

ANÁLISE DE ESTACIONARIEDADE EM SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS MÉDIAS ANUAIS DE ESTAÇÕES DA BACIA DO RIO TAPAJÓS

F.H.Tröger¹ & A.R.Pante¹

RESUMO - Foram aplicados testes estatísticos, paramétricos e não paramétricos, em séries de vazões naturais médias anuais de seis estações fluviométricas, localizadas na bacia do rio Tapajós. Nos casos em que as séries de vazões apresentaram indícios de não-estacionariedade nos resultados dos testes estatísticos, os mesmos foram aplicados sobre as séries de totais anuais de precipitação gerados por polígonos de Thiessen para as áreas de drenagem das respectivas estações fluviométricas, assim como nas séries de coeficientes de escoamento calculados para essas estações. Os resultados sinalizam que nas cabeceiras da bacia do rio Juruena, um dos formadores do rio Tapajós, existem indícios de decréscimo nas vazões médias anuais no período analisado. Os indícios de tendência verificados podem ser explicados, em alguns casos, por indícios de decréscimo também verificados na precipitação. Em outros casos, a explicação parece estar relacionada com indícios de tendência no coeficiente de escoamento.

ABSTRACT - Both parametric and non-parametric statistical tests were applied to annual mean natural flow series at six stream flow gauging sites located within the Tapajós river basin. Whenever the results of the statistical tests showed vestige of non-stationarity of any flow series, these tests were applied to annual total precipitation series generated through Thiessen polygons over the drainage area of their respective flow gauging sites, as well as to the series of runoff coefficients calculated for these stream flow gauging sites. The results point out to some indication of decreasing annual average flow, during the period under analysis, in the upper Juruena river basin, an important tributary of the Tapajós river. In some cases, the observed indication of trend may be explained by means of an also observed indication of precipitation decrease. In other cases, the explanation may be related with indication of trend of the runoff coefficient.

Palavras-chave: estacionariedade, séries temporais, testes de hipótese.

¹ Especialistas em recursos hídricos da Agência Nacional de Águas, Setor Policial - Área 5 – Qd. 3 - Bl. L, Brasília-DF. E-mails troger@ana.gov.br e pante@ana.gov.br,

1 INTRODUÇÃO

As ações de gestão de recursos hídricos, notadamente o planejamento e a outorga de direitos de uso, assim como os projetos de aproveitamento dos recursos hídricos de uma bacia, em geral se apóiam em estimativas de disponibilidade hídrica e no comportamento do regime hidrológico, obtidos a partir das séries de vazões disponíveis nas estações fluviométricas. Uma das premissas assumidas nos estudos desses projetos e nas ações de gestão é que as principais características estatísticas (médias, permanências de vazões etc.) da série histórica de vazões serão reproduzidas no futuro. Essa premissa só pode ser considerada válida se as séries não apresentarem tendências crescentes ou decrescentes, ou seja, que a hipótese de estacionariedade das séries não seja rejeitada, a um determinado nível de significância.

Por outro lado, a identificação de tendências em séries temporais de vazões também é importante, principalmente quando complementada por avaliações de tendências em outras variáveis hidrológicas (precipitação, evapotranspiração, impermeabilização do solo, etc.), na medida em que auxiliam nos estudos, projetos e ações em recursos hídricos.

2 METODOLOGIA

Uma das formas para identificar a presença de não-estacionariedade nas séries de vazões médias anuais é a utilização de testes de hipótese. Testes de hipótese consistem na formulação de uma hipótese sobre o comportamento probabilístico de uma população de dados, que será aceita ou rejeitada pelas observações disponíveis em uma amostra de dados de uma população. Os testes de hipótese podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos. Testes paramétricos são aqueles onde os dados da amostra, por premissa, tiverem sido extraídos de uma população que segue uma distribuição de probabilidades conhecida ou previamente especificada. Já os testes não paramétricos não exigem que essa premissa seja adotada (Naghettini e Pinto, 2007). Por outro lado, testes não paramétricos podem ter seus resultados influenciados pela presença de autocorrelação nas séries analisadas. Cabe salientar que os testes paramétricos são citados na literatura como sendo, em geral, mais potentes do que os não paramétricos na identificação de tendências e não-estacionariedades em séries temporais.

Dessa forma, antes da aplicação de quaisquer testes para detecção de tendência, é necessária a aplicação de testes preliminares para verificar a hipótese de normalidade dos dados, bem como identificar a presença de autocorrelação entre eles.

Para esse estudo foram selecionados e utilizados dois testes paramétricos e quatro não paramétricos, sendo que foram aplicados previamente testes de normalidade e de autocorrelação sobre a série de dados analisados.

O intervalo de confiança do teste é obtido a partir do nível de significância adotado (α), segundo a expressão $(1-\alpha)$, para teste unilateral, ou $(1-\alpha/2)$ no caso de formulação de teste bilateral. A aplicação dos testes de hipótese de forma bilateral é mais indicada quando a formulação da hipótese é para verificação de igualdade entre estatísticas (média e variância, por exemplo) ou aderência a uma determinada distribuição, sem maiores preocupações em indicar a direção da eventual não aceitação da hipótese nula. Este é o caso dos testes realizados neste trabalho, e, assim, optou-se por aplicar os testes de hipótese de normalidade e paramétricos sempre de forma bilateral.

Testes de normalidade e correlação serial

Para essa análise preliminar foram selecionados três testes para avaliar a normalidade (coeficiente de assimetria, teste de Qui-quadrado e teste de Kolmogorov-Smirnov) e um para avaliar o grau de autocorrelação entre os dados (coeficiente de autocorrelação). Mais detalhes sobre a formulação dos testes de normalidade utilizados podem ser encontrados em Salas *et al.*(1985).

Alguns testes de hipótese, segundo Clarke e Brusa (1997), podem apresentar resultados que superestimariam a presença de não-estacionariedade diante de dados com alguma dependência serial. Isso sugere cautela na sua aplicação, quando da presença de autocorrelação significativa.

