

IDENTIFICAÇÃO DE PERÍODOS HIDROLÓGICOS POR MEIO DE ESTATÍSTICA DESCRITIVA E DOS TESTES NÃO PARAMÉTRICOS DE PETTITT E MANN-KENDALL.

RESUMO

O objetivo deste artigo é comparar resultados de períodos hidrológicos, obtidos por meio de metodologias distintas. Nesse sentido, são utilizadas técnicas de estatística descritiva, como medidas de tendência central: média, medidas de dispersão: desvio padrão – SD e coeficiente de variação – CV, selecionadas com base nos Indicadores de Alteração Hidrológica - IAH. Adicionalmente, curvas de tendência obtidas através de regressão linear são empregadas. Na sequência, faz-se o uso dos testes não paramétricos de Pettitt e Mann-Kendall, para fins de comparação dos resultados. As análises são realizadas com base em séries temporais de vazão interanual média, máxima e mínima, de 78 anos das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000, localizadas no Rio Tibagi – PR. Os resultados apontam a existência de dois períodos hidrológicos e tendências positivas de vazão, e indicam compatibilidade entre as metodologias empregadas.

Palavras-Chave: Hidrologia, Vazão, Variabilidade, Estatística.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es comparar los resultados de periodos hidrológicos, obtenidos a través de diferentes metodologías. En este sentido, las técnicas de la estadística descriptiva se utilizan como medidas de tendencia central: media, medidas de dispersión, desviación estándar – SD, y coeficiente de variación – CV, seleccionadas con base en los indicadores: Índices de Alteración Hidrológica – IAH. Adicionalmente, se utilizaron las curvas de tendencia obtenidas mediante regresión lineal. Se utilizaron también los tests no paramétricos de Pettitt e Mann-Kendall con el objeto de comparar los resultados. Los análisis se llevaron a cabo sobre la base de series temporales de caudal interanual medio, máximo y mínimo, de un periodo de 78 años, de las estaciones pluviométricas de Jataizinho – 64507000 y Tibagi – 64465000, localizadas en el río Tibagi ubicadas en el estado de Paraná, Brasil. Los resultados infieren la existencia de dos periodos hidrológicos y tendencias positivas de caudal, e indican compatibilidad entre las metodologías empleadas.

Palabras-Clave: Hidrologia, Caudal, Variabilidad, Estadística.

ABSTRACT

The aim of this paper is to compare results of hydrological periods obtained through different methodologies. So, descriptive statistic techniques as central trend measures: mean, dispersive measures: standard deviation (SD) and variation coefficient (CV), selected with base in the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) are utilized. Additionally, trend curves obtained through linear regression are used. Subsequently, the non-parametrical techniques of Pettitt and Mann-Kendall are used for to compare the results. The analyses are based in mean, maximum and minimum interannual discharge time series with period of 78 years. The data are of the fluviometric stations of Jataizinho – 64507000 and Tibagi – 64465000, localized in the Tibagi River, Paraná State, Brazil. The results show two hydrological periods and discharges with upward trend and also point that the techniques used are compatibles.

Keywords: Hydrology, Discharge, Variability, Statistic.

Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
Doutorando em Geografia pela
Universidade Estadual Paulista –
FCT/UNESP – Campus de Presidente
Prudente.
rorvbs@gmail.com.

Paulo Cesar Rocha
Prof. Dr. do Departamento de Geografia
da Universidade Estadual Paulista –
FCT/UNESP – Campus de Presidente
Prudente.
pcrocha@fct.unesp.br.

INTRODUÇÃO

O regime hidrológico pode ser entendido como a variabilidade das vazões dos rios, ao longo de um período. Neste sentido, Poff *et al.* (1997) argumentam que o fluxo natural de um rio varia na escala temporal de horas, dias, estações sazonais e longos períodos. Dessa forma, muitos anos de observação de vazões medidas, são, geralmente, necessários para descrever o padrão característico da quantidade, tempo e variabilidade do fluxo de um rio, que é o regime de fluxo natural.

Junk *et al.* (1989), apontam que o regime hidrológico reflete o clima da área de influência a montante. Poff *et al.* (1997), asseveram que o regime hidrológico apresenta padrões regionais que são determinados, largamente, pelo tamanho do rio e pela variação do clima, geologia, topografia e cobertura vegetal. Entretanto, o regime de fluxo do rio poderá ser alterado em decorrência de intervenções antrópicas no sistema fluvial ou por mudança no uso da terra de uma dada Bacia Hidrográfica.

Assim, dentre as modificações humanas impostas aos processos hidrológicos naturais, as barragens são consideradas as principais modificadoras diretas do fluxo do rio. Estas tendem a capturar água e sedimentos, entretanto, a água misturada a sedimentos liberada pela barragem, pode carregar os sedimentos finos do rio que a recebe. Do ponto de vista ecológico, o engrossamento do leito do rio pode, por sua vez, reduzir a disponibilidade de habitat para muitas espécies aquáticas que vivem ou usam os interstícios dos espaços. Os sedimentos finos que são transportados para tributários a jusante da barragem, podem ser depositados entre as partículas grossas do leito do rio. Na ausência de vazões altas, espécies em estágios de vida que são sensíveis à sedimentação como, ovos e larvas de muitos invertebrados e peixes, podem sofrer altas taxas de mortalidade (POFF *et al.* 1997).

Conforme LEOPOLD *et al.* (1964), após o fechamento de uma barragem, água e sedimentos se acumulam no reservatório. O nível de base é aumentado em relação a sua posição antiga, o leito do canal, para o nível no qual a superfície da água do reservatório intercepta o leito original. A elevação máxima da superfície da água é a crista do vertedouro da barragem. Estudos indicam que o aumento do nível de base em reservatórios, controla a deposição de sedimentos no sistema fluvial, apenas até o nível no qual a curva de transição do remanso intercepta o perfil do leito do rio. Entretanto, este não é somente um tipo de efeito notado. A situação parece que difere em rios com leito de cascalho, pois em alguns destes o efeito de uma barreira ou barragem é sentida a alguma distância a montante.

Para muitos rios, entretanto, são as atividades de uso da terra, incluindo a extração de madeira, pastagem de gado, agricultura e urbanização, ao invés da construção de barragens, que são as principais causas de alteração dos regimes de fluxo. Estas práticas de uso da terra, combinada com a extensiva drenagem de planícies ou sobrepastoreio, reduz a retenção de água nas Bacias Hidrográficas e, por sua vez, direciona rapidamente o fluxo de água a jusante. Este processo provoca por um lado, o aumento do tamanho e da frequência de inundação, e, por outro, a redução do nível de fluxo de base durante o período de vazante (POFF *et al.* 1997, p.774).

