

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **AVALIAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO E EVOLUÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO NA BACIA DO RIO PIAUITINGA, SERGIPE**

*Yuri Batista Ishizawa<sup>1</sup> ; Alan de Gois Barbosa<sup>2</sup> & Ludmilson Abritta Mendes<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Os projetos de engenharia ligados aos recursos hídricos, no geral, tomam como base modelos que partem do pressuposto de que as séries de precipitação e vazão são estacionárias, ou seja, não seguem uma tendência de crescimento ou decrescimento. Este estudo teve como objetivo avaliar a estacionariedade da precipitação e da vazão da bacia do rio Piauitinga, Sergipe, através do teste de Pettitt, além de avaliar o comportamento do coeficiente de escoamento da bacia ao longo do tempo. É possível inferir, com 95% de nível de confiança, que ambas as séries históricas (precipitação e vazão) não são estacionárias. Além disso, também foi observada uma tendência de crescimento do coeficiente de escoamento da bacia, apontando um aumento mais significativo na vazão do que na precipitação ao longo do período estudado.

**ABSTRACT** – Usually projects of water resources engineering are based on models that assume that rainfall and flow time series are stationary, so it do not have a trend of growth or decline. The goal of this study was evaluate the stationarity of precipitation and flow on the basin of river Piauitinga, Sergipe, through the Pettitt test, in addition to evaluate the behavior of the basin run off coefficient over the time. It is possible to infer, with 95% level of statistical significance, that both historic series (rainfall and flow) are not stationary. Furthermore, we observed a growth trend on the basin run off coefficient, pointing a more significative raise on the flow than on rainfall over the studied period.

**Palavras-Chave** – Hidrologia; Estacionariedade.

---

1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento (PPGSHS), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos – SP, e-mail: yuriishizawa@gmail.com

2) Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon, s/n, Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão – SE, e-mail: alan.1995.barbosa@gmail.com

3) Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon, s/n, Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão – SE, e-mail: ludmilsonmendes@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

Os dados de séries históricas de precipitação e vazão em uma bacia são utilizados, direta e indiretamente, como base para projetos da engenharia, tais como hidrelétricas, reservatórios de abastecimento e estruturas de drenagem e controle de cheias. Contudo, os projetos baseiam-se em métodos que partem do pressuposto de que aquelas séries são estacionárias, ou seja, não seguem uma tendência de crescimento ou decrescimento (NAGHETTINI E PINTO, 2007). Porém, fatores como mudanças climáticas, modificação do uso e ocupação do solo da bacia, uso da água para irrigação ou construção de barragens podem influenciar a alteração da chuva ou da vazão em bacias hidrográficas.

A bacia do rio Piauitinga é uma das seis unidades de planejamento que compõem a bacia hidrográfica do rio Piauí, em Sergipe, e é muito importante geograficamente para a região Centro-Sul do estado. Dentre os principais usos da água, há destaque para a dessedentação animal, uso doméstico, pesca e lazer. Além disso, parte da população dos municípios de Estância, Salgado, Lagarto, Boquim, Simão Dias, Riachão do Dantas e Poço Verde é abastecida pelo rio Piauitinga (MOREIRA, 2008).

No Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piauitinga (SERGIPE, 2015), relata-se a alteração no escoamento básico da bacia durante as últimas décadas, com uma tendência de crescimento a partir da década de 1970. Porém, tal plano não expõe a metodologia utilizada para chegar a essa conclusão nem as possíveis causas deste fato.

O objetivo deste trabalho é avaliar a estacionariedade das séries de precipitação e vazão da bacia do rio Piauitinga e o comportamento do coeficiente de escoamento da bacia ao longo do tempo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia do rio Piauitinga (Figura 1) tem uma área de 419,34 km<sup>2</sup> (SERGIPE, 2015), perímetro de 124,63 km, e seu rio principal tem extensão de 59,11 km (SERGIPE, 2016). De acordo com Sergipe (2015), o município compreendido na bacia do Piauitinga com maior densidade demográfica e taxa de crescimento populacional é Estância, 143,85 hab/km<sup>2</sup> e 0,81% ao ano respectivamente.

