





MUDANÇAS NA SAZONALIDADE DAS CHUVAS TROPICAIS NO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS: TÉCNICAS APLICADAS AO RESERVATÓRIO CHAPÉU D'UVAS (MG)


Changes in the seasonality of tropical rainfall around reservoirs: techniques applied to the Chapéu D'Uvas reservoir (MG)

Cambios en la estacionalidad de las precipitaciones tropicales en el entorno de los embalses: técnicas aplicadas al embalse de Chapéu D'Uvas (MG)

Fabio de Oliveira Sanches  

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

fabio.sanches@ufjf.br

Thiago Alves de Oliveira  

Universidade de São Paulo (USP)

thiago.a.oliveira@usp.br

Cássia de Castro Martins Ferreira  

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

cassia.castro@ufjf.br

Yan Carlos Gomes Vianna  

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

yan.vianna@ufjf.br

Resumo: A partir da década de 1980, foram desenvolvidas pesquisas sobre a relação entre os reservatórios hídricos e a climatologia local. Este trabalho objetiva avaliar se a sazonalidade das chuvas no entorno do Reservatório Chapéu D'Uvas (MG) sofreu modificações ao longo do tempo. Foram usados dados de pluviosidade diária do posto pluviométrico Chapéu D'Uvas para o período de 1950-2021. A técnica das pântadas foi aplicada para a identificação do (a) início e do final do período chuvoso; (b) a quantidade de pântadas secas no ano e, (c) a quantidade de pântadas secas durante a estação seca. Técnicas estatísticas – estatística descritiva, equação de regressão e os testes de Mann-

Kendall e de Pettit - foram aplicados a essas séries temporais. A análise das pântadas revelou que ao longo da série há um atraso em uma pântada para o início da estação chuvosa e a antecipação em duas pântadas para o final da estação, prolongando-se assim, o período da estação seca em três pântadas (15 dias). O teste de Pettit revelou ainda que a tendência de ampliação da estação seca mostrou-se mais significativa a partir do ano de 2006. Sendo assim, as alterações observadas na sazonalidade das chuvas no entorno do reservatório, ampliando a estação seca e reduzindo o período chuvoso, podem indicar aos gestores dos recursos hídricos atenção quanto a questão da segurança hídrica local e regional.

Palavras-chave: Variabilidade climática. Segurança hídrica. Testes estatísticos. Zona da Mata Mineira.

Abstract: Since the 1980s, research has been carried out into the relationship between water reservoirs and local climatology. This study aims to assess whether the rainfall seasonality around the *Chapéu D'Uvas* Reservoir (MG) has changed over time. Daily rainfall data from the *Chapéu D'Uvas* rainfall station was used for the period 1950-2021. The pentad technique was used to identify the (a) beginning and end of the rainy season; (b) the number of dry pentads in the year and (c) the number of dry pentads in the dry season. Statistical techniques - descriptive statistics, regression equations and the Mann-Kendall and Pettit tests - were applied to these time series. The pentads revealed that throughout the series there was a delay of one pentad to the start of the rainy season and an anticipation of two pentads to the end of the season, thus extending the dry season period by three pentads (15 days). The Pettit test also showed that the trend towards a longer dry season was more significant from 2006 onwards. Therefore, the changes observed in the seasonality of rainfall around the reservoir, extending the dry season and reducing the rainy season, may indicate that public managers should pay attention to local and regional water security.

Keywords: Climate variability. Water security. Statistical tests. Zona da Mata Mineira.

Resumen: Desde los años ochenta, se viene investigando la relación entre los embalses de agua y la climatología local. Este estudio pretende evaluar si la estacionalidad de las precipitaciones en el entorno del embalse de *Chapéu D'Uvas* (MG) ha cambiado con el tiempo. Se utilizaron datos de precipitación diaria de la estación pluviométrica de *Chapéu D'Uvas* para el periodo 1950-2021. Se utilizó la técnica de pentadas para identificar (a) el inicio y el final de la estación lluviosa; (b) el número de pentadas secas en el año y (c) el número de pentadas secas durante la estación seca. A estas series temporales se aplicaron técnicas estadísticas: estadística descriptiva, ecuaciones de regresión y pruebas de Mann-Kendall y Pettit. Las pentadas revelaron que en toda la serie había un retraso de una pentada respecto al inicio de la estación lluviosa y una anticipación de dos pentadas respecto al final de la estación, con lo que el periodo de estación seca se prolongaba tres pentadas (15 días). La prueba de Pettit también mostró que la tendencia hacia una estación seca más larga era más significativa a partir de 2006. Por lo tanto, los cambios observados en la estacionalidad de las precipitaciones en torno al embalse, alargando la estación seca y reduciendo la estación lluviosa, pueden indicar que los gestores públicos deben prestar atención a la seguridad hídrica local y regional.

Palabras clave: Variabilidad climática. Seguridad hídrica. Pruebas estadísticas. Zona da Mata Mineira

Submetido em: 06/03/2024

Aceito para publicação em: 07/05/2024

Publicado em: 14/07/2024

1. INTRODUÇÃO

Como seus 8.510.417,771 km² (BRASIL, 2023), o Brasil se destaca como o maior país na região intertropical do planeta. Sua vasta dimensão, associada aos sistemas atmosféricos atuantes sobre a América do Sul (CAVALCANTI et al. 2012; REBOITA et al. 2012), proporcionam, em sua maior abrangência, climas quentes e úmidos (ALVARES et al., 2013).

Essa condição, associada a uma série de outros fatores (geologia, relevo, vasta rede hidrológica, posição geográfica no continente sul-americano etc.), favorecem a formação de empreendimentos hidrelétricos de variados portes, os quais, historicamente, proporcionaram uma série de questões de ordem econômica, social e ambiental (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 1999; CAVALCANTE; SANTOS, 2012).

Nesse contexto, estudos sobre os possíveis efeitos da formação de reservatórios artificiais (lagos, açudes, reservatório de hidrelétricas etc.) na climatologia local vêm sendo desenvolvidos no Brasil desde o final dos anos 1980.

Os trabalhos como os de Grimm (1988) para a UHE de Itaipu, Campos (1990) para UHE de Sobradinho (BA), Fisch, Januário, Senna (1990), Gunkel et al. (2003) para a UHE Curuá-Una (PA), Sanches e Fisch (2005) para a UHE de Tucuruí (PA), Souza e Galvani (2010) para UHE Porto Primavera (SP/MS); Rodrigues e Canônica (2006), Czarnobai et al. (2006) e Sanches et al. (2015) para UHE de Itá (RS/SC); Silva Filho e Rabelo (2012) e Dantas e Sales (2015) para o Açude (lago) Castanhão (CE), Sanches et al. (2017) para UHE de Passo Fundo (RS), Hoppe e Wolmann (2018) para UHE Dona Francisca (Agudo-RS), Frauches et al (2020) para o reservatório Chapéu D'Uvas (MG), Jardim et al (2020) no entorno do Lago do Funil, em Lavras (MG) e, mais recentemente, Sanches et al (2022) para a PCH Autódromo (RS) são as principais referências sobre o tema, analisando a influência dos respectivos reservatórios nas variáveis climáticas locais (temperatura, pluviosidade, ventos, umidade relativa etc.).

Considerando o reservatório Chapéu D'Uvas localizado na Zona da Mata Mineira, o trabalho de Frauches et al (2020) buscou avaliar se a formação do reservatório, no ano de 1995, alterou a dinâmica dos totais pluviométricos mensais, bem como na quantidade de dias com chuvas no seu entorno, comparando dados de 23 anos anteriores e 23 anos posteriores à formação do reservatório.

