

TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA, EM MINAS GERAIS

Vítor de Oliveira Santos

Aluno de Doutorado em Geografia – IGE UNICAMP
vitordeoliv@yahoo.com.br

Luiz Nishiyama

Prof. Dr. do Instituto de Geografia – IG UFU
nishi@ufu.br

Recebido em: 09/09/2015; Aceito para publicação em: 25/05/2016

RESUMO

Estudos de séries históricas de dados hidrológicos são importantes para conhecer a realidade das bacias hidrográficas, quanto à disponibilidade hídrica no decorrer do tempo, quanto à entrada de água no sistema hídrico através das precipitações, entre outros. O objetivo desta pesquisa foi identificar a ocorrência de tendências em séries temporais de vazões no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba. Foram utilizadas as medições de vazões realizadas pela Agência Nacional de Águas – ANA e medições de precipitações realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, para a observação do comportamento pluviométrico entre os anos de 1978 e 2014. Para cada série histórica foram realizadas análises de regressão linear e os testes de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt, visando identificar presença de tendências. Os resultados apontam a redução das vazões de dias de estiagem e das vazões mínimas mensais e aumento das vazões máximas. Os totais anuais de precipitação, assim como as precipitações no período seco (abril a setembro) apresentaram tendência de redução. É possível que a redução das chuvas esteja influenciando nas vazões do rio Uberaba e que o avanço da área urbana de Uberaba seja o principal motivo do aumento das vazões máximas do rio.

Palavras-chave: Vazão; Precipitação; Disponibilidade Hídrica.

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF HYDROLOGICAL TRENDS IN UPPER UBERABA RIVER BASIN (MG)

ABSTRACT

Studies of historical series of hydrological data are important to know the reality of river basins, as the water availability over the time, as the water enters in the water system through the rainfall, among others. The objective of this research was to identify the occurrence of trends in streamflow time series on the upper Uberaba river basin. Were used flow data performed by the National Agency of Water – ANA and rainfall data performed by INMET to observe the precipitation behavior between the years 1978 and 2014. For each historical series were performed linear regression analysis and Mann-Kendall test, Mann-Kendall Seasonal, Sen's slope and Pettitt, to identify the presence of trends in data series. The results show a reduction in low flows and the monthly minimum flows and increase high flows. The total annual precipitation and precipitation in the dry season (April to September) showed a downward trend. It is possible that the decline in rainfall is influencing the flow of Uberaba river and that the advance of Uberaba urban area is the main reason for the increase in the maximum flow of that river.

Keywords: Flow; Precipitation; Water availability.

INTRODUÇÃO

O aumento das populações residentes nos grandes centros urbanos assim como o aumento das atividades agropecuárias e industriais faz com que, cada vez mais, os corpos hídricos sejam comprometidos, em quantidade e qualidade. Este cenário é a realidade atual da maioria das bacias hidrográficas localizadas nos centros urbanos no Brasil e em outras partes do mundo. Apesar do aumento da demanda pela água, os sistemas hidrológicos parecem não mais atender plenamente as necessidades impostas pelas atividades humanas, sobretudo nos períodos de estiagem.

O rio Uberaba, sub-bacia do rio Grande, localizado na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, ilustra bem o cenário de conflito entre disponibilidade e demanda de água. Tanto que no ano de 2003, após a crise hídrica ocorrida em 2002 devido aos baixos índices de precipitação, o município de Uberaba, cujo abastecimento público é suprido pelas águas do rio Uberaba, teve que conviver com uma disponibilidade de 378 l/s de água, enquanto a quantidade normal disponibilizada e outorgada pelos órgãos ambientais públicos responsáveis era de 900 l/s (SEMEA, 2004).

Desde o ano de 2003 o município de Uberaba utiliza o sistema de transposição das águas da microbacia do rio Claro, para o leito do ribeirão Saudade, importante afluente do rio Uberaba. O sistema de transposição, então, passou a fornecer uma quantidade de água à uma vazão de 540 l/s à bacia do rio Uberaba (Portaria de Outorga nº 861/2003). Comumente, a administração do município utiliza o sistema de transposição para suprimento de água para a cidade de Uberaba, sobretudo nos períodos mais urgentes dos períodos de estiagem, nos meses de agosto e setembro.

O caso mais grave ocorreu no ano de 2014. Mesmo tendo suas bombas operando 22 horas por dia, o sistema de transposição passou a não suprir a demanda de água do município de Uberaba, no que concerne ao abastecimento público. Além de não suprir essa necessidade, estando 10% abaixo do necessário, o sistema passou a onerar as contas públicas, com um custeio de R\$ 14.000,00 por dia, para levar 400 litros de água por segundo para a bacia do rio Uberaba.

A falta de água para o abastecimento público do município de Uberaba pode ser explicada relativamente pela ineficiência dos sistemas existentes para armazenamento e distribuição de água à população frente a baixos eventos de precipitação e, por conseguinte, a baixos níveis de vazão. Há muitas décadas a administração pública do município de Uberaba utiliza um pequeno reservatório a fio d'água no rio Uberaba para a captação das águas do referido rio. Nos reservatórios a fio d'água, as vazões não são regularizadas, porém, as vazões vertem sobre a barragem, sobretudo nos períodos de cheia. De acordo com Ferreira (2007, p.206), "as vazões respondem razoavelmente à variabilidade temporal e espacial da precipitação. Grandes anomalias de precipitação quase sempre resultam em anomalias de descarga de rios".

Neste sentido, Vilanova (2014) avaliou o comportamento das séries históricas de chuva e vazão na região do Alto Rio Mogi-Guaçu, no sul do estado de Minas Gerais, utilizando o teste de Mann-Kendall nas séries de vazão média anual de duas estações fluviométricas na bacia citada e o teste de Mann-Kendall sazonal em séries de precipitação de duas estações pluviométricas no período de 1973 a 2006. Com relação aos dados de vazão, o autor percebeu uma redução de $-0,0890 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-0,1392 \text{ m}^3/\text{s}$ ao ano nas duas estações fluviométricas analisadas, sugerindo que as vazões apresentaram tendências de diminuição ao longo da série histórica. O autor demonstra que a diminuição das vazões no Alto Rio Mogi-Guaçu acompanha a redução nos índices de precipitação analisados, já que estes apresentaram uma redução média de 9.8 mm/ano.

Pereira (2012) estudou o comportamento de dados de vazão (totais anuais, vazões de cheia e vazões de estiagem) e de precipitação entre os anos de 1984 e 2007 e concluiu que os totais anuais de precipitação apresentou tendência de diminuição ao longo da série histórica analisada, principalmente nos períodos de recarga (período chuvoso). Os índices de vazão analisados acompanharam o comportamento de redução das chuvas, porém o início da diminuição das vazões pôde ser percebido aproximadamente quatro anos após as mudanças no comportamento pluviométrico.