Foram utilizados neste trabalho os dados referentes a 2 estações pluviométricas e uma estação fluviométrica, localizadas na bacia e apresentadas na Tabela 1. O período de análise compreende os anos de 1950 a 2006, pois é o maior período com dados disponíveis para todas as estações.

Foi realizada a análise da estacionariedade da série de precipitação acumulada anual e as precipitações mensais de cada um dos postos pluviométricos. Foram calculadas as precipitações acumuladas mensais e anual da bacia, assumindo que os postos de Estância (01137017) e Salgado (01137001) influenciam em 22,84% e 77,16%, respectivamente, no método de Thiessen. Por fim, analisou-se a estacionariedade da série de vazões médias mensais e anuais do posto Estância (50230000).

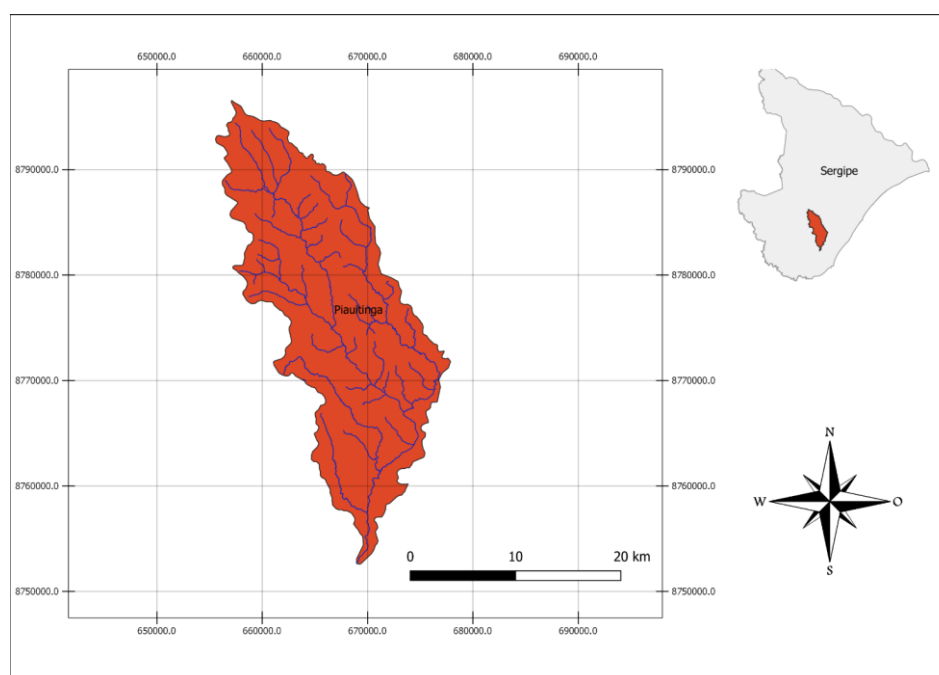


Figura 1 – Localização da bacia do rio Piauitinga

Tabela 1 – Estações utilizadas no trabalho

Nome	Código	Município	Latitude	Longitude	Operador	Tipo
Salgado	01137001	Salgado	-11:1:49	-37:28:42	CPRM	Pluviométrica
Estância	01137017	Estância	-11:16:0	-37:26:35	CPRM	Pluviométrica
Estância	50230000	Estância	-11:15:32	-37:26:33	CPRM	Fluviométrica

Fonte: Adaptado de ANA (2015)

Para avaliar a estacionariedade das séries de vazão e precipitação, foi utilizado o teste não-paramétrico de Pettitt (PETTITT, 1979). Uliana *et al.* (2015) utilizaram esse teste para avaliar a tendência em séries históricas de vazão e precipitação em uma bacia do estado do Espírito Santo. O teste consiste na utilização de uma variável estatística U, semelhante à do teste de Mann-Whitney, a partir da qual é possível verificar se duas amostras  $x_1, \dots, x_t$  e  $x_{t+1}, \dots, x_N$  provêm da mesma população (ULIANA *et al.*, 2015). Além disso, é possível obter o ponto de mudança significativo da série, caso seja não aceita a hipótese nula do teste de Pettitt, que admite a ausência de inflexão. Neste estudo, foi considerado um nível de confiança de 95%, ou seja, para rejeição da hipótese nula é necessário obter um p-valor menor que 0,05.