Compreender a variabilidade das vazões dos rios é etapa importante nas pesquisas hidrológicas, pois permite observar se esta variabilidade apresenta tendência significativa, tanto positiva, como negativa, ou ausência de tendência, e, também, mudanças bruscas dos dados que indiquem a existência de períodos hidrológicos distintos, e, assim, levantar hipóteses sobre a gênese destas rupturas.

Os testes de Pettit e Mann-Kendall são aplicados com frequência em séries temporais de dados hidroclimáticos para avaliar, respectivamente, a existência de rupturas dos dados e o nível

de significância das tendências destes. Dentre alguns estudos que utilizam estes testes em séries temporais de precipitação, vazão, carga de sedimento e escoamento superficial, podem-se citar Moraes *et al.* (1998), Liu *et al.* (2010), Caloeiro *et al.* (2011), Zhang *et al.* (2007), Yang e Tian (2009), Mu *et al.* (2007), Gao *et al.* (2012) e Debortoli *et al.* (2012).

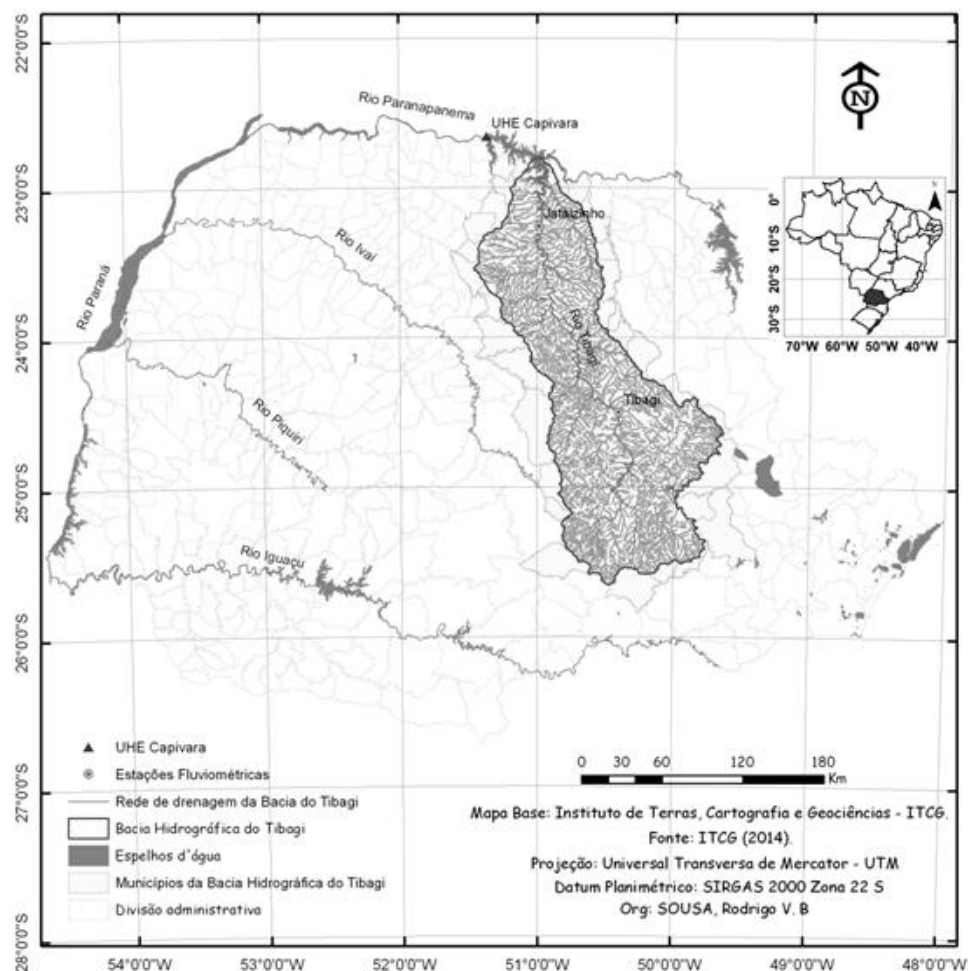
Nas busca de compreender melhor os processos envolvidos nas inundações que ocorrem, na cidade de Jataizinho – PR, o objetivo deste artigo é comparar períodos hidrológicos identificados em séries temporais de vazão, por meio de metodologias distintas. Nesse sentido, são utilizadas técnicas de estatística descritiva, como medidas de tendência central: média, medidas de dispersão: desvio padrão – SD, coeficiente de variação – CV, e curvas de tendência geradas por meio de regressão linear, ressaltando-se que as três primeiras técnicas são selecionadas com base nos Indicadores de Alteração Hidrológica – IAH, e pelos testes não paramétricos, isto é, que não requer hipótese sobre a distribuição dos dados, de Pettitt e Mann-Kendall. Os testes são aplicados em dados de vazões médias, máximas e mínimas interanuais, em duas estações fluviométricas do Rio Tibagi – PR, a saber: Jatatzinho – 64507000 e Tibagi – 64465000.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados de vazões médias, máximas e mínimas interanuais, adquiridas com o auxílio do *software* Hidro 1.0.8 – BRASIL (2002), por meio do *Banco de Dados do Sistema de Informação Hidrológica – Hidroweb* – BRASIL (2005) e junto ao Instituto de Águas do Paraná, constituem os dados básicos do presente artigo. Os dados são referentes às estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000, localizadas no Rio Tibagi, consideradas as estações fluviométricas com séries temporais mais representativas deste canal fluvial, portanto, têm a capacidade de refletir os processos envolvidos no regime de fluxo da bacia hidrográfica. A escala temporal dos dados é de 78 anos, compreendida entre 1932 e 2009. Os dados faltantes são preenchidos por meio da técnica de regressão linear; enquanto a consistência dos dados é feita com base na técnica soma de vazões, ambas técnicas discutidas por Tucci (2002).

Ressalta-se que o Rio Tibagi é o principal tributário da margem esquerda do Rio Parapanema, ambos constituintes da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. Possui aproximadamente 550 quilômetros de percurso e está inserido em uma Bacia Hidrográfica com 24.712 Km² de área de drenagem (MAACK, 1981, p.329; FRANÇA, 2002, p.47). A localização da área de estudo e das estações fluviométricas podem ser observadas na (Figura1).

Figura 1. Localização da área de estudo.



Inicialmente, os períodos hidrológicos – PH são identificados por meio de técnicas de estatística descritiva, como medidas de tendência central: média, medidas de dispersão: desvio padrão – SD e coeficiente de variação – CV. Tanto a adoção destas técnicas, como a escolha do valor de corte para identificar os períodos hidrológicos distintos, baseia-se nos *Indicators of Hydrologic Alteration* – IHA ou Indicadores de Alteração Hidrológica – IAH, discutido por Richter *et al.* (1997, p.235). Embora não se aplique os índices de alteração hidrológica em sua essência, o IHA é a base teórica que possibilita a identificação de períodos hidrológicos. Desse modo, faz-se o uso da magnitude interanual, vinculada ao grupo dois do IAH, que avalia a magnitude e duração das condições hídricas extremas anuais.

