



## Diagnóstico das vazões de estiagem no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba

### Low flow diagnosis on upper course of Uberaba river basin

Vítor de Oliveira Santos<sup>1</sup>(\*)  
João Gabriel de Paula Naves<sup>1</sup>

#### Resumo

O aumento da demanda hídrica por parte das médias e grandes cidades brasileiras tem gerado preocupações no poder público quanto ao abastecimento urbano. Na contramão do aumento da demanda por água, os sistemas hídricos parecem não mais suprir as necessidades impostas pela sociedade, sobretudo nos períodos de estiagem. A bacia hidrográfica do rio Uberaba ilustra esse cenário pois vem sofrendo escassez hídrica desde o início dos anos 2000. Desde então, percebe-se a realização de medidas urgentes como a transposição das águas do rio Claro para suprir a demanda hídrica da cidade de Uberaba, além da criação da Área de Proteção Ambiental – APA rio Uberaba. Este trabalho tem como objetivo central analisar estatisticamente, através de testes de tendência, séries históricas de vazão no âmbito do alto curso do rio Uberaba. Justifica-se a escolha do alto curso do referido rio como objeto de estudo o fato de o abastecimento público do município de Uberaba ser realizado dentro de seus limites. Como método, utilizou-se os testes de regressão linear, Mann-Kendall, Curvatura de Sen e o teste de homogeneidade de Pettitt. Os resultados indicam paulatina redução das vazões de estiagem.

**Palavras chave:** Hidrologia; Disponibilidade hídrica; Geoestatística.

#### Abstract

The increasing on water demand in medium and large Brazilian cities have raised concerns in the public authorities about the urban water supply. Against the increased demand for water, water systems appear to no longer supply the needs imposed by society, especially during the dry seasons. The Uberaba river basin

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia; Autor correspondente; E-mail: vitordeoliv@yahoo.com.br.



illustrates this scenario because it has suffered water shortages since the early 2000. Since then, we see the implementation of urgent actions such as the transposition of the waters from Claro river to supplement the water demand of the Uberaba city, in addition the creation of the Environmental Protection Area - EPA Uberaba river. This work aims to analyze, through trend tests, historical flow series in Upper Uberaba river basin. Justified the choice of the upper course of that river as subject matter the fact that the public water supply in the city of Uberaba be carried out within its boundaries. As a method we used the linear regression tests, Mann-Kendall, Sen's slope and Pettitt homogeneity test. The results indicate a gradual reduction in low flows.

**Key words:** Hydrology; Water availability; Geostatistics.

## Introdução

O tema central deste trabalho está voltado para um problema urgente enfrentado pelos grandes centros urbanos e que vem se agravando, causando amplas discussões em todas as esferas da sociedade nos últimos anos: a disponibilidade hídrica, seja para o abastecimento público, dessedentação animal, utilização para fins agrícolas ou industriais.

Com o aumento da população residente nas áreas urbanas, juntamente com o desenvolvimento econômico e social, a demanda pela utilização dos recursos hídricos cresce de maneira voraz. 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).

Para sanar a crise hídrica estabelecida, no ano de 2003, o município de Uberaba aprovou a 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 a uma vazão de 540 l/s à bacia do rio Uberaba (Portaria de Outorga nº 861/2003), suprimindo temporariamente o problema. 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. Há registros que a Administração Pública não utilizou o sistema apenas nos anos de 2006, 2008, 2009 e 2011 e 2013.

Porém, 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 à bacia do rio Uberaba.

O déficit hídrico em 2014 levou o município a decretar estado de emergência de desabastecimento. O decreto, baseado na Lei Municipal nº 10.207, de 19 de novembro de 2007, autorizou o poder público a fiscalizar e multar casos de desperdícios de água, além de restringir a utilização exagerada dos recursos hídricos. Além disso, o município adotou medidas de fechamento da distribuição de água para alguns bairros, ocasionando falta de água em diversos pontos da cidade, sobretudo nos bairros localizados nos pontos altimétricos mais elevados.