Testes não paramétricos

Após as verificações necessárias sobre a normalidade dos dados e a sua autocorrelação serial, foram aplicados os testes de hipótese para avaliar a estacionariedade das séries estudadas.

Foram selecionados quatro testes não paramétricos: Coeficiente de Spearman, Wilcoxon, Wald-Wolfowitz e Smirnov. Estes testes são descritos a seguir.

Teste do Coeficiente de Spearman

O teste do coeficiente de Spearman ou da correlação ordenada de Spearman é um teste de independência entre duas séries emparelhadas (a um valor x de uma série corresponde um valor y da outra série). Baseia-se no cálculo do coeficiente de correlação das ordens (ranks) respectivas de x e de y no conjunto de todos os pares de valores. No caso das séries temporais serve para detectar alguma tendência, crescente ou decrescente, de seus valores ao longo do tempo [CEHPAR (2001); Silveira (2000)].

Foi aplicado fixando-se as ordens de x na forma natural (1, 2, 3 ... n) e permutando apenas a ordem de y (ordem crescente). O coeficiente ρ_s é calculado por meio da equação 1.

$$\rho_s = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \sum_{i=1}^n (Rx_i - Ry_i)^2 \quad (1)$$

Onde ρ_s é o coeficiente de Spearman, Rx_i é a ordem do elemento x_i na serie em ordem natural (x), Ry_i é a ordem do valor x_i na serie ordenada de forma crescente (y) e n é o número de elementos da amostra.

ρ_s é uma variável aleatória com distribuição simétrica, com média e variância dadas pelas equações 2 e 3, conforme Silveira (2000).

$$E(\rho_s) = 0 \quad \text{e} \quad \text{var}(\rho_s) = \frac{1}{n-1} \quad (2) \text{ e } (3)$$

A distribuição de ρ_s foi estabelecida pela teoria estatística, mas para uso prático trabalhar-se com sua relação com a estatística t de Student, dada pela equação 4 [Silveira (2000)].

$$t_{n-2} = \sqrt{\frac{(n-2)\rho_s^2}{(1-\rho_s^2)}} \quad (4)$$

Onde t_{n-2} é a estatística **t** com n-2 graus de liberdade.

Compara-se a estatística t_{n-2} calculada com o valor de **t** crítico (tabela de Student), bilateralmente, para determinado nível de significância. Se o valor calculado (t_{n-2}) for maior que o valor de tabela $t_{(n-2), \alpha}$ rejeita-se a hipótese de independência das amostras x e y (ordem natural e ordem crescente).

Teste de Wilcoxon ou Mann-Whitney

O teste de Wilcoxon, também chamado de Mann-Whitney ou teste U, baseia-se numa estatística de ordens avaliada em duas séries de observação, que podem ter tamanhos diferentes, com o intuito de definir o grau de mistura entre as duas séries e verificar se elas provêm da mesma distribuição de probabilidades [Silveira (2000)]. Para aplicar este teste em uma série temporal, esta deve ser dividida em duas sub-amostras.

A estatística U, que caracteriza o teste, é a contagem total do número de vezes que cada valor da primeira amostra (de tamanho n_1) excede ou é igual a cada valor da segunda amostra (de tamanho n_2) e pode ser estimada pelo somatório de ranks, conforme demonstra a equação 5.

$$U = S - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \quad \text{onde} \quad S = \sum_{i=1}^{n_1} Rx_i \quad (5)$$

Sendo Rx_i a ordem crescente dos x_i valores da primeira série, considerando-se a ordenação conjunta das duas séries ou sub-amostras.

Conforme Silveira (2000), demonstra-se que:

$$E(S) = n_1 \frac{N+1}{2} \quad (6)$$

Onde $N = n_1 + n_2$ e $(N+1)/2$ é a média dos N primeiros números inteiros.

A média e a variância de U são dadas pelas equações 7 e 8:

$$E(U) = \frac{n_1 n_2}{2} \quad \text{e} \quad \text{var}(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (7) \text{ e } (8)$$

Sendo n_1 o número de elementos da primeira parte da série e n_2 o número de elementos da segunda parte da série.

O teste de hipótese é feito com base na distribuição normal, calculando-se o valor da estatística Z através da equação que segue.

$$Z = \frac{U - E(U)}{\sqrt{\text{Var}(U)}} \quad (9)$$

Compara-se então o valor de Z calculado com o valor de Z crítico, proveniente da distribuição normal padrão, para determinado nível de significância [Koch e Rego (1984)]. Se o módulo de Z calculado for maior que Z crítico, fica caracterizado que as duas sub-amostras da série não são de uma mesma população, indicando a presença de não-estacionariedade.

Teste de Wald-Wolfowitz

O teste de Wald-Wolfowitz, também chamado de *run test*, verifica se os dados de uma série ocorrem de forma aleatória.

A estatística r , conforme Back (2001), realiza a contagem do número de oscilações dos valores da série, na sua ordem natural, em torno da sua mediana e verifica se esse número está dentro de uma faixa de distribuição considerada normal.

A distribuição amostral do número de oscilações pode ser aproximada pela distribuição normal, com média e variância dadas pelas equações 10 e 11 [CEHPAR (2001); Back (2001)].

$$E(r) = \frac{2n_1 n_2}{n_1 + n_2} + 1 \quad (10)$$

$$\text{Var}(r) = \frac{2n_1 n_2 (2n_1 n_2 - (n_1 + n_2))}{(n_1 + n_2)^2 (n_1 + n_2 - 1)} \quad (11)$$

Sendo n_1 o número de elementos da série maiores ou iguais à mediana e n_2 o número de elementos da série menores do que a mediana.