Assim, considera-se a existência de outro período hidrológico, PH 2, PH 3 e assim sucessivamente, caso a diferença percentual dos estratos utilizados, a saber: a) anos próximos à normalidade, b) anos iguais ou acima de um desvio padrão, c) anos iguais ou abaixo de um desvio padrão e e) média, for igual ou superior ao valor de corte do período hidrológico de referência, neste caso PH 1. Adicionalmente, curvas de tendência dos dados são obtidas por meio de regressão linear, a fim de verificar se as vazões apresentam tendências positivas ou negativas que indicam alteração do regime de fluxo, ao longo da série temporal, ou ausência de tendências.

Dentre alguns artigos que aplicam o IAH, destaca-se o de Rocha (2010) em que o autor usou 32 índices de alteração hidrológica, na estação fluviométrica de Porto São José, Alto Rio Paraná. Os resultados mais expressivos apontam para alterações nos indicadores relacionados aos baixos fluxos, reflexo do controle de débitos pelos reservatórios a montante. Estes indicadores apresentam elevação da magnitude e diminuição da frequência. As demais alterações na magnitude de fluxo também estão relacionadas ao uso da terra da bacia hidrográfica do Paraná.

Na sequência, aplicam-se os testes de Pettitt e Mann-Kendall para verificar, respectivamente, a homogeneidade dos dados e se há ruptura nestes, e verificar o nível de significância da tendência dos dados.

Considerado um teste não-paramétrico, isto é, que não requer hipótese sobre a distribuição dos dados, a técnica de Pettitt é estruturada com base no teste de Mann-Whitney. Por meio de cálculos estatísticos, o teste de Pettitt procura identificar se a série é homogênea ou se há alguma ruptura nesta. Destaca-se que, não será detectada mudança na distribuição, caso não se verifique mudança de posição (PETTITT, 1979; DEBORTOLI, 2013).

Acerca do teste de Mann-Kendall, também considerado um teste não paramétrico, este tem por objetivo determinar se uma tendência é identificável em uma dada série temporal, de modo que é possível incluir uma componente sazonal. Geralmente, este teste é aplicado em paralelo a um teste não paramétrico (DEBORTOLI, 2013, p.110).

Ressalta-se que, o teste de Mann-Kendall foi idealizado e aprimorado, respectivamente, por (Mann 1945; Kendall, 1975; Hirsch, 1982, 1984 *apud* Debortoli, 2013, p.110). O teste trabalha com quatro hipóteses: a) a hipótese nula ou H_0 que indica não haver tendência, b) a hipótese de evolução negativa, c) a hipótese não zero e d) a hipótese positiva.

Para a aplicação dos testes de Pettitt e Mann-Kendall, faz-se o uso do software XLSTAT. Os parâmetros aplicados em ambos os testes são: Hipótese alternativa $\neq 0$, nível de significação de 5%, número de simulações 10.000, T máximo de simulações 180 s; enquanto os dados faltantes foram ignorados nos cálculos. Os resultados obtidos pelo conjunto das técnicas e testes apresentados, são, então, comparados, a fim de se observar se existe compatibilidade entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise visual dos gráficos de dispersão da vazão média interanual, das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000, apresentou três períodos hidrológicos – PH: PH 1, compreendido entre 1932 e 1956, PH 2, compreendido entre 1957 e 1970 e PH 3, compreendido entre 1971 e 2009.

Os valores de corte do PH 1 das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000 foram, respectivamente, 40% e 36%. Todavia, a análise mais detalhada dos resultados, especificamente, a diferença percentual da média, dos anos iguais ou acima de 1 desvio padrão (+1SD) e dos anos iguais ou abaixo de 1 desvio padrão (-1 SD), demonstrou que o PH 2 não possuía diferenças significativas em relação ao PH 1, isto é, nenhuma diferença percentual ultrapassou o valor de corte para cada estação fluviométrica. Desse modo, PH 1 e PH 2 foram considerados um único período hidrológico. Os valores de corte, então, para o novo período hidrológico de referência, PH 1, coincidiram em 28% para ambas estações fluviométricas.

Os resultados, portanto, indicam a existência de dois períodos hidrológicos nas duas estações fluviométricas, a saber, PH 1, entre 1932 e 1970 e PH 2, compreendido entre 1971 e 2009 (Figura 2), (Tabela 1), (Tabela 2), (Figura 3), (Tabela 3) e (Tabela 4).

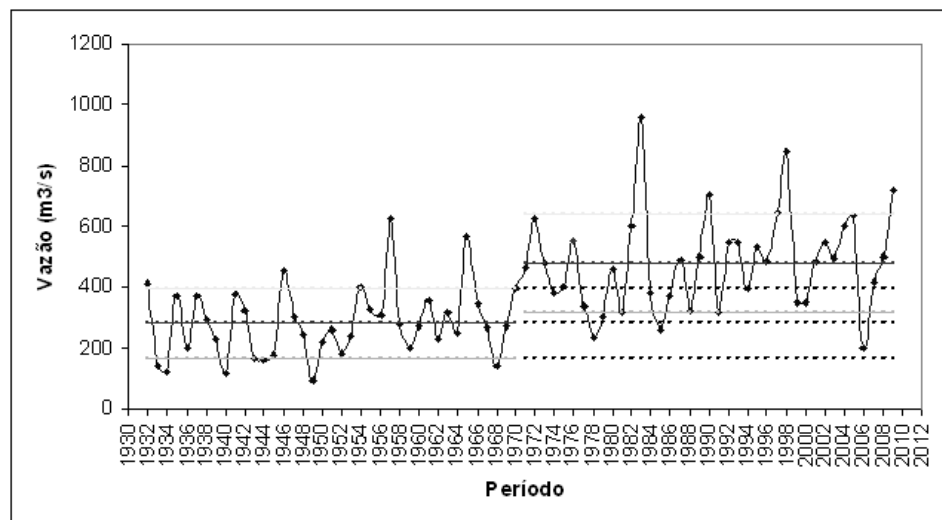


Figura 2 – Períodos hidrológicos – PH – da estação fluviométrica de Jatatizinho 64507000. Linha vermelha: média. Linha amarela: +1 SD e Linha verde: -1 SD. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema.

Tabela 1 - Dados estatísticos dos períodos hidrológicos – PH da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000.

Períodos Hidrológicos	Série ou Período	Total de anos	Média (m ³ /s)	SD (m ³ /s)	CV (%)	Anos próximos à normalidade (%)	Anos iguais ou abaixo de - 1SD. (%)	Anos iguais ou acima de + 1SD. (%)
PH 1	1932 a 1970	39	282	117	41	28	72	15
PH 2	1971 a 2009	39	481	162	34	14	36	0

Tabela 2 - Diferenças percentuais dos dados estatísticos dos períodos hidrológicos – PH da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000.