Santos e Ferreira (2010) analisaram os índices de vazão (vazões máximas e mínimas) e precipitação (totais anuais) nas bacias hidrográficas do rio da Prata e do rio Tijuco, na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, durante a segunda metade do século XX e nos primeiros anos do século XXI. Os resultados apresentados para o rio da Prata indicam a existência de tendência de incremento tanto nos índices de vazão quanto nos índices de precipitação. Os autores acreditam que nesta bacia, as vazões respondem diretamente ao comportamento das chuvas. Tal certeza, em contrapartida, não ocorre em relação ao rio Tijuco, já que os dados de uma das três estações pluviométricas analisadas apresentaram tendência de redução, enquanto os dados das outras duas estações pluviométricas indicam que as precipitações aumentaram no período considerado. Por sua vez, os dados de vazões máximas e mínimas das duas estações de leitura apresentaram tendência de aumento.

Uliana et al. (2015) submeteram dados de precipitação e vazão, coletados em estações hidrométricas localizadas na cidade de Alegre, no estado do Espírito Santo, a testes estatísticos para verificar a existência de tendências. Os autores detectaram que as vazões medidas nos meses de outubro, a partir do ano de 1963, aumentaram 34,2%. As precipitações, também apresentaram tendência de aumento nos meses de agosto e setembro, a partir dos anos de 1967 e 1964, respectivamente. Segundo os autores, existe a possibilidade de o aumento da vazão média do mês de outubro ser consequência do aumento das precipitações ocorridas nos meses de agosto e setembro.

Os estudos acima apresentados comprovam que, apesar dos índices de vazão ser influenciados pela confluência de diversos fenômenos como o uso das terras, intervenções hidráulicas para retirada de água e etc., os mesmos podem responder ao comportamento pluviométrico, já que as chuvas são as principais fontes de entrada de água em uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2003).

O objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica hídrica do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, investigando estatisticamente o comportamento apresentado pelas vazões do referido rio. Para tanto, utilizou-se os testes estatísticos de regressão linear e os testes de tendências não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal e Curvatura de Sen, além do teste de homogeneidade de Pettitt. Além disso, será verificado se os índices de vazão no alto curso na bacia do rio Uberaba respondem ao comportamento pluviométrico local ou se existem outras externalidades influenciando nas vazões da área de estudo.

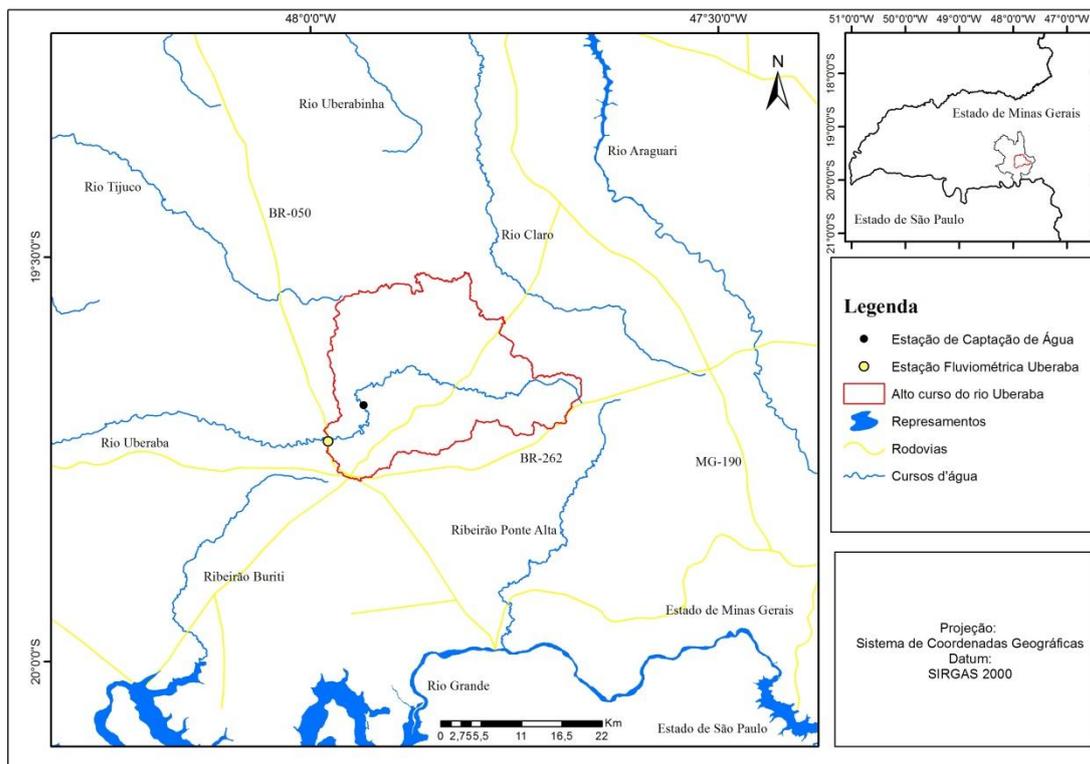
Decidiu-se, então, utilizar o alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba como área de estudo pelo fato de que nesta área estarem localizadas as nascentes do referido rio, parcela da área urbana do município de Uberaba, o ponto de captação de água para abastecimento público desta cidade, uma estação fluviométrica à jusante do posto de captação de água e estação pluviométrica gerida pelo INMET.

METODOLOGIA

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS

A área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba localiza-se na porção central do município de Uberaba, cuja área total é de 4.536 km² (IBGE, 2015). O alto curso do rio Uberaba, considerando os limites estabelecidos para estudo, abrange uma área de 561,69 km² (56.169,54 hectares). A área total do alto curso da bacia do rio Uberaba foi calculada através de técnicas de geoprocessamento utilizando os dados orbitais SRTM do projeto Brasil em relevo (MIRANDA, 2015). O limite superior se encontra no divisor de águas do próprio rio Uberaba, próximo à BR-262. À jusante, o exutório escolhido para a área de estudo foi a localização da Estação Fluviométrica Uberaba – Agência Nacional de Águas (ANA), código 61794000, às margens da BR-050, sob as coordenadas geográficas 47° 58' 47" O e 19° 43' 40" S.

Figura 1. Mapa de localização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba.



Fonte: DNIT (2015), IGAM (2015) e IBGE (2015)

MATERIAIS

Foram utilizados dados da série histórica diária de vazão adquirida pela Estação Fluviométrica Uberaba, código 61794000, disponibilizados pelo portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas para a identificação e análise das tendências na descarga do rio Uberaba. Quanto às precipitações foi utilizada a série histórica de precipitação da Estação Pluviométrica Uberaba/INMET, código 01947016, também disponibilizada pelo portal Hidroweb.

Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o programa computacional XLSTAT®, cujas funções são realizadas em ambiente Excel, do pacote *Microsoft Office* 2010.

MÉTODOS

Uma das maneiras de verificar a relação entre as mudanças no uso das terras e seus respectivos impactos nos escoamentos é analisar a evolução temporal do regime de vazão em períodos de cheia e de estiagem, porém, devido à variabilidade espacial das precipitações, a identificação de possíveis mudanças no aumento do escoamento superficial se torna difícil, sendo que a análise das vazões nos períodos de estiagem pode apresentar resultados mais robustos do que os apresentados pelos períodos de cheia (PEREIRA, 2012).

