 02, 319-331, 2018.
- Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, London, v. 28, n.2, p. 126-135, 1979.
- Rocha, R. H.; Freitas, H. C.; Rosolem, R.; Tannus, R. N.; Negron-Juarez, R. I.; et al. Ciclo hidrológico e microclima. Pivello, V. R.; Varanda, E. M. (Org.). *O Cerrado do pé-de-gigante - Parque Estadual de Vassununga: ecologia e conservação*. São Paulo, SMA, p. 37-46, 2005.
- 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. 03, 1220-1235, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1220-1235>.
- Salazar, A. et al. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Global and planetary change*, v. 139, p. 97-108, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.01.004>.
- Sansigolo, A. S. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. *Climanálise*, São Paulo, v. 9, p. 40-43. 1989.
- 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, 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 do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Silva, R. A.; Ries, E. S.; Maciel, G. F. Tendências da temperatura anual no estado do Tocantins. *Nativa*, Sinop, v. 8, n.4, p. 544-551, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.8523>.
- Spinoni, J.; Barbosa, P.; Bucchignani, E.; Cassano, J.; Cavazos, T.; Christensen, J. H.; et al. Future global meteorological drought hotspots: a study based on CORDEX data. *Journal of Climate*, v. 33, n. 9, p. 3635-3661, 2020. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0084.1>.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0863-x>.
- 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.
- Tullio, L. Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto: Análise da distribuição espacial da temperatura de superfície em Palmas - TO. Atena Editora, v. 3, p. 172, 2019.
- Verdan, I.; Silva, M. E. S. Variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul em relação a eventos ENOS de 2000 a 2021. *Revista do Departamento de Geografia*, [S. l.], v. 42, p. e193110, 2022. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.193110>.
- Wang, G.; Sun, S.; Mei, R. Vegetation dynamics contrigutes to the multi-decadal variability of precipitation in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v 39, L19703. 2011. <https://doi.org/10.1029/2011GL049017>
- Yuan, W., et al. Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, 1416-1431, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.022>.
- Zhang, X., et al. Radiation partitioning and its relation to environmental factors above a meadow ecosystem on the Qinghai Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, v.115, d10, 2010. <https://doi.org/10.1029/2009JD012373>.
- Usman, M. T.; Reason, C. J. C. Dry spell frequencies and their variability over southern Africa. *Climate Research*, v.26, p. 199-211, 2004.