Períodos Hidrológicos	Série ou Período	Total de anos	Média (m ³ /s)	SD (m ³ /s)	CV (%)	Diferença percentual dos anos próximos à normalidade	Diferença percentual dos anos iguais ou abaixo de - 1SD	Diferença percentual dos anos iguais ou acima de + 1SD	Diferença percentual da média
PH 1	1932 a 1970	39	282	117	41				
PH 2	1971 a 2009	39	481	162	34	-36%	-15%	+51%	+71%

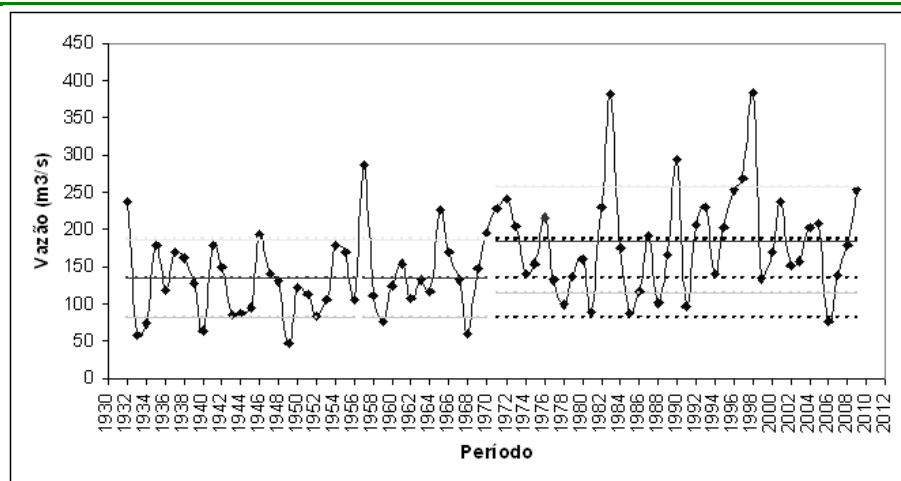


Figura 3 – Períodos hidrológicos – PH – da estação fluviométrica de Tibagi - 64465000. Linha vermelha: média. Linha amarela: +1 SD e Linha verde: - 1SD. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema.

Tabela 3 - Dados estatísticos dos períodos hidrológicos – PH da estação fluviométrica de Tibagi - 64465000.

Períodos Hidrológicos	Série ou Período	Total de anos	Média (m³/s)	SD (m³/s)	CV (%)	Anos próximos à normalidade	(%)	Anos iguais ou abaixo de - 1SD.	(%)	Anos iguais ou acima de + 1SD.	(%)
PH 1	1932 a 1970	39	134	52	39	28	72	5	13	6	15
PH 2	1971 a 2009	39	186	71	38	20	51	1	3	18	46

Tabela 4 - Diferenças percentuais dos dados estatísticos dos períodos hidrológicos – PH. Estação fluviométrica de Tibagi - 64465000.

Períodos Hidrológicos	Série ou Período	Total de anos	Média (m ³ /s)	SD (m ³ /s)	CV (%)	Diferença percentual (%) dos anos próximos à normalidade	Diferença percentual (%) dos anos iguais ou abaixo de - 1SD	Diferença percentual (%) dos anos iguais ou acima de + 1SD	Diferença percentual da média (%)
PH 1	1932 a 1970	39	134	52	39				
PH 2	1971 a 2009	39	186	71	38	-21%	-7%	+31%	+38%

Comparando as diferenças percentuais dos estratos: anos próximos à normalidade, anos iguais ou abaixo de -1 SD, anos iguais ou acima de +1 SD e média, das duas estações fluviométricas, bem como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos períodos hidrológicos, alguns apontamentos podem ser feitos:

- a) a diferença percentual dos anos próximos à normalidade da estação fluviométrica de Jataizinho 64507000, localizada no baixo curso do Rio Tibagi, ultrapassa o limite de corte para menos, durante o PH 2; enquanto esta diferença percentual da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000, localizada no alto curso do Rio Tibagi, não ultrapassa o valor de corte;
- b) a diferença percentual dos anos iguais ou abaixo de -1SD, diminui em ambas estações fluviométricas, entretanto, não ultrapassa o valor de corte. Ressalta-se, porém, que, a vazão da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000 reduz mais que o dobro quando comparada com a estação fluviométrica de Tibagi – 64465000;
- c) a diferença percentual dos anos iguais ou acima de +1SD, aumenta em ambas estações fluviométricas, durante o PH 2;
- d) a diferença percentual da média da vazão aumenta em ambas estações fluviométricas, durante o PH 2, e quase o dobro na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 quando comparada com a estação fluviométrica de Tibagi – 64465000;
- e) os resultados apontam que a vazão aumenta, durante o PH 2, nas duas estações fluviométricas, porém, de forma mais acentuada, na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000;
- f) todas as diferenças percentuais dos estratos, no PH 2, são maiores nos resultados referentes à estação fluviométrica de Jataizinho. Especificamente, as diferenças percentuais quando comparadas com a estação fluviométrica de Tibagi – 64465000, são de 15% para os anos próximos à normalidade, 8% para os anos iguais ou abaixo de -1SD, 20% para os anos iguais ou acima de +1SD e 33% para a média;
- g) os valores de desvio padrão (SD) dos períodos hidrológicos, apontam maior variabilidade da vazão média interanual, durante o PH 2, em ambas estações fluviométricas;
- h) o coeficiente de variação (CV) não se mostra um bom parâmetro para a avaliação da variabilidade da vazão, na medida em que não é feita comparação de valores originados de diferentes populações, mas, sim, de apenas uma população, a vazão de um único rio. Sob esta condição, o (SD) torna-se mais eficiente que o (CV).

O conjunto dos resultados permite afirmar que o aumento da vazão média interanual, durante o PH 2 da estação fluviométrica de Jataizinho 64507000, não tem relação direta com a construção da UHE Capivara, situada no médio curso do Rio Paranapanema, nos municípios de Taciba – SP e Porecatu – PR, cujo fechamento das comportas ocorreu em 1976; enquanto a

ruptura dos dados ocorre em 1970. A alteração do regime hidrológico verificada, portanto, pode estar relacionada a fenômenos climáticos, especificamente, alteração do regime pluviométrico, e a processos de desmatamento e transformação da cobertura vegetal natural, logo, ao uso da terra, assim como observado por Rocha e Tommaselli (2012).

Nesse sentido, torna-se oportuno relacionar a variabilidade hidrológica, com: a) a variabilidade climática em escala interanual e interdecenal, por exemplo, por meio dos índices *Southern Oscillation Index – SOI* e *Pacific Decadal Oscillation – PDO*, na medida em que estes índices poderão auxiliar a compreender melhor a interação entre os processos hidrológicos com os padrões de teleconexão global, e, talvez, a identificar outros períodos hidrológicos, e b) com dados obtidos por meio de técnicas de geoprocessamento, como classificação de imagens orbitais.