O coeficiente de escoamento (*'run off'*), em suma, representa a relação entre o volume de água escoada superficialmente em uma bacia e o volume precipitado sobre a mesma (VILLELA E MATTOS, 1975) e pode ser obtido através da Equação 1.

$$C = \frac{Q}{P} \quad (1)$$

sendo  $C$  o coeficiente de escoamento (adimensional),  $Q$  a média do volume de água escoado na bacia em mm e  $P$  a precipitação acumulada média da bacia em mm.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figura 2, 3 e 4 estão apresentadas as séries históricas de precipitação dos postos de Estância (01137017) e Salgado (01137001) e média da bacia.

A hipótese nula do teste foi rejeitada em todos os casos, com destaque para a série do posto de Estância (01137017), que apresentou  $|U|$  máximo de 696, com seu ponto de mudança no ano de 1968. Salgado (01137001), por sua vez, apresentou  $|U|$  máximo de 338 e teve seu ponto de inflexão no ano de 1965. Esse foi também o ano de inflexão da série de precipitação acumulada média, corroborando a hipótese de que o posto de Salgado tem uma influência maior sobre a precipitação média da bacia. Para esta última série,  $|U|$  atingiu valor máximo de 470.

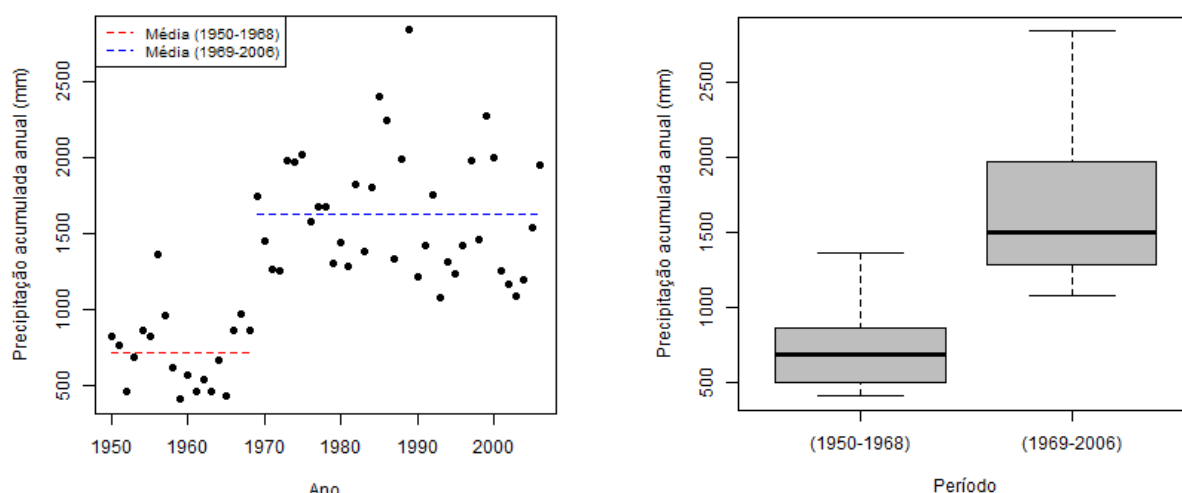


Figura 2 – Série histórica de precipitação acumulada anual do posto de Estância (01137017)