Seus resultados indicaram que não houve alterações significativas na pluviosidade

(totais mensais e dias chuvosos - chuva maior que 1mm), porém, tanto os totais pluviométricos mensais, quanto a quantidade de dias chuvosos apresentaram tendência de redução para os meses de setembro e outubro (FRAUCHES et al., 2020).

Da mesma forma, tendências de redução – não significativas por meio de testes estatísticos – da pluviosidade mensal e dos dias chuvosos (chuva >1mm) foram observadas nos meses de fevereiro (FRAUCHES et al., 2020).

As condições, observadas nos 46 anos de dados analisados despertam a atenção para a possibilidade de mudanças na distribuição das chuvas sazonais a partir de séries de dados mais longas.

Sendo assim, uma pergunta científica que se coloca é se a tal sazonalidade das chuvas (estação chuvosa e estação seca) na região do reservatório estaria sujeita há algum tipo de modificação/alteração quanto ao seu início e/ou final ao longo do tempo?

Sansígolo (1996) afirma que a definição de uma data para o início do período chuvoso é complexa devido à natureza intermitente e irregular das precipitações tropicais, podendo ser, ainda, definidas em função de diferentes formas e técnicas.

Uma das formas de identificação utilizadas pelo próprio Sansígolo (1996), Fisch (1999), Sampaio et al (2002) e Alves et al (2005) para identificação do início (e final) da estação chuvosa é a técnica das pântadas.

Fisch (1999) e Sanches et al (2014) esclarecem que uma pântada consiste no acumulado das precipitações pluviométricas no período de cinco dias consecutivos, levando ao conjunto anual de 73 pântadas. Nos anos bissextos, a 12ª pântada (25 de fevereiro a 01 e março) deve considerar o somatório de seis dias, ao invés de cinco.

Dessa forma, estaria a sazonalidade das chuvas no entorno do reservatório Chapéu D'Uvas sofrendo algum tipo de modificação/alteração a ponto de comprometer a condição de segurança hídrica do reservatório?

As anomalias climáticas observadas na região sudeste do Brasil nos anos de 2014 e 2015 (COELHO et al. 2015; MARENGO et al. 2015), despertaram a atenção dos órgãos gestores dos recursos hídricos e demais setores do poder público e privado em relação a processos de desabastecimento/acionamento, geração de energia, dessedentação animal etc.

Tais mudanças/alterações na dinâmica sazonal das chuvas seriam manifestações

regionais dos efeitos das mudanças climáticas globais devido a um planeta mais quente?

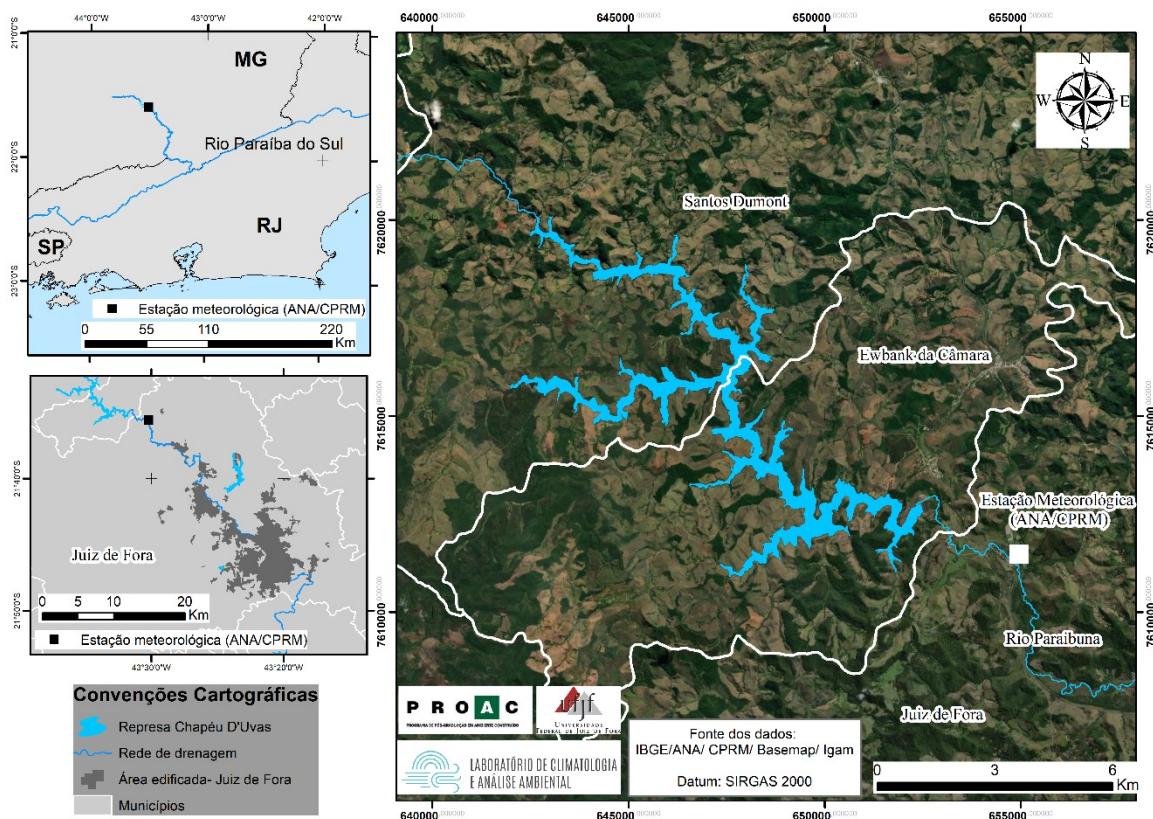
Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em verificar se há modificações no início e no final da estação chuvosa no entorno do reservatório Chapéu D'Uvas (MG) ao longo do período de 1950 a 2021, por meio de um conjunto de técnicas estatísticas aplicadas as suas séries temporais e, dessa forma, fornecer subsídios aos órgãos gestores dos recursos hídricos sobre as condições climáticas associadas à Segurança Hídrica local.

2. METODOLOGIA

2.1. Localização e caracterização climática local

O reservatório Chapéu D'Uvas localiza-se no alto curso do rio Paraibuna, na bacia do rio Paraíba do Sul, nos municípios de Ewbank da Câmara (barramento) e Santos Dumont, em Minas Gerais. Implantado no ano de 1995, o reservatório possui uma lâmina d'água de 12 km² e cerca de 23 km de extensão (FRAUCHES et al., 2020) (Figura 1).

Figura 1 - Localização do reservatório Chapéu d'Uvas.



Fonte: Frauches et al (2020).

O regime pluviométrico na região onde se localiza o reservatório apresenta volumes anuais em torno de 1.494,8 mm, distribuídos em duas estações distintas, típicas de uma condição de tropicalidade: uma chuvosa, de outubro a março e, uma seca, de abril a setembro (FERREIRA, 2012; OLIVEIRA et al., 2020).

Devido a sua localização geográfica, a região sofre ação de diversos sistemas atmosféricos (mTa, mPa, Sistemas Frontais, Linhas de Instabilidade, ZCAS, ZCOU, JBN etc.), bem como os efeitos de modos de variabilidade climática (ENOS, por exemplo), condicionam a dinâmica das chuvas na região (MINUZZI et al., 2007; CAVALCANTI et al., 2009).

2.2. Dados pluviométricos

Para este trabalho foram utilizados dados pluviométricos diários obtidos do posto pluviométrico Chapéu D'Uvas (cod. 02143020), disponível no repositório de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>), para o período de 1950-2021.