Como esta estatística tende a uma distribuição normal, os testes podem ser feitos com base na distribuição normal padrão. Para tal, calcula-se o valor de Z através da equação 12.

$$Z = \frac{r - E(r)}{\sqrt{Var(r)}} \quad (12)$$

Compara-se então o valor de Z calculado com o valor de Z crítico, proveniente da distribuição normal padrão, para um determinado nível de significância. Se o módulo do Z calculado for maior que o de Z crítico, considera-se que a série não é aleatória, tendo indícios de não-estacionariedade.

Teste de Smirnov

O teste de Smirnov pode ser usado para verificar a origem de duas amostras de dados, sendo a hipótese nula que as duas amostras sejam originadas de uma mesma população. No caso de duas amostras oriundas de uma mesma série temporal, o teste pode sinalizar indícios de não-estacionariedade na série. A metodologia deste teste foi extraída de ELETROBRAS (1987).

O teste compara o ajuste entre as curvas de freqüências acumuladas das duas amostras. Para tal, os dados são separados em duas amostras mantendo a ordem cronológica, sendo que é criado um vetor com a ordem de cada valor, dentro do conjunto total de dados. Os dados são então ordenados de forma crescente, sendo criado outro vetor com a classificação destes dados, que será crescente variando de 1 até n . Com base nos vetores de ordem criados, são calculados os parâmetros r_i e s_i . O parâmetro r_i é igual, para cada valor do vetor de ordem dos dados cronológicos, ao número de valores menores ou iguais a ele que pertencem à 1ª amostra. O parâmetro s_i é igual para cada valor do vetor de ordem dos dados cronológicos, ao número de valores menores ou iguais a ele que pertencem à 2ª amostra. Posteriormente, calcula-se o parâmetro d_i , por meio da equação 13 e a máxima diferença absoluta entre as duas distribuições de freqüência é calculado pela equação 14.

$$d_i = \frac{r_i}{n} - \frac{s_i}{m} \quad (13)$$

Sendo n o número de elementos na 1ª amostra e m o número de elementos na 2ª amostra.

$$D_{Max} = \text{Max}|d_i| \quad (14)$$

O valor de D_{Max} calculado é padronizado em relação ao número de dados das duas amostras, através da equação 15.

$$Z = D_{Max} \sqrt{\frac{n * m}{n + m}} \quad (15)$$

Sendo Z a máxima diferença absoluta, padronizada em relação ao número de dados; D_{Max} a máxima diferença absoluta entre as funções das duas amostras; n o número de elementos da primeira amostra; e m o número de elementos da segunda amostra.

Por fim, o valor de Z calculado é comparado com o valor de Z crítico ($Z\alpha$) para um determinado nível de significância α , tabelado. Se Z for maior ou igual a $Z\alpha$, rejeita-se a hipótese de nula de que as duas amostras são oriundas da mesma população.

Testes Paramétricos

Foram selecionados dois testes paramétricos: O teste t de Student e o teste F de Snedecor. O teste t de Student (t-test) avalia a igualdade de duas médias provenientes de duas amostras, havendo o desconhecimento dos valores populacionais das variâncias [Silveira (2000); CEHPAR (2001)], enquanto que o teste de F avalia a igualdade das variâncias de duas amostras. A formulação básica desses testes pode ser encontrada em Tröger *et al.* (2004).

3 DADOS UTILIZADOS

Para realizar o estudo sobre a hipótese de estacionariedade das séries de vazões naturais reconstituídas (acrescidas das séries de usos consuntivos estimados para a região localizada a montante das estações), preenchidas/estendidas no período entre 1976 e 2005, de algumas estações fluviométricas da bacia do rio Tapajós, foram selecionadas estações que controlam seções em diferentes trechos da bacia e nos principais afluentes do rio Tapajós, bem como algumas estações nas cabeceiras da bacia, onde há indícios de que as alterações antrópicas foram intensificadas nos últimos anos. As estações fluviométricas escolhidas para aplicação dos testes foram:

- Barra do São Manuel – Jusante (17430000), que controla boa parte da bacia do rio Tapajós e sua série de dados observados é extensa;
- Três Marias (17420000), que drena boa parte da bacia do rio Teles Pires, um dos principais formadores do rio Tapajós, tendo extensa série de dados observados;
- Fontanilhas (17093000), que controla uma parte significativa da bacia do rio Juruena (um dos principais formadores do rio Tapajós) e é uma das estações da bacia com extensa série de dados observados;
- Porto dos Gaúchos (17120000), que controla uma parcela significativa da bacia do rio Arinos, o principal afluente do rio Juruena, além de possuir uma extensa série de dados observados;

- Porto Roncador (17200000), que controla a parte alta da bacia do rio Teles Pires e possui uma extensa série de dados observados;
- Fazenda Tucunaré (17091000), que se localiza nas cabeceiras da bacia do rio Juruena, sendo uma região com intensas alterações antrópicas. Para esta estação, os testes foram realizados sobre uma série de vazões de apenas 11 anos (1996-2006), pois não foi possível estender a série de vazões até o ano de 1976 com precisão adequada.

Após a aplicação dos testes estatísticos sobre as referidas séries de vazões foram identificadas as estações que apresentavam tendências de crescimento ou decréscimo de suas vazões e, para estas estações, foram aplicados os testes estatísticos sobre as séries de precipitações totais anuais calculadas utilizando polígonos de Thiessen sobre as respectivas áreas de drenagem. A indicação de tendências nas séries de precipitação, semelhantes às observadas nas séries fluviométricas, podem sinalizar que as tendências verificadas nas séries de vazão seriam explicadas por mudanças no regime de chuvas nas bacias.

Nos casos em que foram detectadas tendências nas séries de vazões, além das análises de precipitação, foram também aplicados testes estatísticos nos coeficientes de escoamento médios anuais, calculados a partir da relação entre os deflúvios totais anuais da estação fluviométrica e a precipitação total anual média calculada utilizando polígonos de Thiessen sobre a área de contribuição da estação em análise. Este procedimento visa identificar, de forma bastante simplificada, mudanças na relação entre chuva e vazão na bacia, que podem eventualmente ser resultados de ações antrópicas, como alterações no uso do solo, por exemplo. Esta técnica também foi utilizada em Müller *et al.* (1998) para a análise de estacionariedade em séries de vazões na bacia do rio Paraná.

