

## EFEITO JOSÉ NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DOS ESTADOS DO PARANÁ E DE SÃO PAULO

Isabela Arantes Ferreira (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Cristhiane Michiko Passos Okawa (Orientadora), e-mail: isarantes10@gmail.com.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

**Área e subárea do conhecimento:** Engenharia Sanitária; Recursos Hídricos

**Palavras-chave:** Efeito José, estacionariedade de séries pluviométricas, teste de Pettitt.

### Resumo

O estudo do Efeito José é de grande importância para o conhecimento do regime hidrológico de uma região e, conseqüentemente, para a gestão adequada de seus recursos hídricos. Para a verificação da ocorrência deste nos estados do Paraná e de São Paulo, utilizaram-se dados de duas estações pluviométricas: Tibagi (PR) e Colina (SP). Aplicou-se, então, o teste não-paramétrico de Pettitt para a verificação da estacionariedade nas séries históricas. A estação de Tibagi (PR) apresentou estatística de 925 com p-valor de 0,0001, rejeitando a hipótese nula a nível de 5% de significância, com mudança abrupta no ano de 1971 (ou seja, apresenta comportamento não estacionário). Já a estação de Colina (SP) apresentou estatística de 420, com p-valor de 0,2211 não rejeitando a hipótese nula (ou seja, a série apresenta comportamento estacionário). Conclui-se que, apesar de existir indícios da ocorrência do Efeito José em ambos os estados, necessita-se da análise de todas as outras estações que possuam longas séries de dados, a fim de confirmar ou negar sua ocorrência em toda a abrangência da área de estudo.

### Introdução

Mandelbrot e Wallis (1968) criaram o termo “Efeito José”, baseados em estudos sobre a precipitação de bacias hidrográficas de grandes rios, sendo este Efeito definido como a verificação de um comportamento de natureza cíclica, composto por longos períodos alternados entre secos e chuvosos.

O conhecimento de fenômenos hidrológicos como o Efeito José é de grande importância para a gestão adequada dos recursos hídricos da região no qual estes ocorrem. Por ser um efeito cíclico, o Efeito José é recorrente, representando alterações significativas no regime hidrológico da região. Um exemplo da relevância deste estudo está na crise hídrica na região metropolitana de São Paulo, que teve seu ápice em 2014. A escassez de chuvas acarretou em níveis d'água baixos demais para o funcionamento do sistema Cantareira, levando ao seu colapso e a falta de abastecimento de água na maior cidade do país.

Por isso, verifica-se a necessidade de estudos sobre a condição atual do comportamento hidrológico de chuvas dos estados do Paraná e de São Paulo. Neste trabalho, realizou-se este estudo por meio da análise da estacionariedade de séries pluviométricas históricas dos dois estados.

## Materiais e métodos

### Caracterização da área de estudo

O Paraná está localizado na região Sul do país, com 399 municípios em uma área de 199.307,939 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 11.348.937 habitantes segundo o IBGE (2018). O clima do estado é predominantemente Cfa (clima subtropical com verões quentes e úmidos, invernos amenos e sem estação seca definida) e Cfb (clima temperado com verões amenos e sem estação seca definida) segundo a classificação de Köppen-Geiger. De acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (IAP, 2019), existem cerca de 700 estações hidrométricas no Paraná, distribuídas em todo o estado.

O estado de São Paulo está localizado na região Sudeste, possui 645 municípios em uma área de 248.219,627 km<sup>2</sup>, com população total de 45.538.936 habitantes (IBGE, 2018). O clima no estado é predominantemente dos tipos Aw (quente e úmido com verão chuvoso) e Cwa (subtropical com verões chuvosos e quentes). Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2012), São Paulo conta com 600 estações pluviométricas em todo o estado.

### Métodos

Os critérios para seleção das estações pluviométricas analisadas foram: tamanho das séries históricas disponíveis, quantidade de falhas nos dados destas séries e distribuição geográfica. Foram utilizadas séries com 80 anos de dados registrados e com poucas falhas. A estação selecionada no estado do Paraná foi Tibagi; no estado de São Paulo, selecionou-se a estação de Colina.

Para o preenchimento das falhas dos dados de chuva utilizou-se regressão linear simples com coeficiente R<sup>2</sup> de correlação maior que 0,80.

O método escolhido para testar a estacionariedade dos dados de chuva foi o Teste de Pettitt, definido como “um teste não paramétrico que utiliza uma versão da estatística de Mann-Whitney  $U_{t,n}$ , a qual verifica se duas amostras  $x_1, \dots, x_t$  e  $x_{t+1}, \dots, x_n$ , são da mesma população ou não” (ULIANA et al., 2015), configurando-se como um teste de ponto de mudança. A variável estatística  $U_{t,n}$  é calculada por meio da equação 1:

$$U_{t,n} = U_{t-1,n} + \sum_{j=1}^n \text{sgn}(x_t - x_j) \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

$$\text{sgn} = (x) \begin{cases} 1, \text{ se } x > 0 \\ 0, \text{ se } x = 0 \\ -1, \text{ se } x < 0 \end{cases}$$

A hipótese nula do teste, segundo os autores, é a ausência de um ponto de mudança na série, sendo  $k(t)$  o ponto de mudança significativo para o qual o módulo de  $U_{t,n}$  é máximo com um nível de significância  $P$ , conforme as equações 2 e 3:

$$k(t) = \max_{1 \leq t \leq n} |U_{t,n}|$$
$$P = 2e^{-\frac{6k(t)^2}{n^2 + n}} \quad (\text{eq. 2 e 3})$$

Onde  $n$  é o número de anos da série histórica e  $K_n$  o valor crítico.