As vazões de dias de estiagem foram estimadas nos intervalos de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem em cada ano hidrológico. Após a obtenção das vazões dos referidos intervalos, foi aplicada média móvel de 5 termos para suavização dos dados.

Juntamente com as vazões de dias de estiagem foram consideradas as vazões máximas e médias mensais, como disponibilizados pela estação fluviométrica Uberaba. Estes dados também foram submetidos à suavização através da média móvel de 5 termos.

O quadro 1 demonstra a abrangência das séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem e das vazões máximas e mínimas mensais.

Quadro 1. Período dos dados de vazão utilizados.

Variáveis	Período considerado
Vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem	1976/1977 – 2005/2006
Vazões Máximas e Mínimas Mensais	1976/1977 – 2009/2010

Os dados de vazões máximas e mínimas mensais foram dispostos em períodos chuvosos (outubro a março) e períodos secos (abril a setembro), com a finalidade considerar a sazonalidade nos dados.

PREENCHIMENTO DAS FALHAS

Não raro as séries temporais de dados ambientais, sobretudo os de vazão e precipitação disponibilizados livremente através da internet apresentam falhas, seja por interrupção do monitoramento ou pela ausência do observador. Para a obtenção de séries temporais sem essas falhas, se torna necessário preencher tais espaços, para análise completa e confiável dos intervalos temporais estudados.

Para tanto, foi utilizado o método de preenchimento das falhas por regressão linear simples, conforme sugerido por Bertoni e Tucci (2007). Este método de preenchimento se baseia em dados de estações ou postos de leituras vizinhos para obtenção da correlação com a estação de interesse. A estação fluviométrica escolhida para preencher as falhas da estação de dados de vazão que compôs este trabalho (Estação fluviométrica Uberaba – 61794000) foi a Estação fluviométrica Conceição das Alagoas, código 61795000, localizada à jusante da primeira estação citada e também à jusante da área de estudo.

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

Para identificar e analisar tendências nos dados de vazão do alto curso da bacia do rio Uberaba, foram utilizados os métodos estatísticos de regressão linear, Mann-Kendall, além do teste de homogeneidade de Pettitt. As fórmulas e aplicações dessas metodologias podem ser encontradas nos trabalhos de Back (2001), Ferrari (2012), Groppo et al. (2005), Helsel e Hirsch (2002), Kendall (1975), Mann (1945), Morais et al. (1997), Mortatti et al. (2005), Penereiro (2012), Pettitt (1979), Sneyers (1975), entre outros. Neste trabalho foi considerada a significância estatística de 95% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE VAZÃO

Na tabela 1 pode-se visualizar os resultados dos testes de tendência executados nas séries históricas de vazões. Para identificar as mudanças no escoamento do rio Uberaba foram consideradas as séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, as vazões máximas e mínimas mensais, e as vazões dos períodos chuvosos e períodos de estiagem, considerando o ano hidrológico como escala temporal: período chuvoso – outubro a março; período seco – abril a setembro. Logo após a tabela 1, pode-se encontrar os gráficos com os resultados dos testes de tendência.

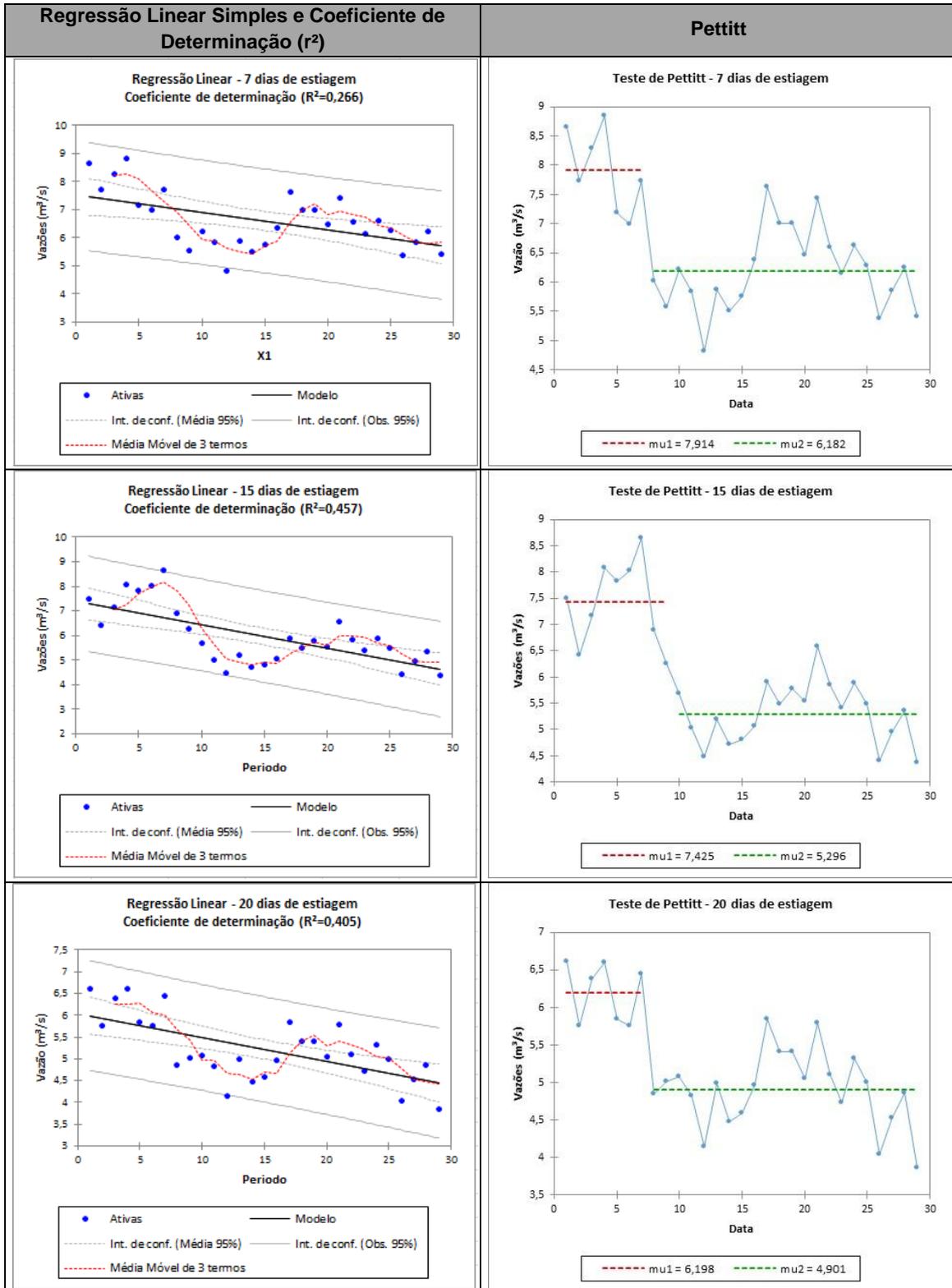
Tabela 1. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de vazão.