4 RESULTADOS

Para verificar a aplicabilidade de testes paramétricos sobre os dados originais, foi previamente aferida a normalidade dos dados e, posteriormente, a presença de autocorrelação serial nos mesmos. A tabela 1 apresenta os resultados dos testes de normalidade aplicados sobre os dados das séries de vazões naturais das estações fluviométricas estudadas.

Conforme pode ser observado na tabela 1, os testes de Qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov indicaram que as séries das estações fluviométricas ajustam-se a uma distribuição normal, enquanto que o coeficiente de assimetria calculado sugere que as séries não apresentam assimetria.

Tabela 1 – Resultados dos testes de normalidade sobre as séries de vazões das estações.

Teste	Valor crít. (95%)	B. São Manuel	Três Marias	Fontanilhas	Porto Gaúchos	Porto Roncador	Faz. Tucunaré ¹
Coef. assimetria	$g(95\%) = 0,877$	-0,02	-0,07	0,42	0,61	0,49	0,74
Qui-quadrado	$\chi^2 = 15,507$	2,67	6,67	9,33	4,67	10,00	0,73
Kolmogorov-Smirnov	$D_\alpha = 0,248$	0,10	0,09	0,17	0,11	0,12	0,20

¹ Para Fazenda Tucunaré, cuja série analisada tem extensão menor do que as demais, os valores críticos para os parâmetros dos testes são: $g(95\%) = 1,518$; $\chi^2 = 3,841$ e $D_\alpha = 0,429$.

Atendida a condição de normalidade da série, aferiu-se a presença de correlação serial por meio do cálculo do coeficiente de autocorrelação para diferentes defasagens e construídos os autocorrelogramas das séries, apresentados na figura 1, onde as linhas azuis representam os respectivos coeficientes de autocorrelação dos dados das estações analisadas e as linhas vermelhas representam os limites, inferiores e superiores, que caracterizam independência entre os dados.

Pela figura 1, não se observa a presença de autocorrelação significativa entre os valores médios anuais de vazão das estações Barra do São Manuel, Três Marias e Porto Roncador, para nenhum *lag* (defasagem) analisado. Assim, foram utilizados testes não paramétricos e paramétricos para identificação de tendências nestas estações.

Para as estações Fontanilhas e Porto dos Gaúchos, onde foi observada a presença de autocorrelação significativa entre os valores médios anuais de vazão para a defasagem de 1 mês, foram aplicados somente os testes paramétricos de Student (teste t) e F de Snedecor (teste F), que exigem apenas que os dados se ajustem a uma distribuição normal. Testes não paramétricos, que exigem ausência de autocorrelação na série de dados, não foram aplicados nestas estações. No caso da estação Fazenda Tucunaré, cuja série apresentou autocorrelação significativa para vários *lags*, também foram aplicados apenas os testes paramétricos para verificação de tendências. A autocorrelação significativa observada nessa estação poderia estar relacionada às características do regime de escoamento de base da bacia afluente, altamente regularizada em função de seus solos sedimentares profundos. Nesse sentido, Sala (1985) denomina como *séries de elevada memória*, aquelas cujo coeficiente de autocorrelação persiste por vários *lags*.

Após a realização dos testes de normalidade e de autocorrelação serial, foram aplicados os testes de hipótese não paramétricos nas estações Barra do São Manuel, Três Marias e Porto Roncador. Os resultados dos testes de hipótese não paramétricos são apresentados na tabela 2.

A tabela 2 mostra que, dos quatro testes não paramétricos aplicados, dois indicaram que há indícios de não-estacionariedade na série de Barra do São Manuel, para o período 1976-2005. Para

a estação Três Marias, os testes não paramétricos indicam a presença de indícios de não-estacionariedade. No caso da estação Porto Roncador, apenas um dos testes sinalizou indícios de não-estacionariedade.