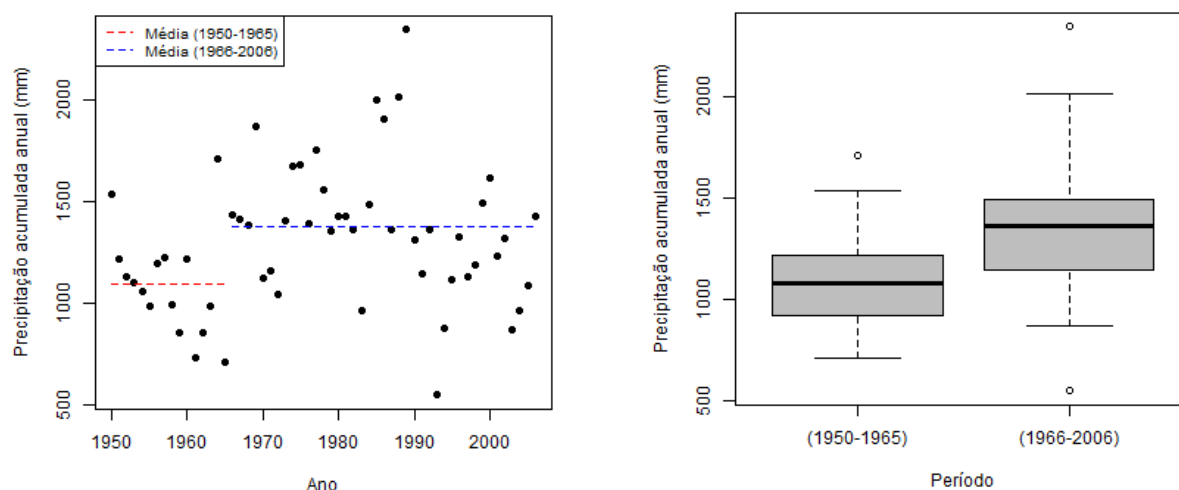


Figura 3 – Série histórica de precipitação acumulada anual do posto de Salgado (01137001)

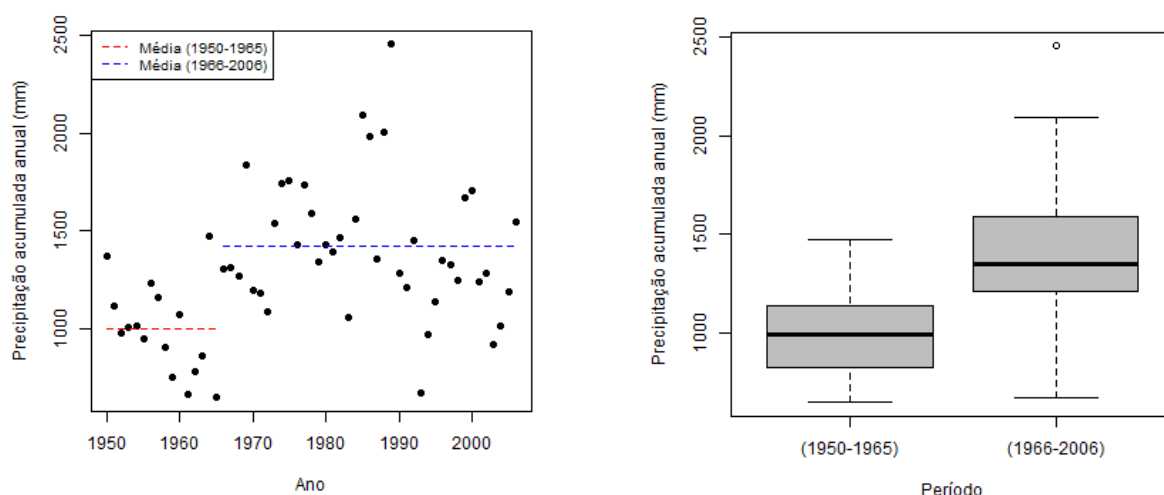


Figura 4 – Série histórica de precipitação acumulada anual média da bacia

Além da presença da inflexão, percebeu-se que, para ambos os postos pluviométricos e para a bacia, há aumentos significativos na média da precipitação acumulada anual. Considerando a precipitação média dos períodos 1950-inflexão e inflexão-2006, o aumento mostrou-se mais evidente para o posto Estância (001137017), chegando a 127,46%. Para o posto Salgado (001137001) e para a bacia como um todo, foi observado crescimento de 26,26% e 42,56% respectivamente.

Na Figura 5 estão apresentados os valores de U da série histórica de precipitação acumulada da bacia para os 12 meses do ano. A aplicação do teste de Pettitt para cada mês revelou que os meses que apresentaram alteração significativa na lâmina total precipitada, ou seja, em que a hipótese nula não foi aceita, foram os meses de junho, julho, agosto e setembro. Esses meses, com exceção de setembro, compõem parte do período úmido da região.

Isso leva a crer que a precipitação nos meses secos, além de ter menor influência no valor da precipitação acumulada anual, não apresentou uma tendência de variação estatisticamente significativa ao longo do período analisado. Sendo assim, o aumento da precipitação na bacia deveu-se ao aumento da precipitação nos meses chuvosos.