2.3 Técnicas estatísticas de análise

Os dados diários foram agrupados em pântadas para aplicação de metodologia de identificação de início e do fim da estação chuvosa, conforme recomendado por Fisch (1999).

Um pântada consiste no somatório das precipitações pluviométricas de cinco dias consecutivos, totalizando um conjunto anual de 73 pântadas. Nos anos bissextos, a 12ª pântada (25 de fevereiro a 01 e março) deve considerar o somatório de seis dias, ao invés de cinco (FISCH, 1999; SANCHES et al., 2014).

Em condições de clima tropical (sazonalidade anual das chuvas) é importante destacar os parâmetros recomendados por Fisch (1999) para a definição do início (final) da estação chuvosa.

Tendo em vista a evapotranspiração média diária ser de aproximadamente 3 mm.dia⁻¹, o autor considera que a sequência crescente de três pântadas com valores iguais ou superiores a 15mm, cada uma, seja parâmetro a ser considerado para definir o início da estação chuvosa.

Alves et al (2005) e Sampaio et al (2020), reforçam, ainda, que essa sequência de três pântadas com esses volumes (igual ou superior a 15mm) deve ocorrer a partir da pântada 37 (30 de junho a 4 de julho), posicionada no meio da estação seca.

Já para a identificação do final da estação chuvosa/início da estação seca, deve-se igualmente considerar a sequência crescente das últimas duas pântadas com valores iguais ou superiores a 15mm cada, antes do início do período seco.

Após o agrupamento dos dados diários em pântadas, da identificação das respectivas posições correspondentes ao início e final da estação chuvosa para cada ano, o quantitativo anual de pântadas secas (sem dados pluviométricos) e a quantidade anual de pântadas secas na estação seca no decorrer dos 72 anos da série (1950-2021), foram extraídos parâmetros básicos de estatística descritiva (médias, modas e medianas, desvios-padrão, valores máximos e mínimos, amplitude dos dados e coeficientes de variação expresso em porcentagem).

Em seguida, foram analisadas as tendências – linear e médias móveis (5) – das séries de dados obtidas (início e final da estação chuvosa, quantidade de pântadas secas no ano e quantidade de pântadas na estação seca), bem como as estimativas de mudança na posição



das pêntadas ao longo da série por meio das respectivas equações de regressão do tipo (Eq. 1).

$$y = ax \pm \beta \quad (\text{Eq. 1})$$

O Teste de Mann-Kendall (MK) foi usado para avaliar as séries temporais das posições de início e final da estação chuvosa.

O MK adota, inicialmente, a hipótese da estabilidade (H_0) da série temporal, onde os valores (X_i) devem ser independentes e sua probabilidade deve permanecer sempre a mesma. Dessa forma, para a comprovação de H_0 , deve-se calcular a posição de cada elemento em relação aos outros valores da série, de maneira que R_n representa a sequência de números que especificam a ordem relativa da série temporal de X_i . O próximo passo consiste em determinar o sinal para cada número-ordem pelas funções sinal ($R_j - R_i$), (Eq. 2), conforme recomendam Folhes e Fisch (2006), Blain (2009), Sanches et al. (2013) e outros, onde:

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1; \text{para } R_j - R_i > 0 \\ 0; \text{para } R_j - R_i = 0 \\ -1; \text{para } R_j - R_i < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo assim, considerando a hipótese nula (H_0), o teste consiste no somatório apresentado (Eq. 3):

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(R_j - R_i) \quad (\text{Eq. 3})$$

Assumindo-se que a hipótese H_0 seja verdadeira, a estatística S apresenta uma distribuição aproximadamente normal gaussiana, com média igual a zero e variância (VAR) conforme a equação 4 (Eq.4):

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1) \cdot (2n+5)}{18} \quad (\text{Eq. 4})$$

E por fim, o valor da estatística de MK é dado considerando os parâmetros dispostos (Eq. 5).

$$MK = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 5})$$

Uma vez concluída a aplicação da estatística de MK, cabe tomar a decisão final de aceitar a hipótese de que não há tendência na série analisada (H_0), ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa (H_1). O sinal da estatística de MK indica se a tendência é crescente ($MK > 0$) ou decrescente ($MK < 0$).

Dessa forma, considerando o nível de significância de 95% ($p\text{-value} = 0,05$), a hipótese H_0 deverá ser rejeitada sempre que o valor de MK for inferior a -1,96 e superior a +1,96 ($-1,96 \leq z \leq 1,96$).

Já o teste de Pettit, que é conjuntamente utilizado ao teste Mann-Kendall, tem como intuito verificar o ponto de ruptura na série de dados analisada, quando observada tendência significativa de mudança pelo MK.

Este teste, calculado no software Excel 2013, consiste em observar se um conjunto de dados de uma “amostra X_1, X_2, \dots, X_t e $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_t$ são da mesma população. Na estatística U_t, T verifica o número de vezes que um elemento da primeira amostra é maior que um elemento da segunda” (BLAIN, 2010, p. 117).

Segundo Back (2001, p. 219) “a estatística U_t, T faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda, e pode ser calculada pela equação 6 (Eq. 6).

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (\text{Eq. 6})$$

Para $t = 2, \dots, T$; $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

Dessa forma, o ponto de ruptura será definido pelo valor máximo absoluto da estatística de U_t , definido pela equação 7 (Eq. 7).

$$K(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (\text{Eq. 7})$$

Além disso, para definir o ponto de mudança brusca é o t onde ocorre o máximo de k (t). Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação 8 (Eq. 8):

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln * \left(\frac{p}{2}\right) * (T^3 + T^2)}{6}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde: p= nível de confiança estatística (0,05 e 0,1) e T é o número de elementos da série de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A organização dos dados diários em séries de pântadas permitiu que fossem aplicadas as técnicas para identificação das pântadas de início e final da estação chuvosa, a quantidade de pântadas secas para cada ano da série temporal e a quantidade de pântadas secas no período da estação seca. Os resultados estão dispostos na Tabela 1, bem como os parâmetros estatísticos para cada série de temporal.

Tabela 1- Posição das pântadas de início e final da estação chuvosa, quantidade de pântadas secas para cada ano, quantidade de pântadas secas durante a estação seca e parâmetros estatísticos.

Ano	Início da Estação chuvosa	Final da Estação chuvosa	Pântadas secas no ano (Quant.)	Pântadas secas na estação seca (Quant.)
1950	59	25	30	33
1951	66	20	28	45
1952	52	19	24	32
1953	61	22	31	38
1954	58	27	32	30
1955	58	19	30	38
1956	61	17	23	43
1957	53	20	22	32
1958	51	22	27	28
1959	59	18	32	40
1960	59	18	25	40
1961	61	16	29	44
1962	58	14	27	43
1963	59	13	46	45
1964	56	11	27	44
1965	54	18	24	35
1966	61	21	28	39
1967	61	19	28	41
1968	57	16	39	40
1969	59	19	25	39
1970	48	21	22	26
1971	54	15	33	38
1972	54	20	25	33
1973	59	23	26	35
1974	58	18	32	39
1975	54	12	29	41
1976	45	18	21	26
1977	49	20	31	28
1978	57	18	27	38
1979	46	17	25	28
1980	57	22	35	34
1981	46	15	28	30
1982	56	19	23	36
1983	50	21	22	28
1984	48	14	27	33
1985	54	18	34	35
1986	46	14	22	31
1987	53	16	20	36
1988	58	11	30	46
1989	55	15	29	39
1990	62	22	33	39