Os resultados corroboram com Araújo e Rocha (2010), na medida em que os autores indicam que a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi sofreu aumento dos débitos após a década de 1970, sendo identificada concentração de anos com vazões baixas – classe seca, no período anterior, e, também, o fato do aumento das vazões estarem associados não apenas ao aumento de precipitações na bacia, mas também às alterações no uso do solo.

Apesar de não haver relação direta entre a construção da UHE Capivara e o aumento da vazão média interanual no PH 2 da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, não se descarta a hipótese de influência indireta do remanso, nas inundações que ocorrem no sítio urbano de Jataizinho, uma vez que com base nos resultados de mapeamento do espelho d'água realizado por Sousa (2012, 2013), esta cidade se encontra apenas a 10 Km do limite máximo de atuação do remanso, no Rio Tibagi. A influência indireta do remanso, pode estar provocando mudança do gradiente hidráulico e alteração dos pulsos hidrológicos ou pulsos de inundação, fatores que podem estar contribuindo para o aumento das ocorrências de inundações.

Com relação às tendências obtidas, por meio de regressão linear, os resultados apontam tendências positivas no período analisado, para ambas estações fluviométricas (Figura 4) e (Figura 5).

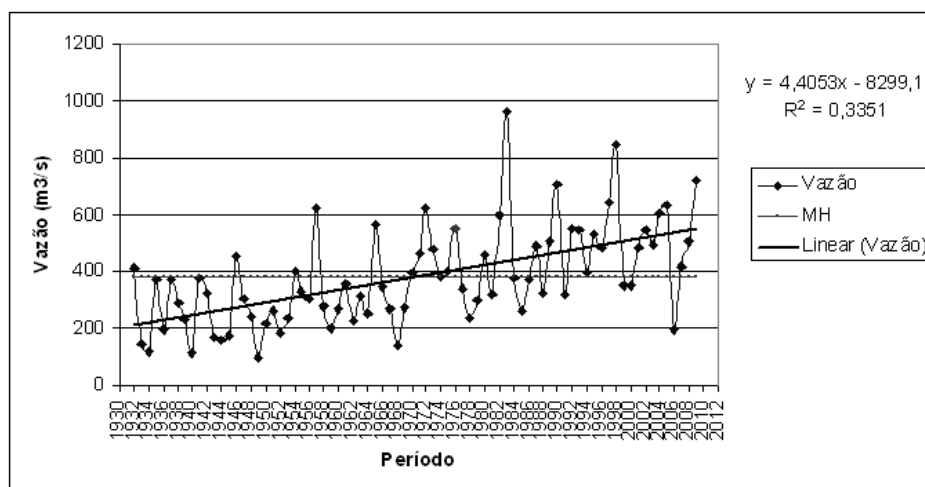


Figura 4 – Curva de tendência das vazões médias interanuais da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000. MH: Média histórica. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema.

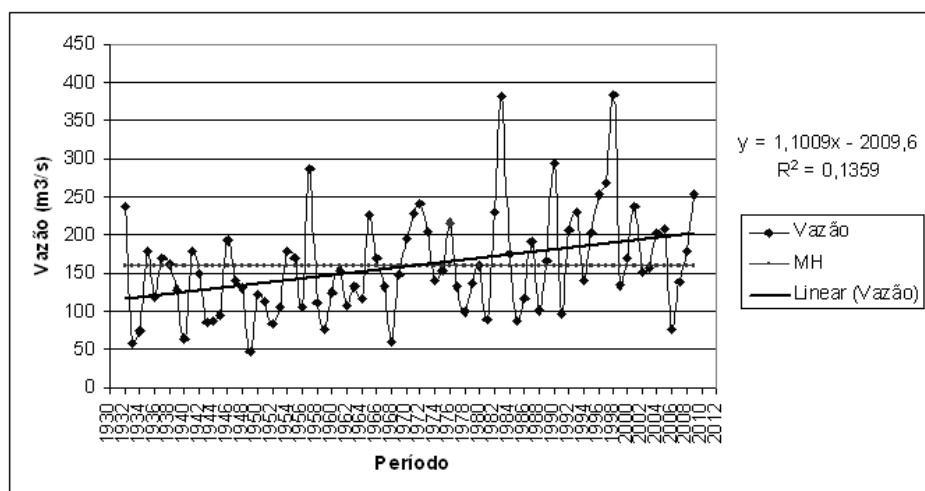


Figura 5 – Curva de tendência das vazões médias interanuais da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000. MH: Média histórica. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema.

Acerca do teste de Pettitt, este indica ruptura nos dados de vazão média interanual e a presença de dois períodos hidrológicos, tanto na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, como na estação fluviométrica de Tibagi 64465000. As escalas temporais dos períodos hidrológicos, entretanto, apresentam diferença de apenas um ano quando comparadas àquelas obtidas, por meio de estatística descritiva. Assim, PH 1 está compreendido, entre 1932 e 1969, e PH 2 entre 1970 e 2009 (Figura 6) e (Figura 7).

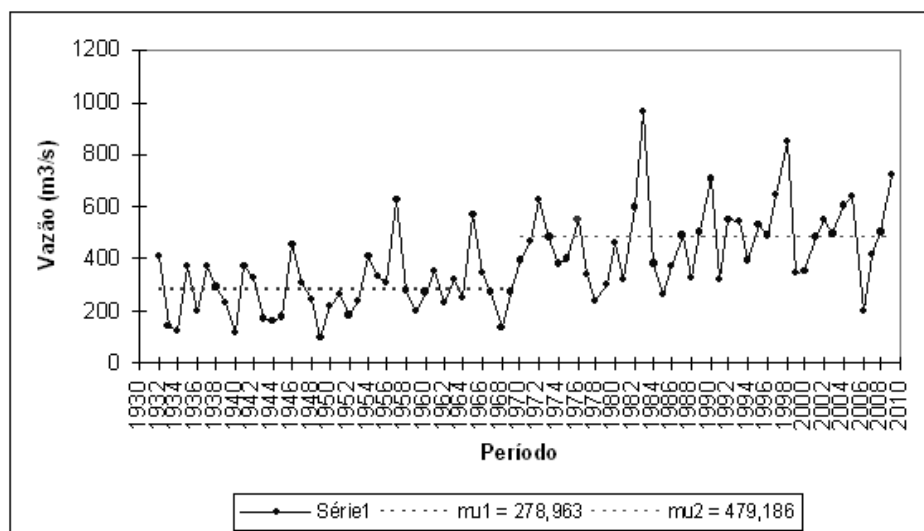


Figura 6 – Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais da estação fluviométrica de Jataizinho 64507000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