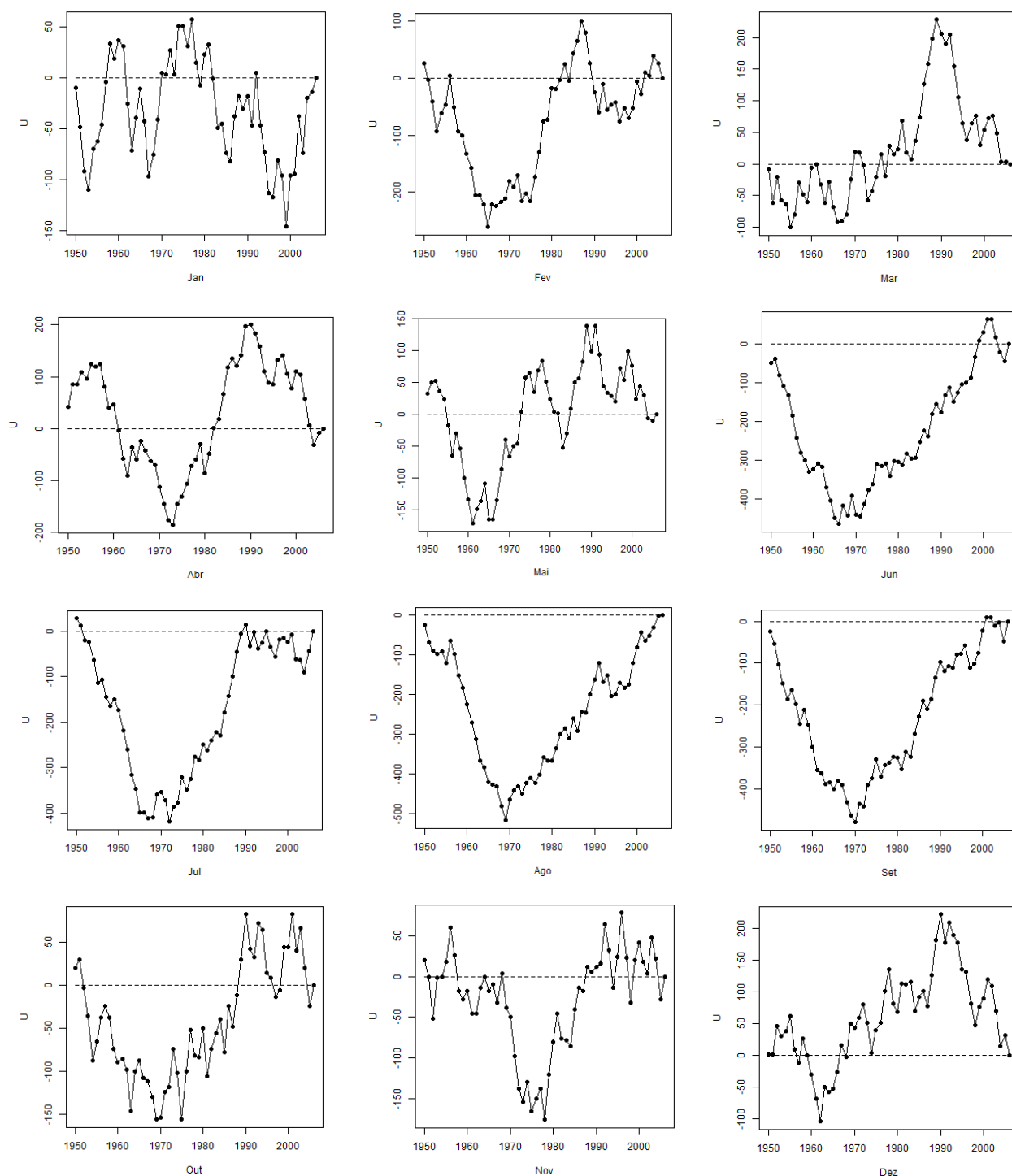


Figura 5 – Valores de U para precipitação mensal da bacia para cada mês do ano

Na aplicação do teste de Pettitt para a série de vazão média anual, obteve-se  $|U|$  máximo igual a 472 e, assim como nas séries de precipitação, não foi aceita a hipótese nula, com ponto de inflexão observado no ano de 1972. Comparando-se a vazão média de longo período de 1950-1972 com a de 1973-2006, nota-se aumento de 62,43%. A série de vazão do posto Estância (50230000) é apresentada na Figura 6.