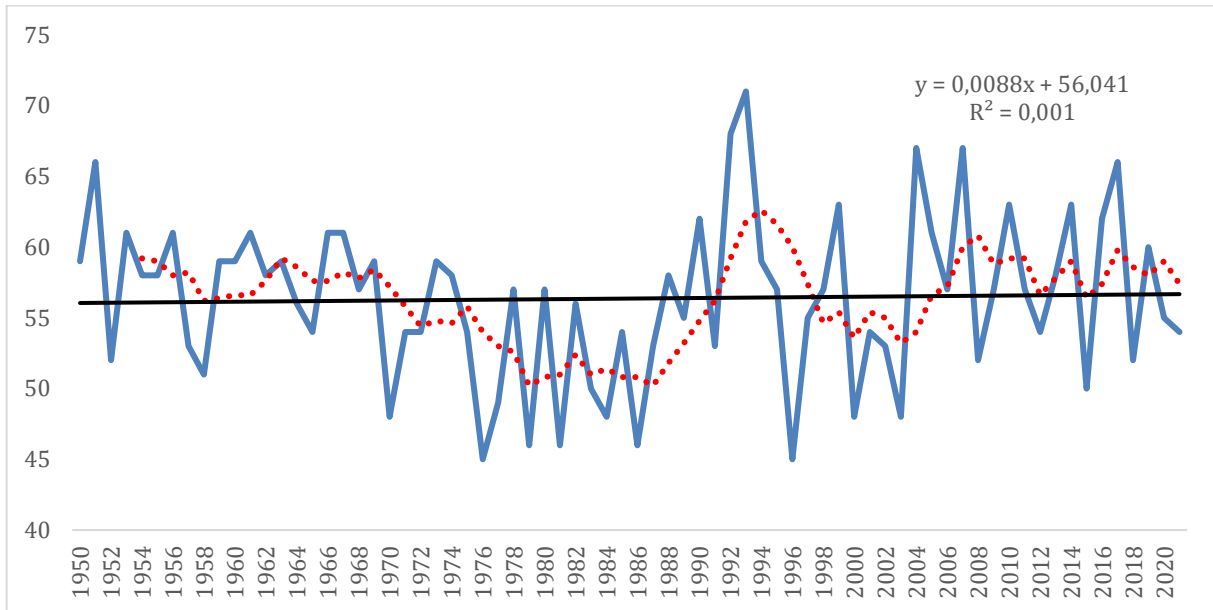
1991	53	19	27	33
1992	68	8	29	59
1993	71	19	25	51
1994	59	16	30	42
1995	57	9	27	47
1996	45	17	27	27
1997	55	13	33	41
1998	57	17	24	39
1999	63	15	29	47
2000	48	16	23	31
2001	54	15	27	38
2002	53	11	28	41
2003	48	21	29	26
2004	67	21	22	45
2005	61	24	22	36
2006	57	15	26	41
2007	67	17	36	41
2008	52	21	26	30
2009	57	20	27	36
2010	63	20	30	42
2011	57	20	32	36
2012	54	25	33	28
2013	58	21	28	36
2014	63	22	43	40
2015	50	18	37	31
2016	62	15	36	46
2017	66	4	40	61
2018	52	21	26	30
2019	60	21	32	38
2020	55	13	28	41
2021	54	15	31	38
Média.	56	18	29	38
Mod.	54	21	27	38
Med.	57	18	28	38
D.P.	6	4	5	7
Máx.	71	27	46	61
Mín.	45	4	20	26
Ampl.	26	23	26	35
CV (%)	10,2	23,3	17,7	18,7

Legenda: Mod. (moda); Med. (mediana); D.P. (Desvio padrão); Máx. (valor máximo); Min. (valor mínimo); Ampl. (amplitude) e CV (coeficiente de variação expresso em porcentagem).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A Figura 2 apresenta a série temporal com os dados de início da estação chuvosa, bem como sua tendência linear e médias móveis (5).

Figura 2 - Série de dados demonstrando a posição da pênstada do início da estação chuvosa, sua tendência linear ao longo da série e médias móveis (5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os parâmetros estatísticos extraídos da série revelam que, em média, o início da estação chuvosa no entorno do reservatório Chapéu D'Uvas ocorreu na pênstada 56 (3 a 7 out). Esse resultado assemelha-se aos encontrados por Sampaio et al (2002) e Alves et al (2005) para uma grande área da região Sudeste, nos quais os trabalhos apresentaram o início da estação chuvosa na pênstada 57, ou seja, no período de 8 a 12 de outubro.

Algumas observações merecem ser feitas a ambos os trabalhos com relação aos recursos (dados) que foram utilizados. Sampaio et al (2002) utilizaram dados do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera MCGA CPTEC/COLA, com resolução de 0,25° de latitude e de longitude. Já no trabalho de Alves et al (2005), os autores utilizaram dados pluviométricos provenientes de reanálise climática do NCEP/NCAR (resolução de 2,5° de latitude e de longitude).

Dessa forma, cabe ressaltar que mesmo utilizando bases de dados distintas – reanálises com diferentes resoluções e com dados observacionais de superfície - a metodologia/técnica da pênstada para a identificação do início da estação chuvosa apresentou similaridades para as condições tropicais em parte do sudeste do Brasil.

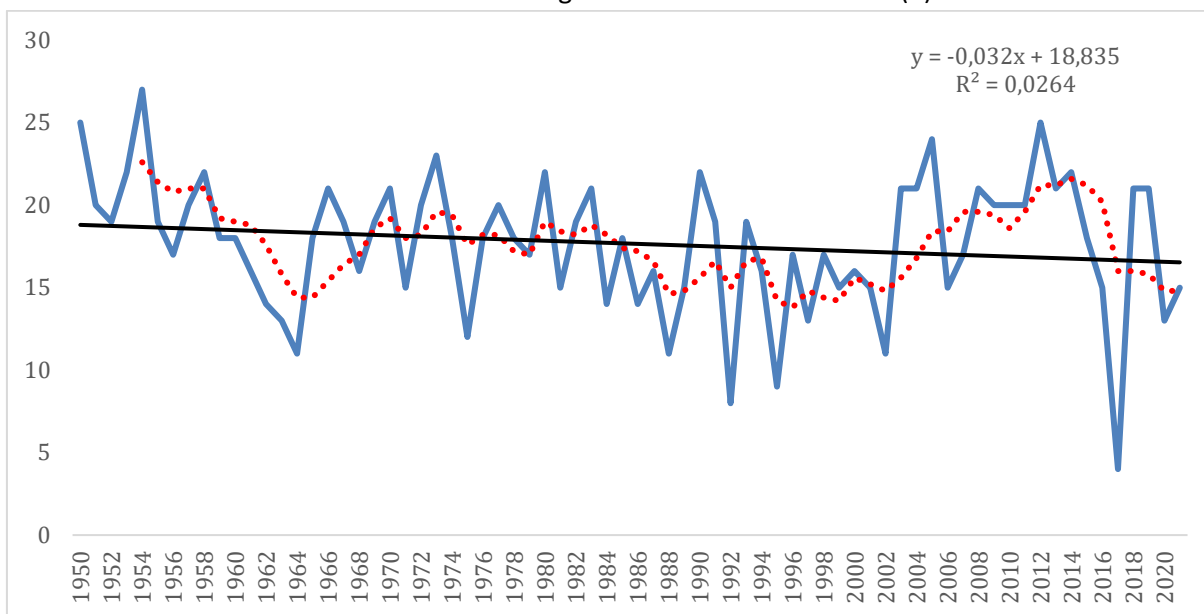
A equação de regressão obtida para os dados de início da estação chuvosa indicou uma mudança da pênstada 56 (no início da série) para a pênstada 57 (final da série) ao longo da série.