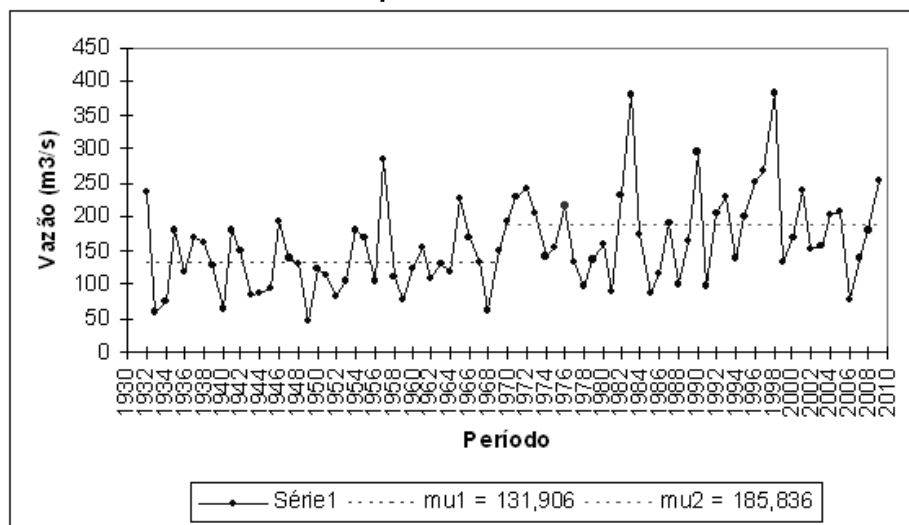


Figura 7 – Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais da estação fluviométrica de Tibagi 64465000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

Na medida em que ambas as técnicas mostraram-se compatíveis, optou-se por aplicar a técnica de Pettitt também nas vazões absolutas, isto é, vazões máximas e mínimas interanuais. Assim, igualmente ao que é observado nos dados das vazões médias, os resultados apontam a existência de dois períodos hidrológicos para as vazões máximas e vazões mínimas em ambas estações fluviométricas. Além disso, as escalas temporais dos períodos hidrológicos mostram-se idênticas àquelas obtidas através de técnicas de estatística descritiva. Nesse sentido, PH 1 está compreendido entre 1932 e 1970; enquanto PH 2 está compreendido entre 1971 e 2009 (Figura 8), (Figura 9), (Figura 10) e (Figura 11).

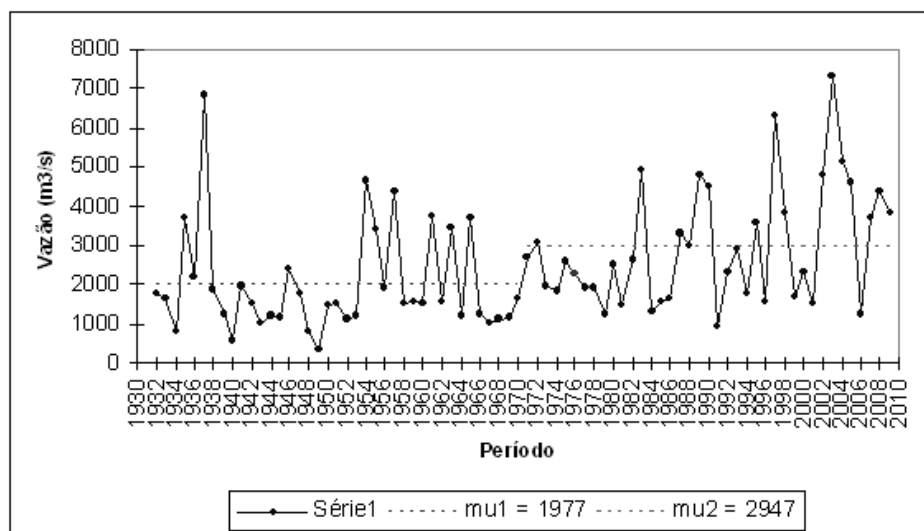


Figura 8 – Teste de Pettitt aplicado às vazões máximas interanuais da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

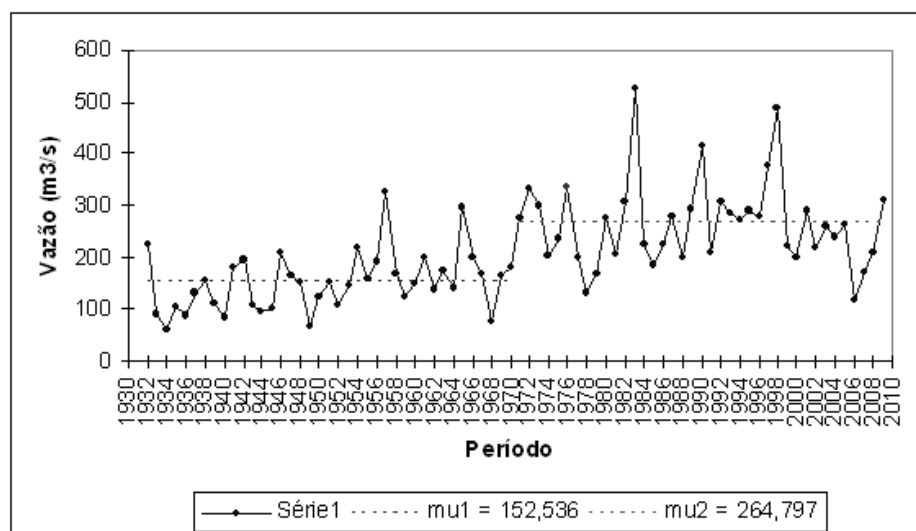


Figura 9 – Teste de Pettitt aplicado às vazões mínimas interanuais da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

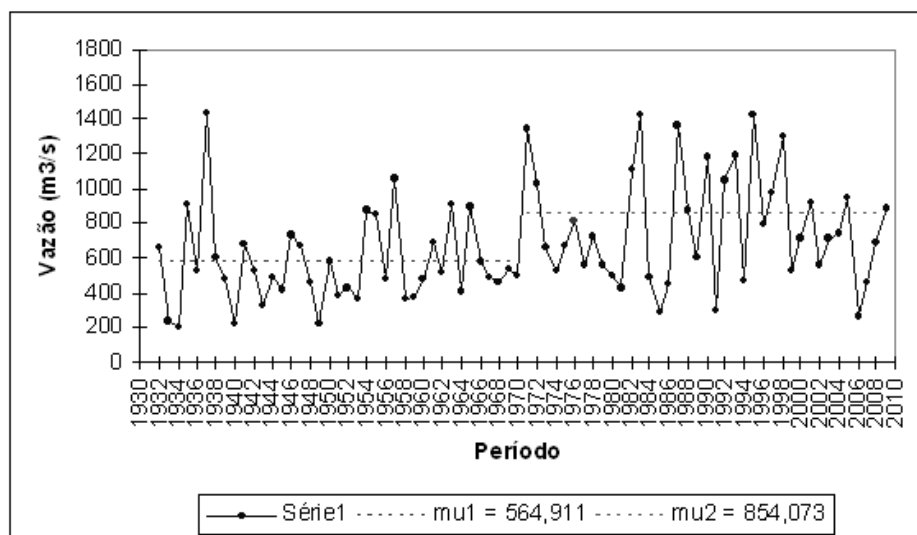


Figura 10 – Teste de Pettitt aplicado às vazões máximas interanuais da estação fluviométrica de Tibagi 64465000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