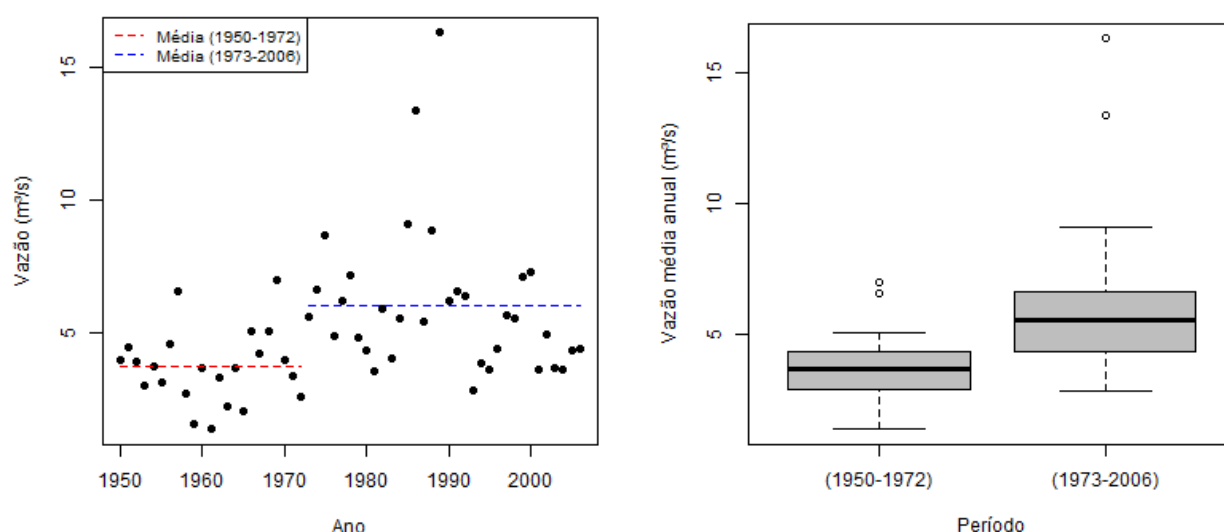


Figura 6 – Série histórica de vazão média anual do posto Estância (50230000)

Na Figura 7 apresentam-se os valores de  $U$  da série histórica de vazão média para os 12 meses do ano. A aplicação do teste de Pettitt para cada mês levou à não aceitação da hipótese nula para todos os meses do ano, exceto abril e maio, que se encontram entre o final do período seco e o início do período úmido da região.

Os resultados indicam que o aumento da vazão média ocorreu tanto nos meses secos como nos meses úmidos, diferindo, portanto, dos resultados da precipitação, em que só foi registrado aumento significativo nos meses úmidos. Uma explicação para isso pode ser que o aumento da precipitação foi tal que a recarga do manancial subterrâneo acabou sendo suficiente para aumentar o fluxo do aquífero para os corpos hídricos superficiais durante os meses de estiagem. Porém, a confirmação desta hipótese exige análises que fogem ao escopo deste estudo.

Ainda, o aumento da vazão média nos meses secos comprova a afirmação relatada em (SERGIPE, 2015), de que houve crescimento do escoamento básico na bacia a partir da década de 1970, porém sem apresentar detalhamento da informação.