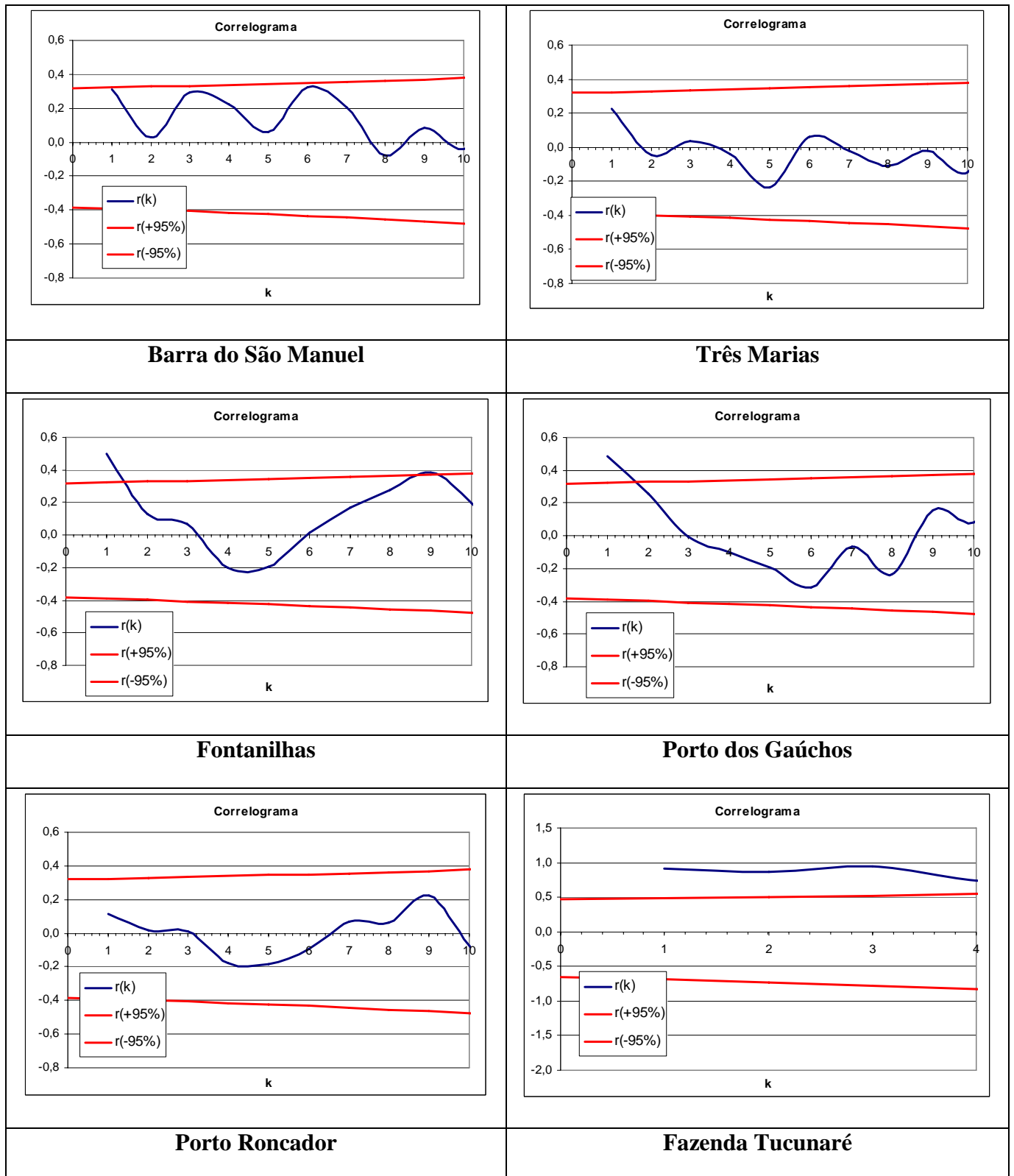


Figura 1 - Autocorrelogramas das séries de vazões naturais das estações estudadas.

Tabela 2 – Resultados dos testes não paramétricos nas séries de vazões das estações fluviométricas

Barra do São Manuel			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 1,278$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,456$ $t = 2,71$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 172$ $Z = 2,468$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 13$ $Z = -1,11$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Três Marias			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 0,913$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,224$ $t = 1,214$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 149$ $Z = 1,514$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 15$ $Z = -0,37$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Porto Roncador			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 0,913$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,39$ $t = 2,238$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 153$ $Z = 1,68$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 12$ $Z = -1,49$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.

Posteriormente, foram realizados os testes paramétricos de Student (teste t) e F de Snedecor (teste F). Esses testes são aplicados sobre duas amostras para verificar se ambas são provenientes de uma mesma população, através da verificação de igualdade estatística entre suas médias (teste t) e entre suas variâncias (teste F).

Para verificar a presença de não-estacionariedade em uma série única, pode-se dividir a série temporal em duas sub-amostras, aplicando-se os testes sobre elas. Para separar a série em duas sub-amostras de mesmo tamanho, adotou-se o ano de 1991 para essa divisão, com exceção de Fazenda Tucunaré, cujo ano de divisão foi 2001. Os resultados dos testes são apresentados na tabela 3.

Os resultados da aplicação dos testes paramétricos, apresentados na tabela 3, indicam que para as estações Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré, há indícios de não-estacionariedade nas séries de vazões, uma vez que para estas estações o teste T de Student indica que as médias das duas sub-amostras das séries de vazões são diferentes. Destas séries de vazões,

apenas a série de Barra do São Manuel foi objeto de análise por testes não paramétricos (tabela 2), que, em dois testes, confirmaram os indícios de não-estacionariedade para esta estação.

Tabela 3 – Resultados dos testes paramétricos sobre as séries de vazões das estações fluviométricas.

Barra do São Manuel			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 2,919$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são diferentes, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 1,127$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Três Marias			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 1,714$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 1,213$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fontanilhas			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 2,889$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são diferentes, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 0,627$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Porto dos Gaúchos			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 1,323$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 2,10$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Porto Roncador			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 1,346$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 0,385$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fazenda Tucunaré			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 4,148$	$T_{(95\%, 28)} = 2,262$	As médias das duas sub-amostras são diferentes, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 6,021$	$F_{(95\%)} = 6,256$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%

Os dois testes paramétricos aplicados à série de vazões da estação Porto Roncador não sinalizam indícios de não-estacionariedade nesta estação. Dos quatro testes não paramétricos aplicados a esta estação, apenas um apresentou indícios de não-estacionariedade na série. Pela maior robustez dos testes paramétricos, conforme descrito na literatura, e pelo fato de que apenas um teste não paramétrico apresentou indícios de não-estacionariedade, considerou-se que a série de vazões desta estação não apresenta indícios de não-estacionariedade.

A etapa seguinte do trabalho foi verificar se os indícios de não-estacionariedade encontrados nas séries de vazões naturais médias anuais das estações fluviométricas Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré poderiam ter relação com eventuais tendências nos regimes de precipitação das bacias afluentes às referidas estações. Para tal, foi realizada uma análise de estacionariedade da série de totais anuais de precipitação calculada por polígonos de Thiessen para a área de drenagem das respectivas estações.

Novamente, para verificar a aplicabilidade de testes paramétricos sobre os dados, agora de precipitação, foram aplicados testes preliminares para aferir a normalidade e a presença de autocorrelação serial. Os resultados dos testes de normalidade aplicados sobre os dados de precipitação registrada sobre as áreas de drenagem das estações fluviométricas Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos testes de normalidade sobre as séries de precipitação.