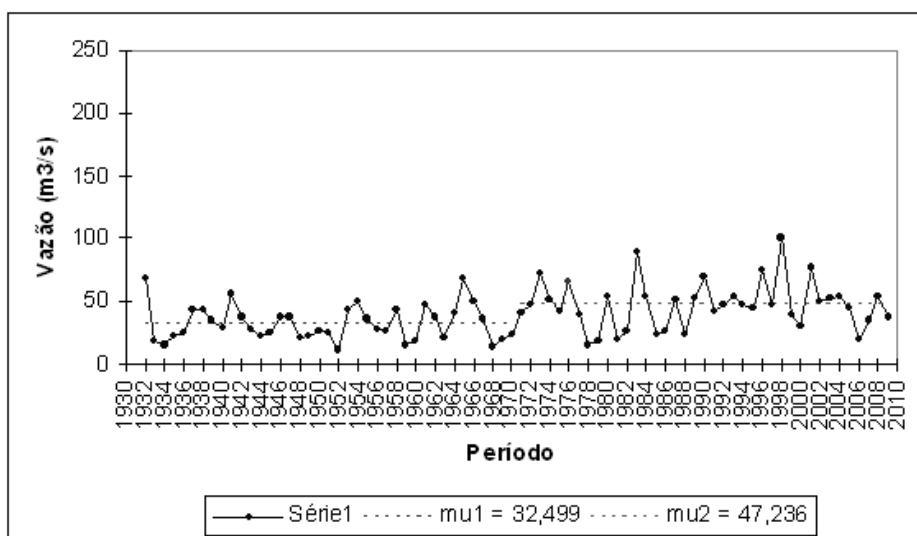


Figura 11 – Teste de Pettitt aplicado às vazões mínimas interanuais da estação fluviométrica de Tibagi 64465000. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. μ : Média.

Quanto ao teste de Mann-Kendall, os resultados apontam que as tendências possuem nível de significância positivo, tanto para as vazões médias, como para as vazões absolutas em ambas estações fluviométricas. Estes resultados estão em conformidade com as curvas de tendência obtidas por meio de regressão linear. A dispersão dos dados obtida pelo teste de Mann-Kendall pode ser observada na (Figura 12).

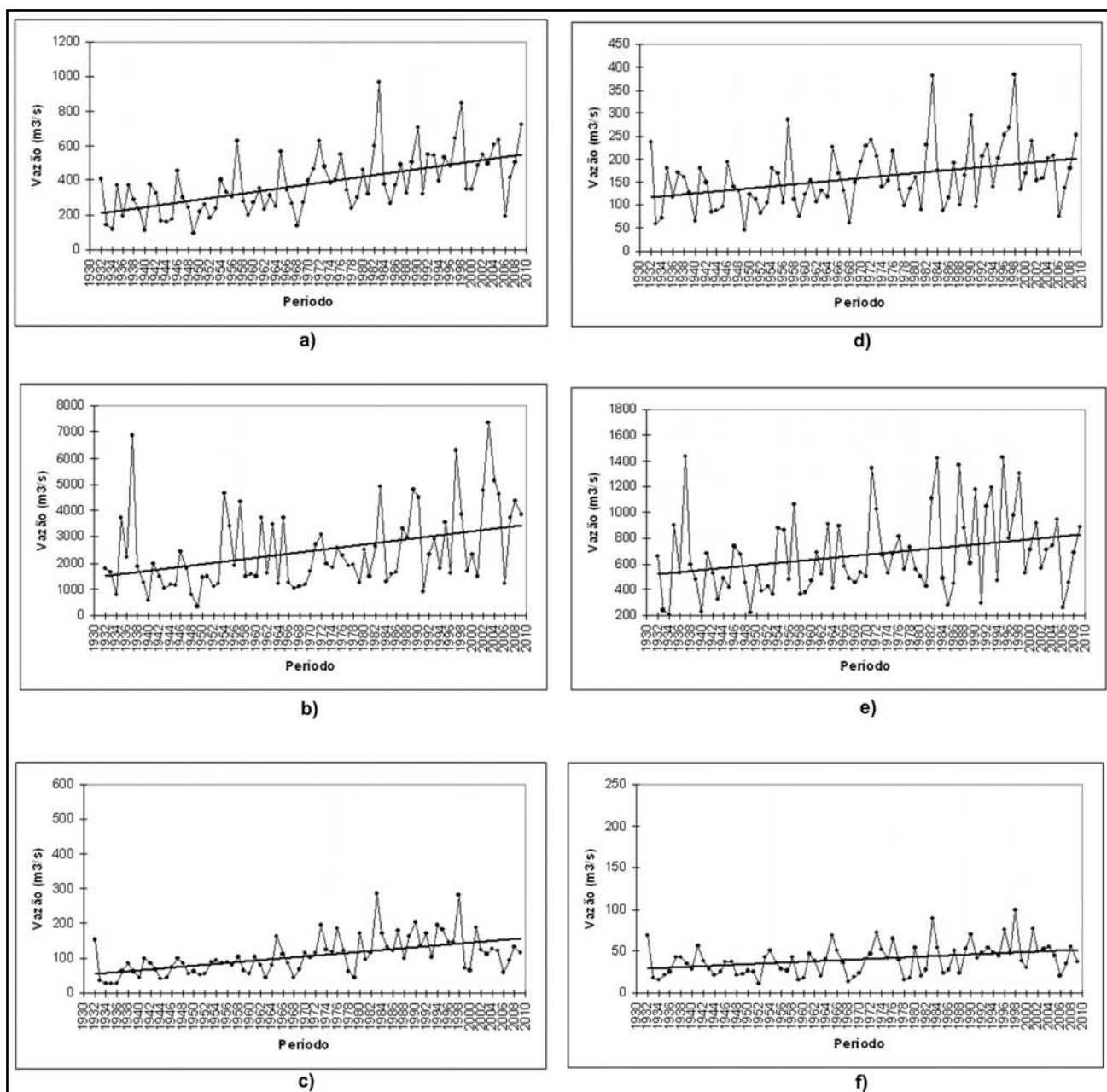


Figura 12 – Níveis de significância positivos identificados pelo teste de Mann-Kendall. a) Vazão média interanual da estação fluviométrica 64507000, b) vazão máxima interanual da estação fluviométrica 64507000, c) vazão mínima interanual da estação fluviométrica 64507000, d) vazão média interanual da estação fluviométrica 64465000, e) vazão máxima da estação fluviométrica 64465000 e f) vazão mínima da estação fluviométrica 64465000. Período: 1932 a 2009.