No início da série (anos 1950), o início da estação chuvosa ocorria, em média, entre os dias 3 e 7 de outubro e, atualmente (nos anos 2020), o início da estação chuvosa ocorre entre os dias 8 e 12 de outubro, tendência de deslocamento de uma pênstada para frente.

A Figura 2 ainda demonstrou que a posição da pênstada de início da estação chuvosa sofreu forte variação ao longo da série, provavelmente frente à ação de modos de variabilidade (ENOS, por exemplo), ora antecipando o início, ora retardando o início da estação chuvosa (aumentado a posição da pênstada de retorno).

A Figura 3 apresenta a tendência linear e médias móveis (5) da pênstada correspondente ao final da estação chuvosa no longo dos 72 anos da série de dados.

Figura 3 - Série de dados demonstrando a posição da pênstada do final da estação chuvosa, sua tendência linear ao longo da série e médias móveis (5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Parâmetros estatísticos obtidos a partir da série de dados do final da estação chuvosa indicam que, em média, o fim desta estação ocorre entre os dias 27 e 31 de março (pênstada 18).

A tendência de redução observada nos dados ao longo da série (Figura 3) revela mudanças na posição da pênstada que indica o final da estação chuvosa. A partir da equação da reta de regressão, nos anos 1950, o final da estação chuvosa ocorria em torno da pênstada 19 (de 1 a 5 de abril), enquanto que mais recentemente, nos anos 2020, o final da estação

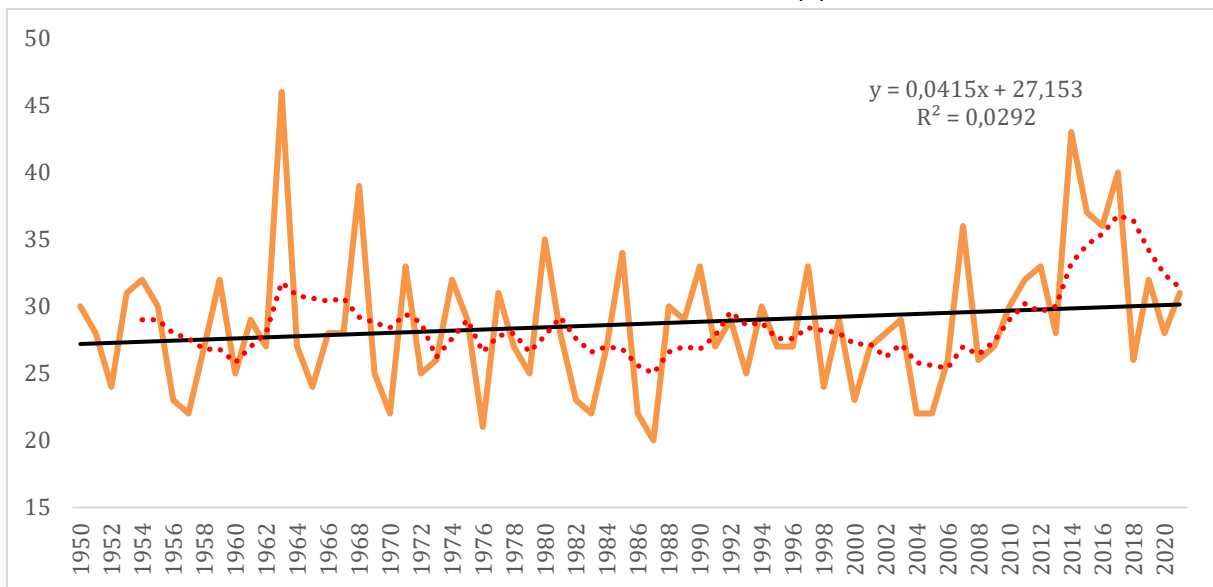
chuvosa ocorre, em média, entre os dias 22 e 26 de março. Uma redução de aproximadamente 10 dias na estação chuvosa, ou seja, redução em duas pênaldas em média.

Infelizmente os trabalhos de Alves et al. (2002), Sampaio et al. (2002) e Alves et al. (2005) não abarcaram estudos sobre o final da estação chuvosa, apenas a identificação de seu início.

Porém, dada a similaridade dos resultados obtidos nesses trabalhos (utilizando dados de reanálise) com os observados no presente estudo (com dados observados em superfície) para o início da estação chuvosa, é possível considerar a forte significância dos resultados frente ao emprego da técnica das pênaldas.

A Figura 4 apresenta a quantidade de pênaldas secas no ano ao longo da série temporal (1950-2021) e suas tendências (linear e médias móveis).

Figura 4 - Série de dados demonstrando a quantidade de pênaldas secas ao longo da série, sua tendência linear e médias móveis (5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

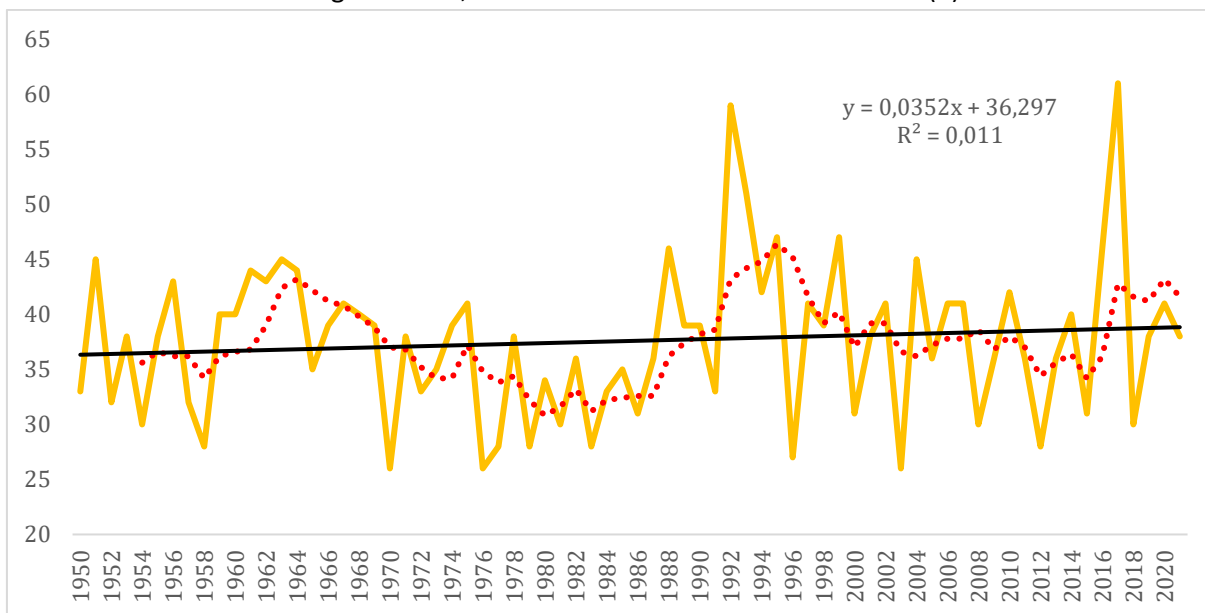
A estatística da série indicou que há, em média, 30 pênaldas secas ao ano. A tendência crescente observada ao longo da série indicou que nos anos de 1950 (início da série) ocorriam cerca de 27 pênaldas secas e que no final da série (nos anos 2020) ocorrem cerca de 30 pênaldas secas no ano. Um incremento médio de três pênaldas secas, ou seja, de 15 dias secos no ano.

Essa tendência de aumento na quantidade de pântadas secas entre o início e o final da série temporal está associada a tendência de redução do período chuvoso com a antecipação do final da estação chuvosa da pântada 19 para a pântada 17 (redução de cerca 15 dias), bem como na diminuição de eventos pluviométricos.