O teste de Pettitt será aplicado com o auxílio do pacote “trend” para testes não paramétricos de tendência e detecção de pontos de mudança, na linguagem de programação R.

## Resultados e Discussão

Para a estação de Tibagi (PR), o teste de Pettitt retornou uma estatística de 925, com um p-valor de 0,0001, rejeitada assim a hipótese nula a 5% de significância. O teste apontou uma mudança abrupta para o ano de 1971.

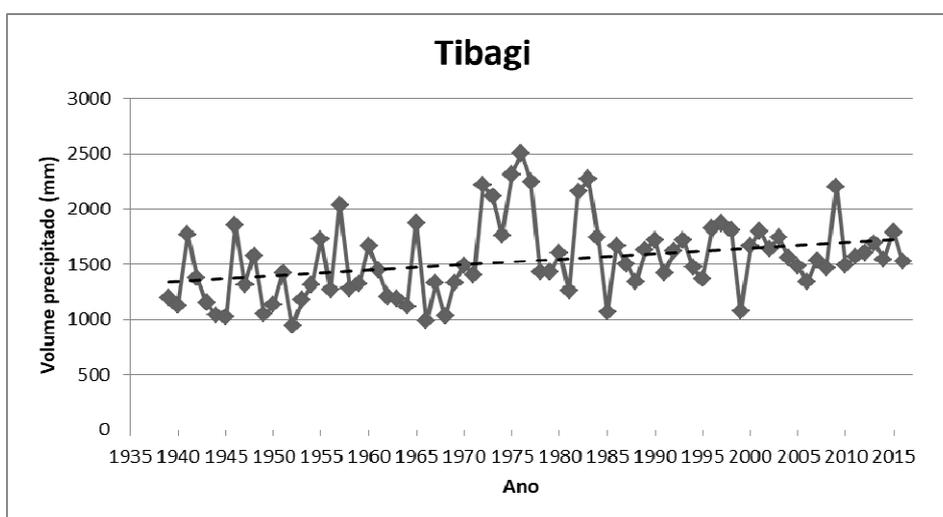


Figura 1 – precipitação total anual para a estação de Tibagi (PR).

Já para a estação de Colina (SP), o teste retornou uma estatística de 420, com p-valor de 0,2211 e, portanto, não sendo possível rejeitar a hipótese nula de estacionariedade.

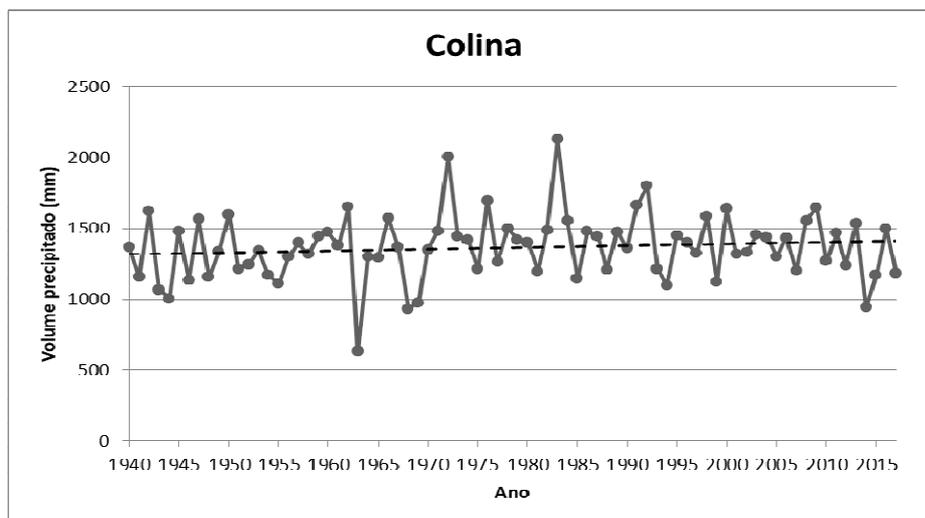


Figura 2 – precipitação total anual para a estação de Colina (SP).

## Conclusões

A estação de Colina apresentou estacionariedade, porém, este resultado pode sofrer interferência devido a particularidades da região de Colina (como localização geográfica), e não ser representativo de todo o estado de São Paulo.

Do mesmo modo, a estação de Tibagi, que apresentou não-estacionariedade, pode não representar todo o estado do Paraná; porém, a confirmação da existência de tendência nesta estação sugere que isso poderá ocorrer em outras estações no estado.

A partir dos resultados obtidos, pode concluir-se que, apesar de existirem evidências da ocorrência do Efeito José nos estados do Paraná e de São Paulo, não se pode afirmar categoricamente que ele ocorra ou não. Para isto, necessita-se de repetir esse procedimento com os dados provenientes de mais estações pluviométricas, distribuídas de modo a abranger toda a extensão da área de estudo.

## Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica concedida para a primeira autora.

## Referências

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (2012). **DAEE mantém mais de 100 anos de dados pluviométricos.** Disponível em <[http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=649:daee-mantem-mais-de-100-anos-de-dados-pluviometricos&Itemid=53](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=649:daee-mantem-mais-de-100-anos-de-dados-pluviometricos&Itemid=53)>. Acesso em 12/01/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases e referenciais.** Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em 19/03/2019.

INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ. **Monitoramento de dados hidrológicos.** Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/>>. Acesso em 12/01/2019.

MANDELBROT, B.B.; WALLIS, J.R. (1968). **Noah, Joseph, and Operational Hydrology.** Volume 4. New York: International Business Machines Research Center.

ULIANA, E. M; SILVA, D. D; RODRIGUES, B. S; CORRÊDO, L. P. (2014). **Análise da tendência de séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico.** Revista Ambiente e Água, vol. 10, 2015.