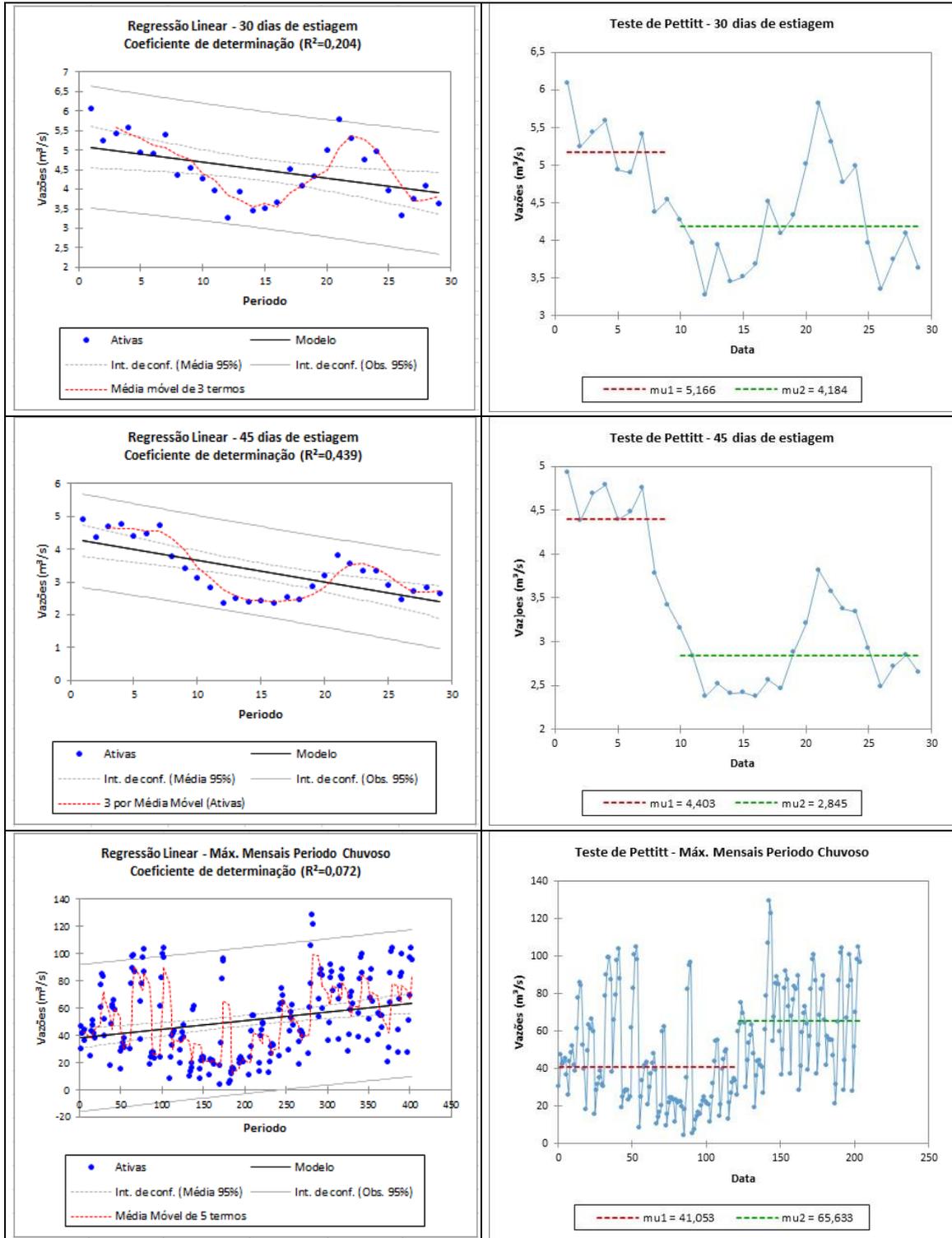
Teste Paramétrico							
Regressão Linear							
Séries Históricas	Coeficiente angular		Coeficiente de determinação r ²		Variação na série		
7 dias de estiagem	-0,0615		0,266		-1,7835		
15 dias de estiagem	-0,0945		0,457		-2,7405		
20 dias de estiagem	-0,0051		0,405		-0,1479		
30 dias de estiagem	-0,0419		0,204		-1,2151		
45 dias de estiagem	-0,0667		0,439		-1,9343		
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	0,1308		0,072		53,3664		
Período Chuvoso (Min. Mensais)	-0,014		0,052		-5,712		
Período Seco (Máx. Mensais)	0,0794		0,071		32,3952		
Período Seco (Min. Mensais)	-0,0054		0,011		-2,2032		
Vazões Máx. Mensais	0,0493		0,045		20,1144		
Vazões Min. Mensais	-0,0051		0,028		-2,0808		
Testes não-paramétricos							
Mann-Kendall				Curvatura de Sen			
Séries Históricas	Kendall's Tau	p-value*	Significância Estatística**	Sen's Slope			
7 dias de estiagem	-0,325	0,013	S-	-0,063			
15 dias de estiagem	-0,433	0,001	S-	-0,088			
20 dias de estiagem	-0,412	0,002	S-	-0,057			
30 dias de estiagem	-0,325	0,013	S-	-0,049			
45 dias de estiagem	-0,365	0,005	S-	-0,068			
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	0,191	< 0,0001	S+	0,144			
Período Chuvoso (Min. Mensais)	-0,115	0,015	S-	-0,011			
Período Seco (Máx. Mensais)	0,185	< 0,0001	S+	0,047			
Período Seco (Min. Mensais)	-0,082	0,083	NS	-0,005			
Vazões Máx. Mensais	0,144	< 0,0001	S+	0,038			
Vazões Min. Mensais	-0,103	0,002	S-	-0,004			
Mann-Kendall Sazonal				Curvatura de Sen			
Séries Históricas	Kendall's Tau	p-value*	Significância Estatística**	Sen's Slope			
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	0,214	< 0,0001	S+	1,024			
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	-0,232	< 0,0001	S-	-0,075			
Período Seco (Mín. Mensais)	0,299	< 0,0001	S+	0,309			
Período Seco (Min. Mensais)	-0,076	0,123	NS	-0,015			
Vazões Máx. Mensais	0,257	< 0,0001	S+	0,558			
Vazões Min. Mensais	-0,154	< 0,0001	S-	-0,027			
Teste de Pettitt							
Séries Históricas	K	p-value*	Signif. Estatística*	Changing point	Ano Hidrol. correspondente ao ponto de mudança	M1***	M2****
7 dias de estiagem	142	0,003	S-	7	1983-1984	7,914	6,182
15 dias de estiagem	176	< 0,0001	S-	9	1985-1986	7,425	5,296
20 dias de estiagem	144	0,004	S-	7	1983-1984	6,198	4,901
30 dias de estiagem	132	0,015	S-	9	1985-1986	5,166	4,184
45 dias de estiagem	174	< 0,0001	S-	9	1985-1986	4,403	2,845
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	539 3	< 0,0001	S+	121	01/10/1996	41,053	65,63
Período Chuvoso (Mín. Mensais)	276 0	0,007	S-	144	01/03/2000	7,56	5,36
Período Seco (Máx. Mensais)	425 1	< 0,0001	S+	137	01/08/1999	17,87	30,57
Período Seco (Min. mensais)	208 1	0,078	NS	-	-	-	-
Vazões Máx. Mensais	151 48	< 0,0001	S+	276	01/09/1999	30,03	50,18
Vazões Min. Mensais	894 7	0,001	S-	285	01/06/2000	6,317	4,679