O trabalho de Frauches et al (2020) já indicava a tendência de redução na quantidade de dias de chuva, mesmo ainda que majoritariamente nos meses de setembro e outubro.

Já a Figura 5 mostra, ano a ano, a quantidade de pântadas secas referentes ao período seco, assim como suas tendências linear e médias móveis.

Figura 5 - Série de dados demonstrando a quantidade de pântadas secas referentes ao período seco ao longo da série, sua tendência linear e médias móveis (5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os parâmetros estatísticos extraídos indicam que o período seco corresponde a 38 pântadas em média. Variações no período seco observadas ao longo da série podem estar associadas a ação de modos de variabilidade climática (ENOS, por exemplo), uma vez que o quantitativo dessas pântadas diminuiu nas décadas de 1970 e 1980, e aumentando na década seguinte (anos 1990).

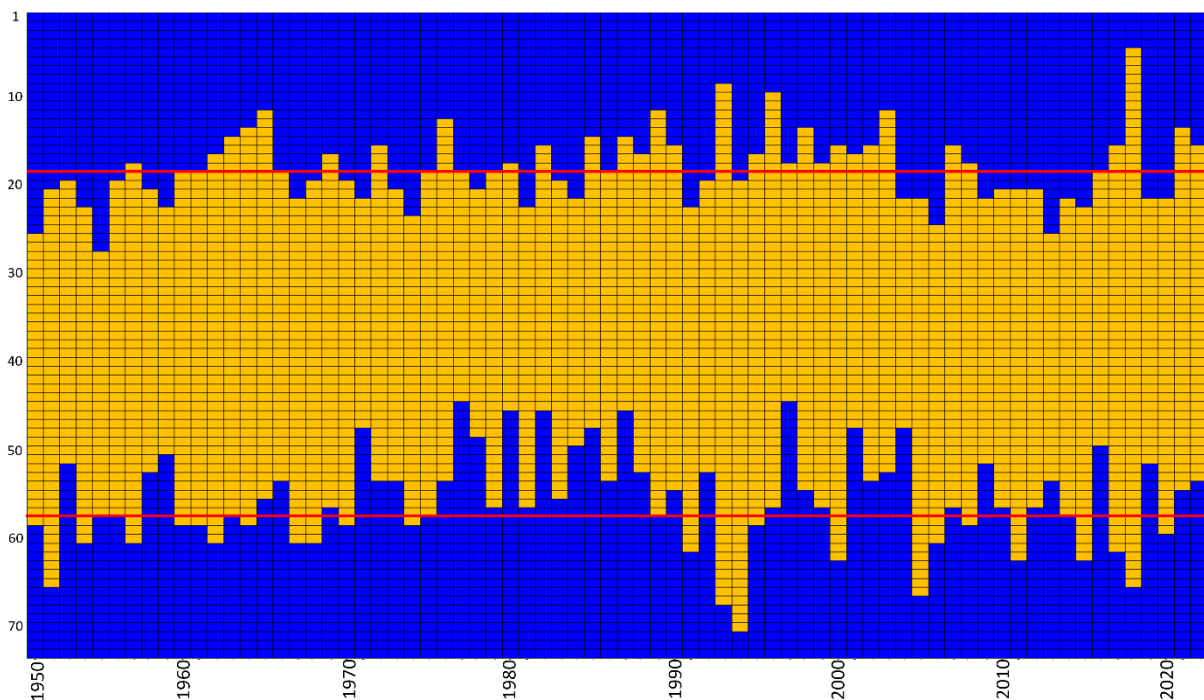
A tendência de aumento observada indica, também, que no início da série o período seco compreendia, em média, a um conjunto de 36 pântadas. Já no final da série, esse período correspondia a 39 pântadas, ou seja, uma ampliação média do período seco em torno de três

pêntadas (15 dias).

Esses resultados corroboram com os resultados obtidos para a antecipação do final da estação chuvosa (redução da pêntada 19 para a pêntada 17), bem como com a tendência de aumento na quantidade de pêntadas secas no decorrer da série (deslocando o retorno da estação chuvosa da pêntada 56 para a pêntada 57). Tais evidências confirmam modificações no padrão dos dias de chuva que impactam na duração da estação chuvosa.

A Figura 6 demonstra a distribuição temporal das estações secas e chuvosas a partir da identificação de suas respectivas pêntadas de início de final da estação chuvosa.

Figura 6 - Distribuição temporal das estações chuvosa (azul) e seca (laranja) a partir da técnica das pêntadas e as medianas das pêntadas (linha vermelha) de início (pêntada 57) e final da estação chuvosa (pêntada 18).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O fato é que mudanças sutis podem ser identificadas quando analisadas longas séries temporais de dados, permitindo considerar se tais alterações são decorrentes da ação de modos de anomalias de longo prazo ou serem associadas a mudanças nos padrões climáticos.

As séries temporais de dados das pêntadas foram submetidas a avaliação de tendência com o teste MK, sendo os resultados dispostos na Tabela 2.

Tabela 2- Resultado da estatística de Mann-Kendall para as series de início e final da estação chuvosa, quantidade de pêntadas secas para cada ano, duração da estação seca (em quantidade de pêntadas).

	Início da Estação chuvosa	Final da Estação chuvosa	Pêntadas secas no ano (Quant.)	Estação seca (Quant. pêntadas)
MK	1,04	-0,26	1,38	0,47

Os resultados da estatística MK na avaliação das séries temporais, em um nível de significância de 95% (*p-value*: 0,05), demonstram que nenhuma tendência (de aumento ou de redução) foi considerada significativa para mudança de comportamento.

Confrontando os resultados das mudanças de posição das pêntadas por meio das equações das retas, com os resultados da avaliação do MK para as séries temporais, reforça-se o caráter de sutileza observado nas mudanças no início e final da estação chuvosa, bem como na duração e intensidade da estação seca, obtidas por meio das análises pentadais.

Conforme afirmam Folhes e Fisch (2006), Blain (2009), Sanches et al. (2013) e outros pesquisadores, o MK constitui-se de um teste consagrado e amplamente utilizado na literatura que avalia tendências de séries temporais buscando identificar mudanças no comportamento entre o início e final delas.