Teste	Valor crítico (95%)	Barra São Manuel	Fontanilhas	Faz Tucunaré ¹
Coef. assimetria	$g(95\%) = 0,877$	0,151	-0,140	0,158
Qui-quadrado	$\chi^2 = 15,507$	14,0	2,0	0,8
Kolomogorov-Smirnov	$D_\alpha = 0,248$	0,10	0,064	0,097

¹ Para Fazenda Tucunaré, cuja série analisada tem extensão menor do que as demais, os valores críticos para os parâmetros dos testes são: $g(95\%) = 1,518$; $\chi^2 = 3,841$ e $D_\alpha = 0,429$.

A tabela 4 mostra que as séries se ajustam a distribuições normais e não são significativamente assimétricas. Após a realização dos testes preliminares, foram realizados os testes de hipótese não paramétricos, cujos resultados são apresentados na tabela 5.

A tabela 5 mostra que, para a estação Fazenda Tucunaré, nenhum dos testes não paramétricos realizados na série de precipitações confirma os indícios de não-estacionariedade verificados na série de vazões desta estação. Para a estação Barra do São Manuel, apenas um dos quatro testes não paramétricos aplicados sobre a série de precipitações confirma os indícios de não-estacionariedade verificados na respectiva série de vazões. Já para a estação Fontanilhas, três dos quatro testes não paramétricos aplicados na série de precipitações confirma os indícios de não-estacionariedade verificados na série de vazões.

Posteriormente, foram aplicados os testes paramétricos de Student (teste t) e F de Snedecor (teste F) sobre as séries de precipitações das áreas de drenagem das estações fluviométricas que apresentam indícios de não-estacionariedade nas séries de vazões. Novamente, adotou-se a divisão da série no ano de 1991, com exceção de Fazenda Tucunaré, cujo ano de divisão foi 2001. Os resultados dos testes são apresentados na tabela 6.

Tabela 5 – Resultados dos testes não paramétricos sobre as séries de totais anuais de precipitação calculadas por polígonos de Thiessen

Barra do São Manuel			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 1,095$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,449$ $t = 2,657$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Série apresenta indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 153$ $Z = 1,68$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 16$ $Z = 0,0$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Fontanilhas			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 1,461$	$D_{\alpha} = 1,358$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,495$ $t = 3,014$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 174$ $Z = 2,551$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 15$ $Z = -0,37$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Fazenda Tucunaré			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 2001)	$D_{1,2} = 0,949$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = 0,418$ $t = 1,302$	$t_{(95\%, 28)} = 2,306$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 2001)	$U = 5$ $Z = -1,567$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 6$ $Z = 0,0$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.

Pode-se observar na tabela 6 que, para a estação fluviométrica Barra do São Manuel, o teste T de Student aplicado à série de precipitações sugere a presença de tendência, conforme verificado na série de vazões desta estação. No caso das estações Fontanilhas e Fazenda Tucunaré, os referidos testes paramétricos não indicaram a presença de tendência nas séries de precipitação desta estação.

Numa avaliação conjunta dos resultados dos testes paramétricos e não paramétricos aplicados às séries de precipitações nas áreas de drenagem das estações fluviométricas Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré, verificou-se que somente no caso desta última estação todos os testes aplicados à respectiva série de precipitação indicaram estacionariedade. Nas outras duas estações, pelo menos dois testes apresentam indícios de não-estacionariedade nas séries de precipitações sobre as áreas de drenagem das estações.

Tabela 6 – Resultados dos testes paramétricos sobre as séries de precipitações calculadas por polígonos de Thiessen

Barra do São Manuel			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 2,166$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são diferentes, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 1,559$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fontanilhas			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 1,932$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 0,363$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fazenda Tucunaré			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = -1,421$	$T_{(95\%, 28)} = 2,306$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 0,432$	$F_{(95\%)} = 6,388$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%

Estes resultados sinalizam que as tendências na precipitação podem ter provocado as tendências encontradas nas séries de vazões das estações Barra do São Manuel e Fontanilhas. No caso da estação Fazenda Tucunaré, a precipitação provavelmente não explica a tendência observada na série de vazões.

Na sequência do estudo, foram aplicados testes de estacionariedade nas séries de coeficientes de escoamento médios anuais das estações Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré, calculados pela relação entre os deflúvios totais anuais e as precipitações totais anuais no período de 1976 a 2005, para as estações Barra do São Manuel e Fontanilhas, e de 1996 a 2005 para a estação Fazenda Tucunaré.

A tabela 7 apresenta os resultados dos testes de normalidade aplicados sobre as séries dos coeficientes de escoamento médios anuais das estações Barra do São Manuel, Fontanilhas e Fazenda Tucunaré.

Tabela 7 – Resultados dos testes de normalidade sobre as séries dos coeficientes de escoamento médios anuais.

Teste	Valor crítico (95%)	Barra São Manuel	Fontanilhas	Faz Tucunaré¹
Coef. assimetria	$g(95\%) = 0,877$	0,474	0,441	0,661
Qui-quadrado	$\chi^2 = 15,507$	7,333	6,667	0,800
Kolmogorov-Smirnov	$D_\alpha = 0,248$	0,100	0,126	0,137

¹ Para Fazenda Tucunaré, cuja série analisada tem extensão menor do que as demais, os valores críticos para os parâmetros dos testes são: $g(95\%) = 1,518$; $\chi^2 = 3,841$ e $D_\alpha = 0,429$.

A tabela 7 mostra que essas séries se ajustam a distribuições normais e não são significativamente assimétricas. Após essa etapa, foram realizados os testes de hipótese não paramétricos. Os resultados desses testes de hipótese são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultados dos testes não paramétricos sobre as séries de coeficientes de escoamento

Barra do São Manuel			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 1,095$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,201$ $t = 1,085$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 157$ $Z = 1,846$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 15$ $Z = -0,37$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Fontanilhas			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 1991)	$D_{1,2} = 0,913$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = 0,186$ $t = 1,003$	$t_{(95\%, 28)} = 2,048$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 1991)	$U = 64$ $Z = -0,767$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 15$ $Z = -0,37$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Fazenda Tucunaré			
Teste	Estatística	Valor crítico	Resultado
Smirnov (série dividida em 2001)	$D_{1,2} = 1,265$	$D_{\alpha} = 1,358$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Spearman	$\rho = -0,6$ $t = 2,121$	$t_{(95\%, 28)} = 2,306$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wilcoxon (série dividida em 2001)	$U = 22$ $Z = 1,984$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.
Wald-Wolfowitz	$r = 6$ $Z = 0,0$	$Z_{(95\%)} = 1,96$	Não há indícios de não-estacionariedade para α igual a 5%.