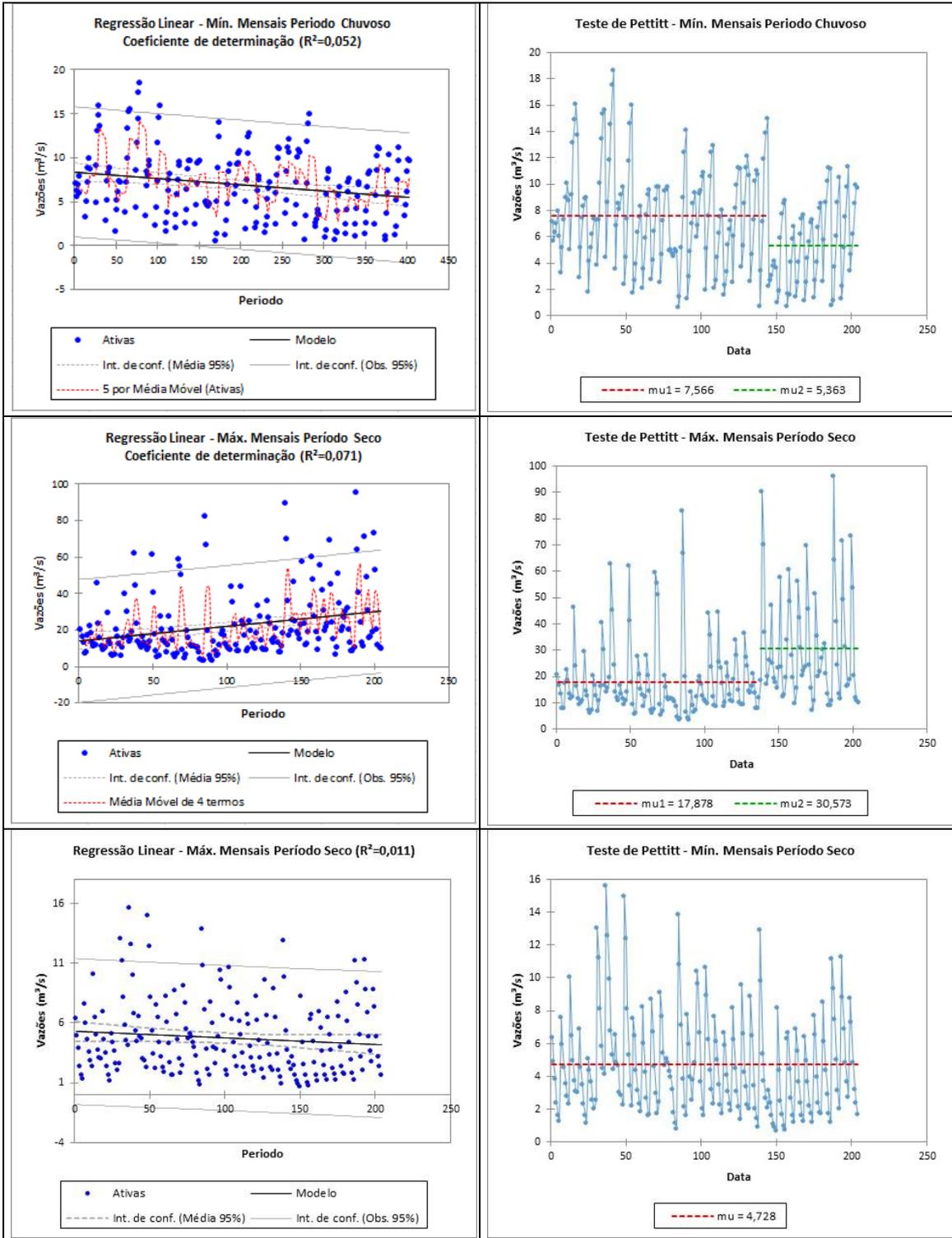
Legenda: Itens em vermelho indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa com significância estatística para os testes realizados. Itens em verde indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar p-

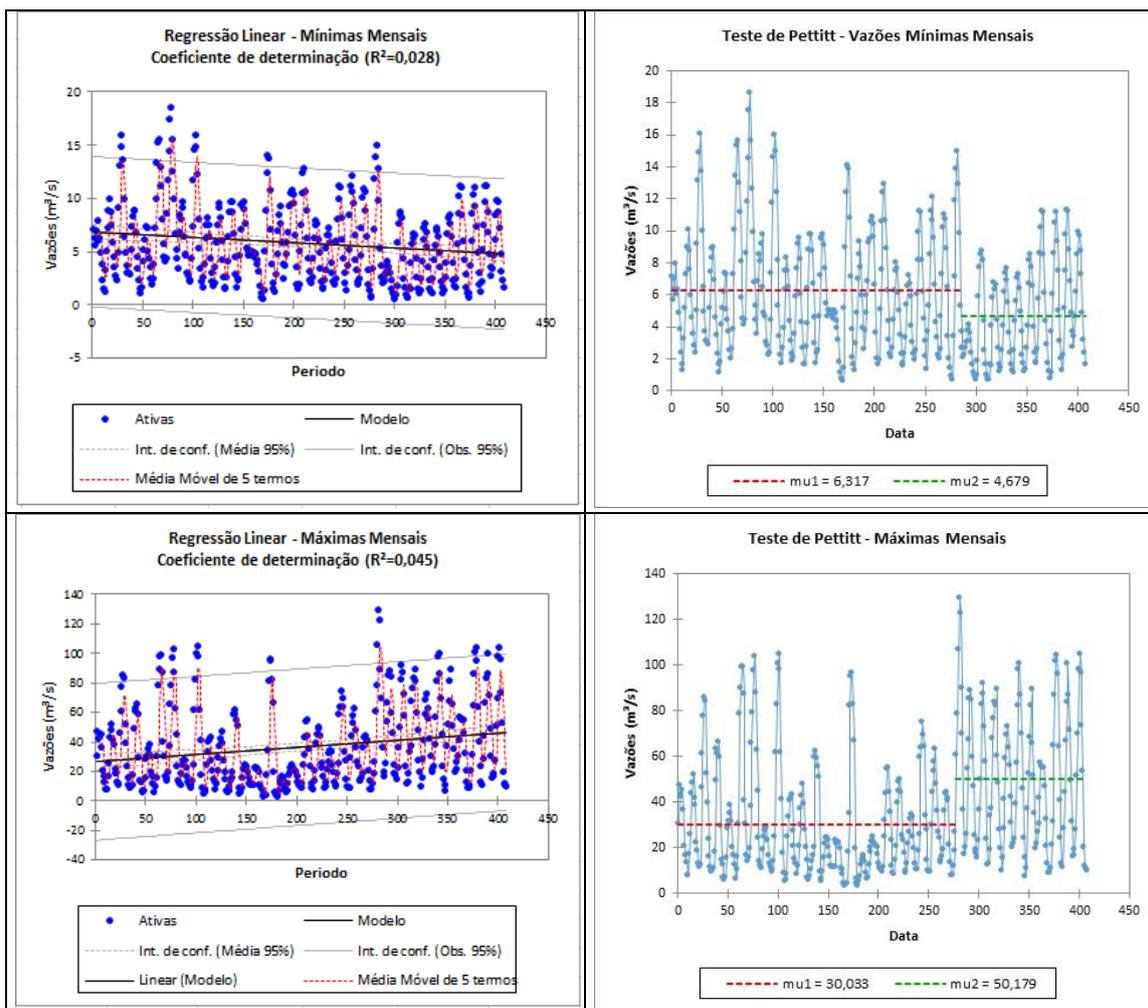
value $\alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística.
 Média anterior ao ponto de mudança (changing point). *Média posterior ao ponto de mudança

Quadro 2. Gráficos dos resultados dos testes de tendência das séries históricas de vazão.