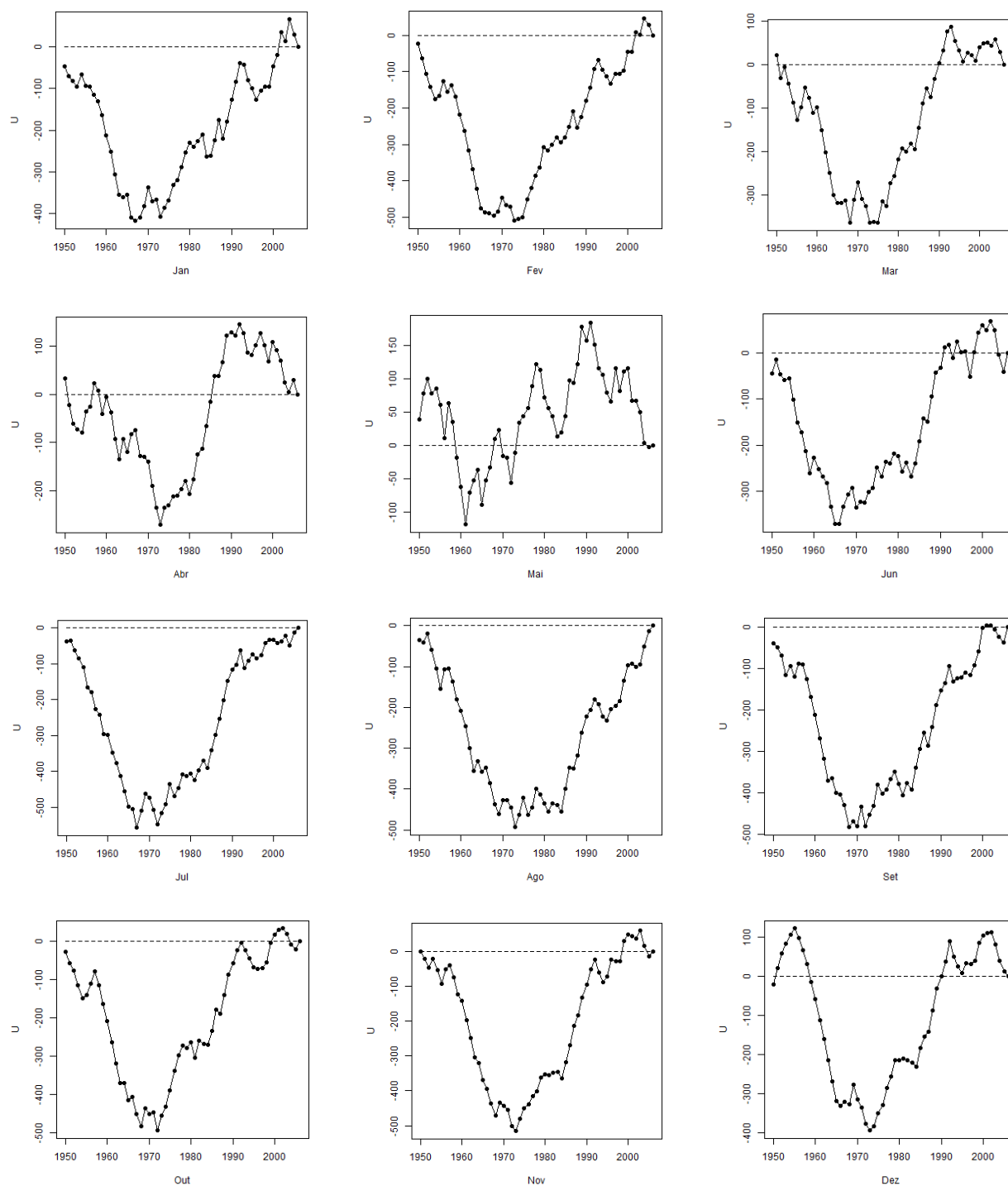


Figura 7 – Valores de U para a vazão média mensal para cada mês do ano

Na Figura 8 encontra-se a série histórica dos valores anuais do coeficiente de escoamento C para a bacia do rio Piauitinga.