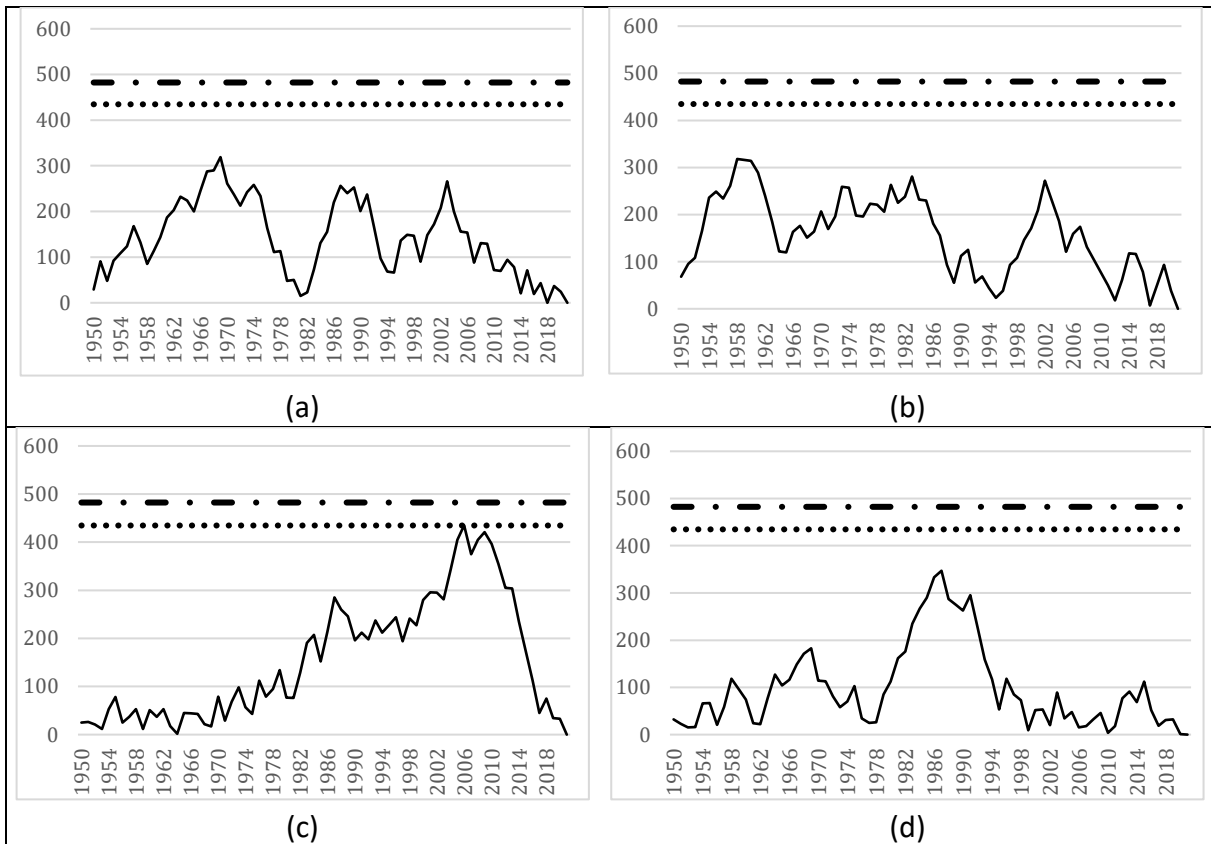
Não se trata de desqualificar o teste na avaliação de tais séries temporais, mas apenas ressaltar que mudanças sutis podem não ser captadas por meio de sua aplicação, incorrendo na possibilidade de erros de interpretação, uma vez que seus scores MK estariam (e estão) dentro do intervalo de confiança ($-1,96 \leq z \leq 1,96$) e aceitação da hipótese H_0 , e, portanto, de que não há tendência significativa para mudança.

Já o teste de Pettit permite avaliar rupturas na série de dados, bem como o período desta ruptura, tendo o teste sido aplicado para os dados de início e fim da estação chuvosa, bem como a quantidade de pêntadas secas e a duração da estação seca (Figura 7).

Os dados do início e fim da estação chuvosa (Figura 7a, b) indicaram que não houve ruptura na série de dados observados, considerando a significância a 10% e 5%. Com relação à quantidade de pêntadas secas (Figura 7c) foi possível identificar uma mudança abrupta nos dados, assinalada pelo teste com ruptura, a partir de 2006.

Por fim, a duração da estação seca (Figura 7d), assim como as séries de início e final da estação chuvosa (Figura 7a, b), não registraram ruptura de acordo com o teste aplicado.

Figura 7 – Resultado do teste de Pettit para as séries de dados do início **(a)** e final **(b)** da estação chuvosa, quantidade de pântadas secas **(c)** para cada ano e duração da estação seca **(d)** (em quantidade de pântadas).



Legenda: (- - - -) nível de significância de 10%; (.....) nível de significância de 5%.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

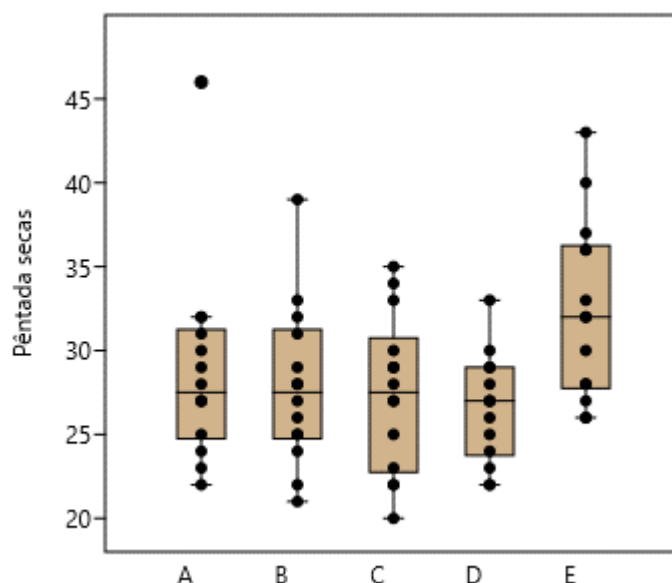
Conforme destacado anteriormente, apenas a série de dados referentes à quantidade de pântadas secas apontou uma ruptura no conjunto de dados. Com base na série, a partir do ano de 2006 há um maior número de pântadas secas para o posto pluviométrico analisado.

Comparando apenas as médias por período, o período A (1951-2006) registrou uma média de 27,7 pântadas secas por ano, enquanto que o período B (2007-2021) tem em média 32,3 pântadas secas. Cabe esclarecer que durante todo o período, os dados pluviométricos foram coletados utilizando-se o mesmo equipamento (pluviômetro *Ville de Paris*).

Ao comparar os dados de todos os períodos de 14/15 anos (Figura 8), observa-se que, realmente, o último período (E) se destacou em relação aos demais períodos da série.

O conjunto de dados do período E (2007-2021) apresentou uma mediana superior ao 3º quartil de todos os conjuntos anteriores, ou seja, maior que 75% dos dados registrados nos períodos anteriores, e ainda anteriores à própria ruptura em 2006.

Figura 8 – Box plot com a quantidade de pântadas secas para períodos de 14/15 anos.



Legenda: A= 1951-1964; B= 1965- 1978; C= 1979-1982; D= 1993-2006; E= 2007-2021.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário onde as mudanças climáticas são uma realidade, identificar possíveis alterações no início e no final das estações chuvosa e seca passa a ter importância estratégica para a gestão dos recursos hídricos.

Considerando que o reservatório Chapéu D’Uvas possui como função estratégica controlar o volume do rio Paraibuna a jusante do barramento e servir como manancial de abastecimento público para a cidade de Juiz de Fora (MG) e região, mudanças no padrão das chuvas podem, de alguma forma, comprometer tais funcionalidades.

A ampliação dos estudos sobre a climatologia das chuvas no entorno do reservatório, buscando caracterizar o início e o final da estação chuvosa, revelou mudanças sensíveis que merecem atenção.

A aplicação da técnica das pântadas indicou que não houve mudanças significativas no início do período chuvoso ao longo dos 72 anos de dados analisados. O início do período chuvoso ocorre no mês de outubro, sobretudo na primeira quinzena do mês, em média (pântada 57).

No entanto, a mesma técnica revelou tendência média de redução do período chuvoso da pântada 19 (de 1 a 5 de abril) para a pântada 18 (de 22 a 26 de março) ao longo da série

analisada, ampliando temporalmente a estação seca (aumentando o quantitativo de pântadas do período seco).

No entanto os dados ainda revelaram tendência de aumento na quantidade de pântadas secas (sequência de 5 dias sem registro de chuva), indicando um aumento na quantidade de dias secos ao longo da série, podendo, igualmente, ser associada a tendência de redução do período chuvoso.