De acordo com os resultados dos testes de tendências realizados para a detecção de alterações nas séries históricas de vazão, percebe-se que para o teste de regressão linear as séries históricas que apresentaram tendências estatisticamente significativas foram as séries de 15 dias de estiagem, 20 dias de estiagem e 45 dias de estiagem ($r^2 = 0,457, 0,405$ e $0,439$, respectivamente). As vazões de 15 dias de estiagem diminuíram $2,74 m^3$ em toda a série histórica. Já as vazões de 20 dias de estiagem diminuíram $0,1479 m^3$ e as vazões de 45 dias de estiagem diminuíram $1,93 m^3$ durante toda a série histórica.

O teste de Mann-Kendall, por sua vez, acusou tendências com significância estatística em quase todas as séries históricas, sendo que a exceção foram as vazões mínimas mensais dos períodos secos. As séries históricas das vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, as máximas e mínimas mensais do período chuvoso, as máximas mensais do período seco e as vazões máximas e mínimas mensais para toda a série histórica apresentaram um *kendall's tau* de $-0,325, -0,433, -0,412, -0,325, -0,365, 0,191, -0,115, 0,185, 0,144, -0,103$, respectivamente.

Por sua vez, o teste de Mann-Kendall Sazonal, cujos dados que foram submetidos a ele foram apenas os que apresentaram a possibilidade de ocorrer sazonalidades (séries históricas mensais por período seco ou chuvoso e séries históricas abrangendo os anos hidrológicos por completo) correspondeu ao teste de Mann-Kendall normal, porém cedeu escores mais intensos para as séries históricas das vazões máximas e mínimas mensais do período chuvoso, máximas mensais do período seco, vazões máximas e mínimas mensais da série histórica completa (*kendall's tau* = $0,214, -0,232, 0,299, 0,257, -0,154$).

Por último, o teste de Pettitt, acusou pontos de quebra brusca nas séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, máximas e mínimas mensais do período chuvoso,

máximas mensais do período seco, e vazões máximas e mínimas para toda a série histórica. As vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias estiagem apresentaram tendência de queda, sendo que o *changing point* para essas séries ocorrem nos anos hidrológicos de 1983/1984 (7 e 20 dias de estiagem) e 1985/1986 (15, 30 e 45 dias de estiagem).

Nas séries históricas dos períodos chuvosos, as vazões máximas mensais apresentaram aumento em suas médias, com o ponto de mudança no período correspondente a outubro de 1996, quando as médias passaram de 41,05 m³/s para 65,63 m³/s. Por sua vez, a série histórica que considerou as vazões mínimas mensais dos períodos chuvosos apresentou ligeira queda em suas médias, sendo que o ponto de mudança ocorreu ao período correspondente a março do ano 2000. Neste caso, as médias de vazão passaram de 7,56 m³/s para 5,36 m³/s.

O teste de Pettitt, quando aplicado à série histórica das vazões máximas mensais dos períodos secos, apresentou tendência de aumento. Em agosto de 1999 foi acusado um aumento nas médias, sendo este o ponto de mudança nos índices de vazão. Neste caso, as vazões passaram de 17,87 m³/s para 30,57 m³/s. Por último, quando as séries históricas completas de vazão foram submetidas ao teste de Pettitt, percebeu-se um aumento das vazões máximas mensais, com ponto de mudança brusca em setembro de 1999 (as médias das vazões passaram de 30,03 m³/s para 50,18 m³/s, e diminuição das vazões mínimas mensais, quando as médias passaram de 6,317 m³/s para 4,679 m³/s).

No quadro abaixo, se encontra os resultados dos testes de tendências para todas as séries históricas de vazão, submetidas no teste de regressão linear, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal e Pettitt.

Quadro 2. Resultados dos testes de tendência para as séries históricas de vazão.

Testes de tendência para as séries históricas de vazão				
Séries históricas	Regressão Linear	Mann-Kendall	Mann-Kendall sazonal	Pettitt
7 dias de estiagem	N-	S-	-	S-
15 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
20 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
30 dias de estiagem	N-	S-	-	S-
45 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	N+	S+	S+	S+
Período Chuvoso (Mín. Mensais)	N-	S-	S-	S-
Período Seco (Máx. Mensais)	N+	S+	S+	S+
Período Seco (Mín. Mensais)	N-	N-	N-	N-
Vazões Máx. Mensais	N+	S+	S+	S+
Vazões Mín. Mensais	N-	S-	S-	S-

Legenda: Significância estatística: p-value < $\alpha=0,05$. S+: Tendência positiva. S-: Tendência negativa. N: não existem argumentos suficientes para identificação de tendência. N+: Tendência positiva sem significância estatística. N-: Tendência negativa sem significância estatística.

De acordo com os resultados apresentados, nota-se que as vazões de 15, 20 e 45 dias de estiagem apresentaram tendência de redução para os testes de regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt. Apesar de não apresentarem significância estatística para o teste de regressão linear, as vazões de 7 e 30 dias de estiagem, também parecem que sofreram diminuição de seus índices no intervalo considerado. As vazões máximas mensais dos períodos secos, períodos chuvosos e dos anos completos não apresentaram significância estatística para o teste de regressão linear, porém, para os testes de Mann-Kendall, Mann-Kendall sazonal e Pettitt, apresentaram tendência de aumento. Por sua vez, as vazões

mínimas mensais dos períodos secos, chuvosos e dos anos completos apresentaram tendência de redução para os testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall sazonal e Pettitt, porém não apresentaram tendência com significância estatística para o teste de regressão linear.

ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

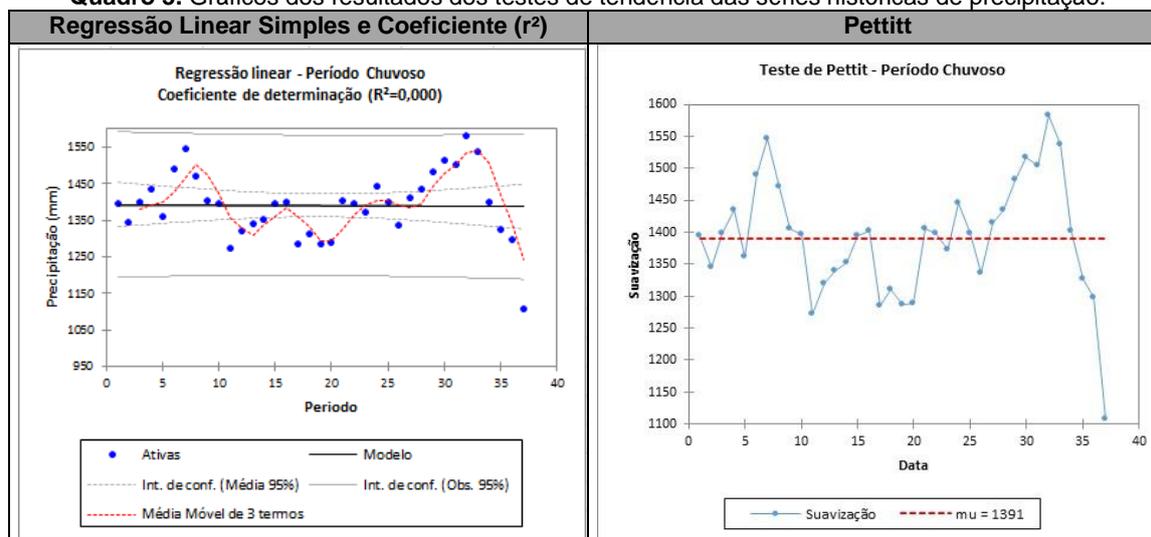
Os resultados dos testes de tendências para as séries históricas de precipitação podem ser encontradas na tabela 2 e no quadro 3.

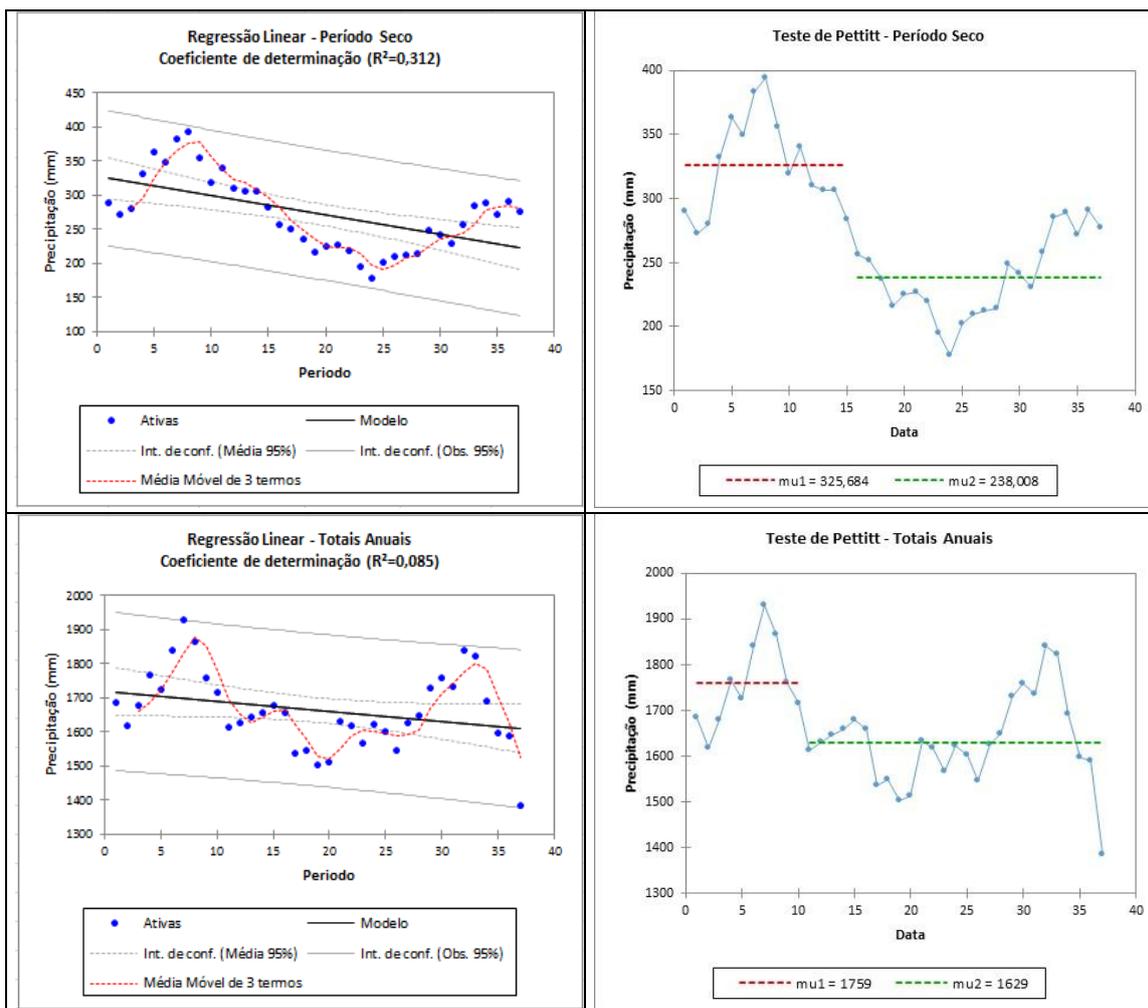
Tabela 2. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de precipitação.

Teste Paramétrico							
Regressão Linear							
Séries Históricas	Coeficiente angular		Coeficiente de determinação r^2		Variação na série		
Período Seco	-2,8506		0,312		-105,4722		
Período Chuvoso	-0,1636		0		-6,0532		
Total Anual	-3,0142		0,085		-111,5254		
Testes não-paramétricos							
Mann-Kendall					Curvatura de Sen		
Séries Históricas	Kendall's Tau	p-value	Significância Estatística		Sen's Slope		
Período Seco	-0,348	0,002	S-		-2,843		
Período Chuvoso	0,069	0,559	NS		0,481		
Total Anual	-0,189	0,103	NS		-2,72		
Teste de Pettitt							
Séries Históricas	K	p-value*	Significância Estatística**	Changing point	Ano Hidrol. correspondente ao ponto de mudança	M1	M2
Período Seco	308	<0,0001	S-	15	1991-1992	325,6	238
Período Chuvoso	116	0,297	NS	-	-	-	-
Total Anual	186	0,017	S-	10	1986-1987	1759	1629

Legenda: Itens em vermelho: tendência negativa com significância estatística. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística.

Quadro 3. Gráficos dos resultados dos testes de tendência das séries históricas de precipitação.





Ao analisar as retas de regressão linear para as três séries históricas de precipitação, percebe-se a notável diminuição dos índices de chuvas anuais e dos períodos secos. Por sua vez, as precipitações dos períodos chuvosos se mantiveram estáticas, apresentando apenas flutuações inerentes à série histórica. Os testes de Mann-Kendall e de Pettitt confirmam os resultados apresentados pela reta de regressão: há redução das chuvas anuais e das chuvas nas estações secas.