Os resultados da tabela 8 mostram que, para a estação Fazenda Tucunaré, um dos testes não paramétricos aplicados indicou indícios de não-estacionariedade na série de coeficientes de escoamento. Para as demais estações, nenhum dos testes indicou indícios de não-estacionariedade.

Na sequência, foram aplicados os testes paramétricos de Student (teste t) e F de Snedecor (teste F) nas séries de coeficientes de escoamento das estações fluviométricas que apresentam indícios de não-estacionariedade nas séries de vazões. Os resultados são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Resultados dos testes paramétricos sobre a série de coeficientes de escoamento médios anuais

Barra do São Manuel			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 1,797$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 1,832$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fontanilhas			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = -0,321$	$T_{(95\%, 28)} = 2,048$	As médias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 0,480$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 2,533$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%
Fazenda Tucunaré			
Teste	Estatísticas	Valor crítico	Resultado
T de Student	$t = 2,679$	$T_{(95\%, 28)} = 2,306$	As médias das duas sub-amostras são diferentes, para α igual a 5%
F de Snedecor	$F = 1,711$	$F_{(95\%, 14, 14)} = 6,388$	As variâncias das duas sub-amostras são iguais, para α igual a 5%

Os resultados da Tabela 9 mostram que, para a estação Fazenda Tucunaré, o teste T indicou indícios de não-estacionariedade na série de coeficientes de escoamento. Para as outras duas estações, os testes aplicados não indicaram presença de não-estacionariedade nessas séries.

Numa avaliação conjunta dos resultados dos testes paramétricos e não paramétricos aplicados às séries dos coeficientes de escoamento médios anuais, foram verificados indícios de tendência na série da estação Fazenda Tucunaré, à semelhança do que foi verificado na respectiva série de vazões. Porém, os testes aplicados à série de precipitações calculadas por polígonos de Thiessen para esta estação não sinalizam essa mesma tendência.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados dos testes aplicados, não foram encontrados indícios de tendências nas séries de vazões das estações fluviométricas Três Marias, Porto dos Gaúchos e Porto Roncador, considerando o período de 1976 a 2005. Os testes sinalizaram a ocorrência de tendência nas séries de vazões das estações fluviométricas Barra do São Manuel e Fontanilhas, no período de 1976 a 2005 e na série de vazões da estação Fazenda Tucunaré, para o período de 1996 a 2006, ambos a um nível de significância de 5%.

Para a estação Barra do São Manuel, essa tendência foi sinalizada em testes aplicados sobre a série de precipitação média calculada por polígonos de Thiessen, para o período 1976 a 2005. A série de coeficientes de escoamento médios anuais da estação Barra do São Manuel não apresentou indícios de não-estacionariedade, muito embora os valores calculados para as estatísticas de alguns

testes aplicados tenham apresentado valores muito próximo aos valores críticos dos respectivos testes.

Esses resultados sinalizam que a indicação de tendência observada em testes aplicados à série de vazões da estação Barra do São Manuel pode estar relacionado, principalmente, com a tendência decrescente verificada na série de precipitação média anual sobre a área de drenagem dessa estação.

Dessa forma, entende-se que a série de vazões naturais de Barra do São Manuel, referente ao período 1976-2005, poderia ser utilizada para estimativas de disponibilidade hídrica, pois a tendência verificada nas vazões parece não ter relação com mudanças nas vazões captadas a montante ou no uso do solo da bacia, mas sim com a tendência decrescente verificada na precipitação. Isto porque, embora se recomende cautela na utilização de séries históricas não-estacionárias para estimar a disponibilidade hídrica em subsídio às ações de gestão de recursos hídricos, não há garantia que essa tendência permanecerá no futuro. Segundo Tucci (2002), tendências verificadas na precipitação têm maior probabilidade de serem amostrais, não tendo, portanto, garantias de sua permanência. Deve-se, ainda, considerar o pequeno tamanho da amostra de dados, que não permite descartar a hipótese de existência de eventuais variabilidades cíclicas de longo período nas séries.

Para a estação Fontanilhas, com base no teste de Student, rejeitou-se a hipótese de estacionariedade das vazões naturais médias anuais. No caso da série de precipitação, a maioria dos testes não paramétricos aplicados sinalizaram indícios de tendência, enquanto que os testes paramétricos resultaram em aceitação de igualdade de médias e variâncias de dois períodos distintos dessa série. A série de coeficientes de escoamento médios anuais da estação Fontanilhas não apresentou indícios de não-estacionariedade. Da avaliação conjunta dos resultados, pode-se deduzir que os indícios de tendência decrescente detectados na série de vazões da estação Fontanilhas, a exemplo da estação Barra do São Manuel, podem ter mais relação com os indícios de não-estacionariedade verificados nas séries de precipitação localizadas na área de drenagem da estação, do que com eventuais alterações no coeficiente de escoamento da bacia.

Para a estação Fazenda Tucunaré, os testes estatísticos aplicados à série de precipitações não sinalizaram quaisquer indícios de não-estacionariedade. Porém, a série de coeficientes de escoamento médios anuais dessa estação apresentou indícios de não-estacionariedade, segundo dois testes realizados, entre eles o teste paramétrico t de Student. Estes resultados sinalizam que o indicativo de tendência decrescente encontrado na série de vazões da estação Fazenda Tucunaré pode estar relacionado com alterações no coeficiente de escoamento, o qual é influenciado pelo uso do solo na bacia e pelo regime de captações a montante da estação.