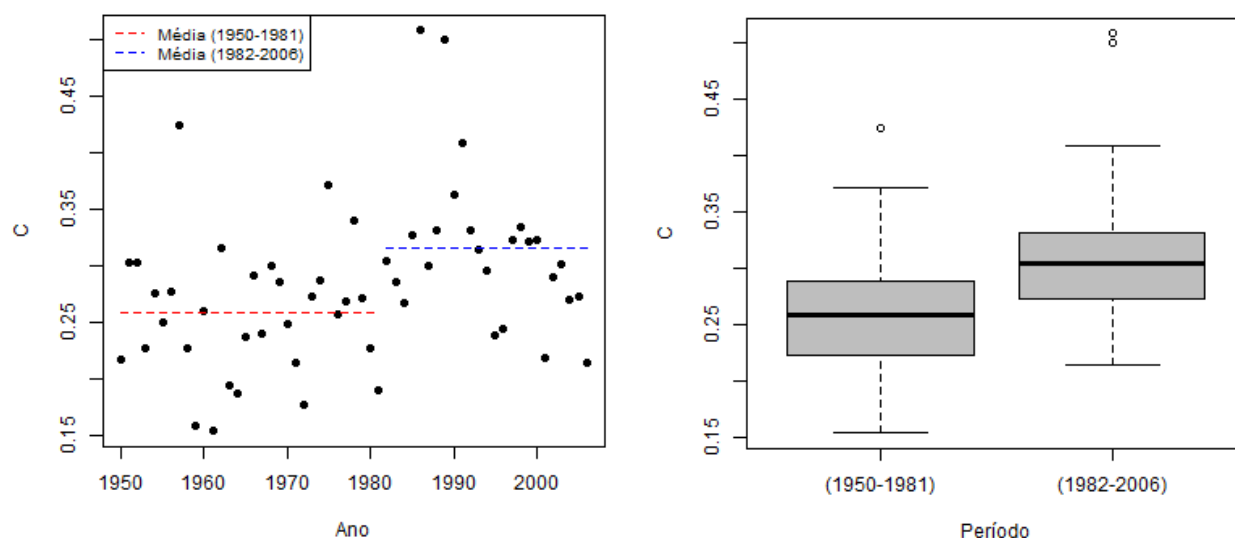


Figura 8 – Série histórica dos valores anuais de C para o rio Piauitinga

A partir da série de vazão média anual e da série de precipitação acumulada anual média, foi calculado o C para todo o período 1950-2006, e obteve-se o valor de 0,29. Entretanto, uma vez que, após 1965, nota-se um aumento significativo na precipitação média da bacia e, após 1972, um aumento na vazão média superior ao aumento da precipitação, o valor de C também registra aumento ao longo do tempo. A inflexão da série de C, pelo teste de Pettitt, ocorreu em 1981. Foi percebido que, para o período pré-inflexão, esse valor médio de C equivale a 0,25 e, para o período pós-inflexão, 0,31. Portanto houve um aumento médio de 24% no coeficiente de escoamento da bacia, considerando os dois períodos distintos.

#### 4 CONCLUSÃO

Foi possível verificar, através do teste de Pettitt, com 95% de nível de confiança, a tendência de crescimento da vazão do rio Piauitinga, apontada por Sergipe (2015), e tendências semelhantes nas séries de precipitação e de coeficiente de escoamento. A precipitação média da bacia demonstrou um aumento (42,56%) inferior ao aumento da vazão (62,43%), considerando seus respectivos pontos de inflexão. Isso gerou um aumento (24%) no coeficiente de escoamento da bacia.

Não foi observada tendência de crescimento na série de precipitação para a maioria dos meses secos da região, com exceção apenas para setembro. Em contrapartida, na série de vazões, há a presença do crescimento do fluxo tanto para meses úmidos como para meses secos. Isso leva a crer que o aumento da precipitação nos meses úmidos tenha amplificado a recarga do aquífero o suficiente para incrementar o fluxo de água para os rios nos meses secos.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. (2005). *Portal HidroWeb*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: abr. 2019.
- MOREIRA, F. D. (2008). *Geotecnologia aplicada à sub-bacia hidrográfica do Rio Piauitinga e suas relações ambientais*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). *Hidrologia estatística*. CPRM Belo Horizonte.
- PETTITT, A. N. (1979). *A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem*. Applied Statistics, v. 28, n. 2, p. 126-135. <http://www.jstor.org/stable/2346729>
- SERGIPE. (2015). *Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Japaratuba, Piauí e Sergipe*. Aracaju.
- SERGIPE. (2016). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. *Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe*. Aracaju.
- ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. da; ULIANA, E. M; RODRIGUES, B. S; CORRÊDO, L. de P. (2015). *Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico*. Ambiente e Água, v. 10, n.1, p. 82-88. doi: 10.4136/ambi-agua.1427.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw Hill São Paulo- SP.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC) pela concessão de bolsas de mestrado.