Nota-se, então, que a diminuição dos índices de vazão de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem demonstrados anteriormente está em consonância com a diminuição dos índices pluviométricos no alto curso da bacia do rio Uberaba, o que confirma a assertiva de Ferreira (2007), quando autor disse que as anomalias de chuvas geram impactos na descarga dos rios.

Outro fator importante que pode estar influenciando na diminuição das vazões é captação de água para o abastecimento urbano do município de Uberaba e outras intervenções hidráulicas localizadas no âmbito da área de estudo. Com relação ao abastecimento, segundo dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS (2015), entre os anos de 1995 e 2013, a concessionária responsável pela gestão municipal das águas passou a atender de 276.000 pessoas para 312.206 pessoas, respectivamente. Em 1995, o município de Uberaba disponibilizou para a população 25.915×10^3 m³ de água. Já em 2013, foram disponibilizados à população urbana do município de Uberaba 35.452×10^3 m³ de água.

Segundo os dados georreferenciados do Sistema Integrado de Informação Ambiental – SIAM (2011), no alto curso da bacia do rio Uberaba constam 187 pontos de captação de água, entre eles estão captações diretas em cursos d'água, captação em poços tubulares profundos, captações em represamentos, etc. Acredita-se que, passados mais de 5 anos da informação

publicada, as intervenções nos recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Uberaba tenham aumentado substancialmente, sobretudo pela conscientização da população rural ante à regularização ambiental de suas propriedades.

Por sua vez, o aumento das vazões máximas mensais detectadas está relacionado com a maciça impermeabilização dos solos na bacia do rio Uberaba, sobretudo pelo aumento da área urbana do município de Uberaba nas últimas décadas. Os estudos de Tucci (2003) e Nunes e Fiori (2008) comprovam a correlação entre o aumento das vazões máximas e o aumento de malhas urbanas. Portanto, acredita-se que a impermeabilização dos solos pelo asfaltamento das ruas, construções de edificações, etc. podem estar gerando o aumento das vazões no ponto onde está localizada a estação fluviométrica utilizada para compor este estudo, já que a mesma se encontra nas imediações da malha urbana do município de Uberaba. Outra intervenção possível que pode estar gerando o aumento das vazões máximas é a predominância das áreas de pastagens no âmbito do alto curso do rio Uberaba. Segundo os dados do projeto Terraclass Cerrado (2015), há um total de 28.664 hectares de pastagens na área de estudo, o que representa mais de 50% de sua área total. O pisoteio do gado sobre os solos da bacia impermeabilizam as camadas superficiais do solo, diminuindo os índices de infiltração e favorecendo assim, o escoamento superficial, aumentando os picos descargas dos rios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos testes de tendências aplicados nas séries históricas de vazões apontam que a disponibilidade hídrica do rio Uberaba, sobretudo as vazões de estiagem estão em paulatino decréscimo. Essa diminuição das vazões está relacionada com a diminuição da precipitação e ao aumento do volume de água retirado do rio Uberaba para o abastecimento público. A sensibilidade da população do município de Uberaba, quanto à falta de água, neste trabalho, pôde ser comprovada estatisticamente.

As vazões máximas, por sua vez, apresentaram tendência de aumento, o que está relacionado com a impermeabilização dos solos pelo avanço da malha urbana em direção ao rio Uberaba e com o predomínio das pastagens na área de estudo.

Necessita-se, porém, de estudos mais detalhados quanto à influência da precipitação nas vazões de estiagem do rio Uberaba e quanto às influências do avanço da malha urbana e do predomínio das pastagens sobre as vazões máximas do referido rio. A utilização de técnicas de modelagem hidrológica pode ser eficaz para obter tal dimensionamento, já que agregam os fatores naturais, tal como relevo, solos, geologia e hidrogeologia, vazão e precipitação, com o uso das terras.

Espera-se que este trabalho instigue outras pesquisas no âmbito do rio Uberaba, para um conhecimento em grande escala das dinâmicas naturais deste rio tão importante para a região em questão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/pab/v36n5/5544.pdf>. Acesso em: 14 de julho de 2015.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

FERRARI, A.L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP):** estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. 2012. 154 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-23112012-133929/en.php>>. Acesso em 16 de julho de 2015.

FERREIRA, V.O. **Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais.** 2007. 313 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GROPPO, J.D. et al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências.** v. 24, n.2 p.181-193, 2005. Disponível em:<http://www.revistageociencias.com.br/24_2/Artigo%206.pdf>. Acesso em: 17 de julho de 2015.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M. Statistical Methods in Water Resources. **Techniques of Water Resources Investigations of United States Geological Survey – USGS.** Capítulo 3. 524p. 2002. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/twri/twri4a3/#pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2015.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. IBGE Cidades. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2015.

MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica.** v. 13, p. 245-259, 1945. Disponível em <www.planta.cn/forum/files_planta/nonparametric_tests_against_trend_102.pdf> Acesso em: 18 de julho de 2015.

MIRANDA, E. (Coord.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2016.

MORTATTI, J. et al. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista Ciência e Tecnologia.** v. 12, n. 23, p. 55-68, 2004. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct23art05.pdf>>. Acesso em: 12 de julho de 2015.

NUNES, F.G.; FIORI, A.P. Análise da impermeabilização dos solos e aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas. **Boletim Paranaense de Geociências.** n. 62-63, p. 47-60, 2008. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/geociencias/article/view/7704>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2016.

PENEREIRO, J.C. et al. Caracterização estatísticas de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista Geintec.** v.3, p. 01-15, 2012. Disponível em: <<http://www.revistageintec.net/portal/index.php/revista/article/view/178>>. Acesso em: 18 de agosto de 2015.

PEREIRA, V.R. **Conversão do uso das terras e alterações das condições hidrológicas: o caso das bacias do Atibainha e Cachoeira.** 2012. 192 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas/SP. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000903357>>. Acesso em: 08 de agosto de 2015.

PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics,** v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

SANTOS, V.O.; FERREIRA, V.O. **Tendências pluvio-fluviométricas nas bacias do rio da Prata e Tijuco, sub-bacias do rio Paranaíba, em Minas Gerais.** In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 9, 2010, Fortaleza. Impactos, riscos e vulnerabilidades socioambientais associadas ao Clima, 2010. Cd rom.

SEMEA – Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba/MG. Diagnóstico Ambiental APA – Rio Uberaba. Uberaba, Brasil, set. 2004. 127 p. Disponível em:

<http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/diagnostico_apa.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 16 de agosto de 2015.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL – SIAM. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/queb/geosisemanet/versao2/>> Acesso em: 02 de março de 2015.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations.** Gênevè: Organisation Météorologique Mondial, 192p. OMM, Note technique n. 143. 1975.

TUCCI, C.E.M. Processos hidrológicos e os impactos no uso do solo. In. TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Org). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, 2003. V.9, p. 31-76.

ULIANA, E.M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente e Água.** Taubaté. vol. 10, n. 1, p. 82-88. Mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000100082>. Acesso em: 15 de agosto de 2015.

VILANOVA, M.R.N. Tendências hidrológicas na região do alto rio Mogi-Guaçu, sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental.** v. 6, n. 3, p. 63-70, 2014. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/601>>. Acesso em: 08 de agosto de 2015.