CONSIDERAÇÕES

As técnicas de estatística descritiva, utilizadas com base nos IAH, e o teste de Pettitt mostram-se compatíveis para a identificação de períodos hidrológicos. Nesse sentido, os resultados apontam diferenças mínimas para o ano de transição dos períodos hidrológicos, no que diz respeito à vazão média interanual. Assim, comparando os resultados obtidos pelas duas

técnicas, a ruptura dos dados de vazão média interanual oscilou entre 1969 e 1970. Entretanto, quando comparado os resultados com base nas vazões absolutas, isto é, máximas e mínimas interanuais, a década de 1970 é quem marca a mudança de um período hidrológico ao outro. No cômputo geral, a década de 1970 é quem marca a ruptura dos dados.

Os resultados indicam alteração do regime hidrológico do Rio Tibagi, no período analisado, na medida em que dois períodos hidrológicos são identificados, e, adicionalmente, são observadas tendências positivas, tanto para as vazões médias, como para as vazões absolutas. Entrementes, não apontam relação direta entre a construção da UHE Capivara e mudança do regime hidrológico, especificamente, com base nos dados da estação fluviométrica de Jataizinho, localizada no baixo curso do Rio Tibagi, mais próxima à área de remanso.

Ressalta-se que, é comum o regime hidrológico ser alterado a jusante de uma dada barragem, geralmente, com diminuição da vazão. Todavia, a literatura pertinente mostra que os efeitos advindos da mudança de nível de base imposta pela construção da barragem, poderão ser sentidos a alguma distância a montante. Dessa forma, não se descarta a hipótese de possível influência indireta da UHE Capivara, nas inundações da cidade de Jataizinho. A alteração do regime hidrológico do Rio Tibagi observada nos dados, portanto, está relacionada a outros fatores, dentre estes, o uso da terra da Bacia Hidrográfica do Tibagi, fato que demandará futuras pesquisas para averiguação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa em nível de Doutorado, e à equipe de pesquisadores que atuam nas temáticas: hidrogeografia, hidrologia, geomorfologia fluvial e limnologia, vinculados ao Grupo de Pesquisa Interações na Superfície, Água e Atmosfera – GAIA do Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/UNESP.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Alex P de; ROCHA, Paulo C. Regime de fluxo e alterações hidrológicas no rio Tibagi-Bacia do Rio Paranapanema / Alto Paraná. *Revista de Geografia*. v.especial, n.3, p.96-109, 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. HidroWeb. Sistema de Informações Hidrológicas. 2005. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2014.
- _____. Agência Nacional de Águas - ANA. Sistema de Informações Hidrológicas Versão 1.0. Manual do Usuário. Brasília – DF: ANA - Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH, 2002, p.34-42. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2014.
- CALOIERO, Tommaso; COSCARELLI, Roberto; FERRARI, Ennio; MANCINI, Marco. Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy). *International Journal Of Climatology*. v.31, n.1, p.44-56, 2011.
- DEBORTOLI, Nathan S. *O regime de chuvas na Amazônia Meridional e sua relação com o desmatamento*. 2013. 217p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável e Geografia) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, com co-tutela em Universite Rennes 2, Haute Bretagne.
- _____; DUBREUIL, Vincent; HENKE, Carlos; RODRIGUES FILHO, Saulo. Tendances et ruptures des séries pluviométriques dans la région méridionale de L’Amazonie brésilienne. In: COLLOQUE DE L’ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, 25., 2012, Grenoble, *Anais...* Grenoble: ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE – AIC, 2012, p.201-206.

- FRANÇA, Valmir de. O rio Tibagi no contexto hidrogeográfico paranaense. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: EDUEL, 2002, p.45-61.
- GAO, Z. L; FU, Y. L; LI, Y. H; LIU, J. X; CHEN, N; ZHANG, X. P. Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades. *Hydrology and Earth System Sciences*. v.16, n.9, p.3219-3231, 2012.
- JUNK, Wolfgang; BAYLEY, Peter B; SPARKS, Richard E. The flood pulse concept in river-floodplain systems, p.110-127. In: D. P. Dodge [ed.] *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106.
- LEOPOLD, Luna B; WOLMAN, M. G; MILLER, John P. *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1964, p.248-269.
- LIU, Dedi; CHEN, Xiaohong; LIAN, Yanqing; LOU, Zhanghua. Impacts of climate change and human activities on surface runoff in the Dongjiang River basin of China. *Hydrological Processes*. v.24, n.11, p.1487-1495, 2010.
- MAACK, Reinhard. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. p.329-420.
- MORAES, Jorge. M; PELLEGRINO, Giampaolo Q; BALLESTER, Maria V; MARTINELLI, Luiz A; VICTORIA, Reynaldo L; KRUSCHE, Alex V. Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. *Water Resources Management*. v. 12, n.4, p.295–311, 1998.
- MU, Xingmin; ZHANG, Lu; McVicar, Tim R; CHILLE, Basang; GAU, Peng. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*. v.21, n.16, p.2124-2134, 2007.
- PETTITT A. N. A Non-Parametric Approach To The Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28, p.126-135, 1979.
- POFF, N. LeRoy; ALLAN, J. David; BAIN, Mark B; KARR, James R; PRESTEGAARD, Karen L; RICHTER, Brian D; SPARKS, Richard E; STROMBERG, Julie. The natural flow regime. *BioScience* v.47, n.10, p.769-784, 1997.
- RICHTER, Brian D; BAUMGARTNER, Jeffrey V; WIGINGTON, Robert. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, p.231-249, 1997.
- ROCHA, Paulo C. Indicadores de alteração hidrológica no alto Rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. v.22, n.1, p.205-225, 2010
- _____; TOMMASELLI, José. T. G. Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, região Oeste Paulista. *Revista Brasileira de Climatologia*. v.10, jan./jun, p.69-84, 2012.
- SOUSA, Rodrigo V. B. *Estudo sobre as inundações no curso inferior do rio Tibagi – PR*. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- _____; BARROS, Miriam. V. F; PEREIRA NETO, Osvaldo C. Cálculo da área do espelho d'água, no curso inferior do rio Tibagi, através de operações aritméticas de bandas: Subsídio ao entendimento das causas responsáveis pela ocorrência de inundação na cidade de Jataizinho – PR. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, n.4, p.477-484, 2012.
- TUCCI, Carlos E. M. Regionalização de vazões. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2002, p.64-90.
- YANG, Yonghui; TIAN, Fei. Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. *Journal of hydrology*. v.374, n.3-4, p.373-383, 2009.

ZHANG, Shurong; LU, Xi.Xi; HIGGIT, David L; CHEN-TUNG, Arthur Chen; HAN, Jingtai; SUN, Huiguo. Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global and Planetary Change*. v.60, n.1-2, p.365-380, 2008.