Existem informações que indicam que a área cultivada para a agricultura nas cabeceiras da bacia do rio Tapajós tem aumentado expressivamente, enquanto que as respectivas estimativas de uso consuntivo utilizadas neste trabalho para reconstituição das vazões naturais da estação podem não ter refletido com exatidão um eventual aumento correspondente da área irrigada. Assim, é possível que os indícios de não estacionariedade verificados na série de vazões naturais reconstituídas e na série de coeficientes de escoamento em Fazenda Tucunaré estejam mais relacionados com captações de água não contabilizadas e menos com alterações no uso do solo na bacia.

Neste sentido, Tucci (2002) afirma que alterações no coeficiente de escoamento oriundas de desmatamento em uma bacia tenderiam a aumentar as vazões médias, ao passo que em Fazenda Tucunaré se verifica um decréscimo destas.

A tabela 10 apresenta um resumo das relações entre as estatísticas das precipitações, das vazões e dos coeficientes de escoamento das duas amostras selecionadas em cada série.

Tabela 10 - Relações entre vazão, precipitação e coeficientes de escoamento das estações com indicativos de tendência nas vazões

Estação	Ano de divisão da série	Tamanho da amostra	P2/P1	Q2/Q1	C1=Q1/P1	C2=Q2/P2	C2/C1
B.S. Manuel	1991	15	0,95	0,89	0,39	0,36	0,92
Fontanilhas	1991	15	0,93	0,96	0,43	0,45	1,05
Faz. Tucunaré	2001	05	1,09	0,91	0,53	0,44	0,83

Pela tabela 10, infere-se que, para a estação Fontanilhas, a redução verificada na vazão entre os dois períodos também se verifica na precipitação. Esta redução das duas variáveis fica evidenciada na relação dos coeficientes de escoamento das duas estações, que inclusive aumenta, mas de forma significativa entre os dois períodos, conforme já apontado nos testes de hipótese.

Para a estação Barra do São Manuel, a redução verificada na vazão também ocorre na precipitação (de forma significativa, segundo os testes realizados) e no coeficiente de escoamento (de forma não-significativa com 95% de significância, segundo os testes).

Já para a estação Fazenda Tucunaré, a redução significativa na vazão não é acompanhada pela precipitação, que inclusive aumenta entre os dois períodos, embora não de forma significativa, como apontaram os testes de hipótese. Por conseqüência, o coeficiente de escoamento é reduzido entre os dois períodos, de forma significativa como apontaram os testes de hipótese.

Com base nos resultados dos diversos testes aplicados sobre os dados, apesar do tamanho reduzido da amostra de dados, conclui-se que as séries de vazões naturais das estações Três Marias, Porto dos Gaúchos e Porto Roncador podem ser utilizadas para fins de estimativas de disponibilidade hídrica.

Os resultados apresentados na tabela 10 também indicam a possibilidade da utilização dos dados de Barra do São Manuel e Fontanilhas para estimativas de disponibilidade hídrica na bacia.

No entanto, em função dos resultados observados nos dados da estação Fazenda Tucunaré, não se recomenda a utilização da respectiva série de vazões para a mesma finalidade, visto que são necessárias melhores estimativas a respeito dos usos consuntivos na bacia.

Destaca-se, porém, que as inferências apresentadas a partir dos resultados dos testes estatísticos não devem ser tomadas como definitivas, em função da pequena extensão das séries utilizadas para as análises, notadamente a série da estação Fazenda Tucunaré.

6 BIBLIOGRAFIA

- Back, A.J. (2001). “*Aplicação de Análise Estatística para Identificação de Tendências Climáticas*”. In: Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília - DF. V.36, n.5, p.717-726.
- CEHPAR. (2001). *Investigação de Estacionariedade de Séries Hidrológicas*. Curitiba - PR.
- Clarke, R. T. (1994). *Statistical Modelling in Hydrology*. Wiley. Chichester. 412 p.
- Clarke, R. T. & Brusa, L.C. (1997). “*O Método Bootstrap para Detectar Tendências em Séries de Vazões*”. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Vitória - ES. p. 621-628.
- ELETROBRAS. (1987). *Guia para Cálculo de Cheia de Projeto para Vertedores*. ELETROBRAS: Rio de Janeiro - RJ.
- Haan, C.T. (1977). *Statistical Methods In Hidrology*. The Iowa University Press.
- Koch, V. & Rêgo, J.C. (1984). “*Aplicação de Testes Não paramétricos para Verificar a Homogeneidade de Séries Hidrometeorológicas*”. In: Revista Brasileira de Engenharia. V.3, n.1.
- Müller, I.I.; Krüker, C.M.; Kaviski, E. (1998). “*Análise de Estacionariedade de Séries Hidrológicas na Bacia Incremental de Itaipu*”. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. Porto Alegre - RS.
- Naghetini, M. & Pinto, E.J.A.P. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM. Belo Horizonte-MG. 552p.
- Salas, J.D.; Delleur, J.W.; Yevjevich, V.; Lane W.L. (1985). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications. Colorado, 484 p.
- Silveira, A.L.L. (2000). *Simulação Hidrológica Estocástica*. Apostila da disciplina Séries Temporais Hidrológicas e Ecológicas. PPG-IPH. Porto Alegre.
- Tröger, F.H.; Gondim Fº, J.G.C.; Nóbrega, M.T.; Sugai, M.V.B. (2004). “*Verificação da Estacionariedade das Séries Anuais de Vazões Naturais das Usinas Hidrelétricas de Três Marias e Sobradinho*” in Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luis-MA. Nov./Dez. 2004.
- Tucci, C.E.M. (2002). *Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos*. Estudo preparado para a Câmara Técnica sobre recursos hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Agência Nacional de Águas, Brasília.