O fato é que tais mudanças, por mais sutis que possam se manifestar, sob condições de anomalias climáticas (amplificadas devido ao aquecimento global) podem reduzir ainda mais os volumes pluviométricos, reduzir a quantidade de dias chuvosos, anormalmente ampliar a quantidade de dias secos por meio da atuação de bloqueios atmosféricos, por exemplo, elevar as temperaturas do ar e assim promover maior evaporação das águas do reservatório etc., comprometendo as condições de segurança hídrica em função da disponibilidade de água que entra no sistema (chuvas).

Embora os resultados do teste MK não tenham apontado significância estatística para as séries de dados analisadas, a aplicação do teste de Pettit sugeriu também que não há ruptura significativa para o posicionamento do início e fim da estação chuvosa, bem como sua duração. Entretanto, observou-se uma elevação significativa nos dados referentes à quantidade de pântadas secas.

Tal condição, com significância estatística, corrobora com a ideia de redução do período chuvoso (ampliação da estação seca) indicado pelas mudanças na posição de início e final da estação chuvosa, por meio da técnica das pântadas, e pelo aumento na quantidade de pântadas seca ao longo da série.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade e Pesquisa – PQ2 (Processo: 308228/2021-9). Já o segundo autor agradece à CAPES pela concessão de Bolsa de Doutorado.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROKEV, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 711–728, 2013.

ALVES, L.M.; MARENGO, J.A.; CAMARGO JUNIOR, H. CASTRO, C. Início das chuvas na região sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.3, p.385-394, 2005.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.36, n.5, p. 717-726, maio 2001.

BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 12-23, 2009.

BLAIN, G.C. Detecção de tendências monótonas em série mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p1027-1033, 2010.

BRASIL. **Ministério do Planejamento e Orçamento/Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** PORTARIA Nº PR-197, de 21 de março de 2023. Aprovar os valores de áreas territoriais do Brasil, Estados e Municípios, constantes para consulta ou download no endereço a seguir a partir do dia 29 de março de 2023: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=acesso-ao-produto>, que apresenta o quadro territorial vigente em 31 de julho de 2022, data de referência do recebimento das atualizações territoriais enviadas pelos Estados ao IBGE. DF, de 27 de março de 2023, ed. 59, Seção 1, p.88 de 27.

CAMPOS, F.S. **Estudo de variabilidade de precipitação**. Monografia de graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP. 1990.

CAVALCANTE, M.M.A.; SANTOS, L.J.C. Hydroelectric at the Madeira River: tensions about the territory using and the natural resources in the Amazon. **Confins (Paris)**, p. 1, 2012.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DA SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COELHO, C.A.S.; DE OLIVEIRA, C.P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.S.; CARPENEDO, C.B.; CAMPOS, J.L.P.S.; TOMAZIELLO, A.C.N.; PAMPUCH, L.A.; CUSTÓDIO, M.S.; DUTRA, L.M.M.; DA ROCHA, R.P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **CLIMATE DYNAMICS**, v. 46, p. 1-16, 2015.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Estudo de caso brasileiro, UHE Tucuruí**. Relatório de escopo, agosto, 1999. 43 p. (<http://www.dams.org>).

CZARNOBAI, A.F.; PRUDENCIO, R.S.; RODRIGUES, M.L.G. A circulação atmosférica local na região da Usina Hidrelétrica de Itá. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.

- DANTAS, S.P.; SALES, M.C.L. A Influência do Açude Castanhão no Clima Local de Jaguaré - Ceará – Brasil: Uma análise no campo térmico e higrométrico. **Revista Equador**, v.4, p. 2-17, 2015.
- FERREIRA, C.C.M. Estudo do comportamento do período chuvoso em Juiz de Fora-MG. **Revista Geonorte**. UFAM, v.1, n.5, p. 953-963, 2012.
- FISCH, G. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). **Revista Biociências**, v. 5, n. 2, p.7-11, 1999.
- FISCH, G.F.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R.C. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia. **Acta Amazonica**, 20: 49 – 60, 1990.
- FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v.1, n.1, 2006. p.61-71.
- FRAUCHES, M. S.; OLIVEIRA, T. A.; SANCHES, F.O.; FERREIRA, C.C.M. Chapéu D'Uvas: um estudo sobre as chuvas locais em reservatórios em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 289-302, 2020.
- GRIMM, A.M. Verificação de Variações Climáticas na área do Lago de Itaipu – In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Paraná. 1988.
- GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J.W.C. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lake & Reservoirs: Research and Management**, v. 8, n. 3-4, p. 201-220, 2003.
- HOPPE, I.L.; WOLMANN, C.A. Análise da precipitação pluviométrica e a presença de nevoeiros no entorno próximo do reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca em Agudo/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 14, Vol. 22, Jan/Jun, 2018.
- JARDIM, G.F.; CARVALHO, L.G.; LIMA, J.E.D.; SANTOS, P.A.B.; SCHWERZ, F. Evaluation of rainfall patterns in Lavras, Minas Gerais, before and after the formation of the Funil Lake. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026697, 2020.
- MARENGO J.A.; NOBRE, C.; SELUCHI, M.; CUARTAS, A.; ALVES, L.M.; MENDIONDO, E.M.; OBREGON, G.O.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, v. 106, p. 31, 2015.
- MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E.M.; MELO JÚNIOR, J.C. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 338-344, 2007.
- OLIVEIRA, T.A.; TAVARES, C.M.G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C.C.M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora-MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, 2020.
- REBOITA, M.S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didactica** (Impresso), v. 8, p. 34-50, 2012.

RODRIGUES, M.L.G., CANÔNICA, E. Análise preliminar do impacto do reservatório de Itá no clima local. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006.

SAMPAIO, G. ALVES, L.M; DIAS, P.L.S.; MARENGO, J.A. O início da estação chuvosa no sudeste do Brasil pelo MCGA CPTEC/COLA. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Foz de Iguaçu-PR, 2002.

SANCHES, F. O.; BALEN, D. S.; SILVA, R. V.; ROSA, K. K.; RADÜNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no Alto Uruguai Gaúcho. **Revista Brasileira de Climatologia**, V. 15, Ano 10, p. 143-162, 2014.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. **Acta Amazonica**. vol. 35 n.1 Manaus, 2005.

SANCHES, F.; ROCHA, V.M.; FERREIRA, C.C.M.; OLIVEIRA, T. A.; FRAUCHES, M. S.; VIEIRA, A.T.; SOALHEIRO JUNIOR, G. PCH Autódromo (RS): um estudo sobre a umidade relativa do ar no entorno de seu reservatório hídrico. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 23, p. 424-439, 2022.

SANCHES, F.O.; BIAVATI, A.; SOUZA, D.; SILVA, R.V.; FERREIRA, R.V. Chuvas em Marcelino Ramos (RS): influência do lago da UHE de Itá ou do ENOS? **Revista de Ciências Humanas**, v. 15, p. 338-348, 2015.

SANCHES, F.O.; FERRAZO, S.T., SILVA, R.V., CHECHI, L., FERREIRA, R.V. Influence the Hydroelectric Power Plant of Passo Fundo Lake (RS, Brazil) on local rainfall pattern. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v.20, 2017.

SANCHES, F.O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Trend analysis of long-term rainfall. **Revista Ambiente e Água**, v. 8, p. 214-228, 2013.

SANSÍGOLO, C.A. Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 101-105, 1996.

SILVA FILHO, V.; RABELO, J.K.L. Detecção de possíveis diferenças ocorridas no comportamento da atmosfera local, como consequência da introdução do lago Castanhão no estado do Ceará. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Gramado-RS, 2012.

SOUZA, M.B.; GALVANI, E. (2010). Formação de reservatórios e influências no microclima: estudo da cidade de Presidente Epitácio, Estado de São Paulo, Brasil. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Anais...** Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.