A falta de água para o abastecimento público do município de Uberaba, além da baixa ocorrência de chuvas, pode ser explicada relativamente pelo aumento populacional

ocorrido no município. Segundo o IBGE (2015), a população de Uberaba, em 1991, era de 211.824 habitantes. No ano de 2010, já se registravam aproximadamente 296.000 habitantes, totalizando um aumento de 40% em 20 anos. No ano de 2014, a população estimada era de 318.813 habitantes (aumento de aproximadamente 50%, tomando como base a população do ano de 1991).

Percebe-se, então, tomando como base as informações supracitadas, que a situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Uberaba se encontra em um momento delicado. É notável a falta de água sobretudo nos períodos de estiagem. Em contrapartida, há um aumento da demanda de água pela população local, pelas atividades industriais e agropecuárias.

Nessa lógica, decidiu-se utilizar o alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba como área de estudo pelo fato de que nesta área estarem localizados: as nascentes do referido rio, a parcela da área urbana do município de Uberaba, o ponto de captação de água para abastecimento público desta cidade, a unidade de conservação APA rio Uberaba, além de postos de leitura de dados ambientais.

Ademais, 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-

I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO - 2015

Eixo temático: Estudos ambientais em bacias hidrográficas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Hidrografia, Solos e Fisiologia da Paisagem  
www.sasgeo.eco.br



Kendall e Curvatura de Sen, além do teste de homogeneidade de Pettitt.

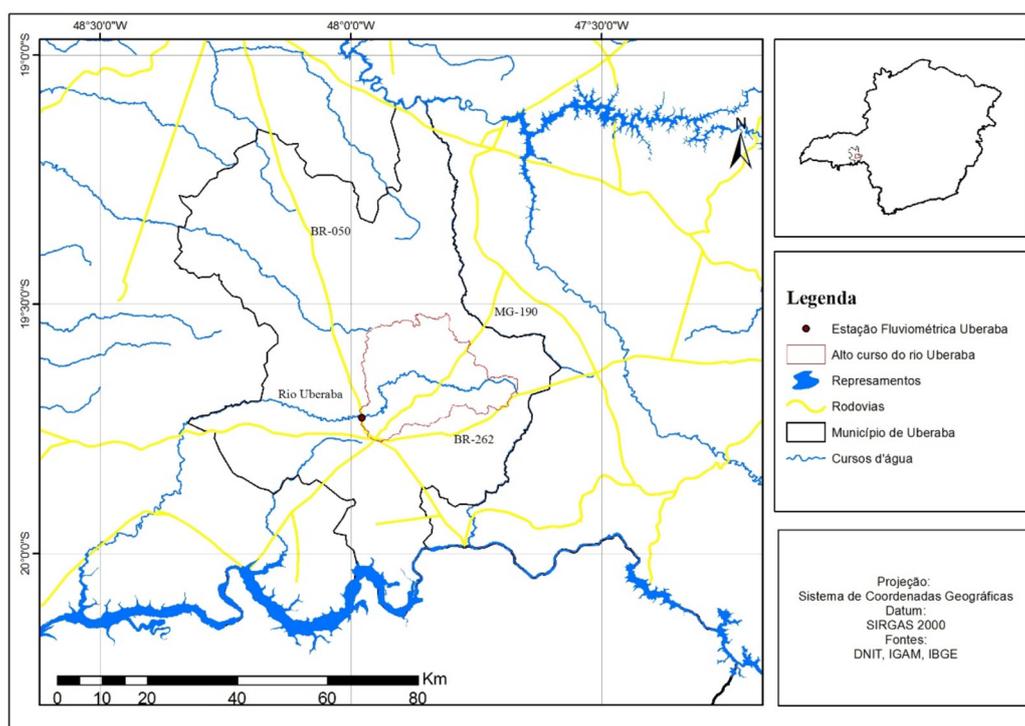
## Metodologia

### Localização da área de estudo

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 4.536,63 km<sup>2</sup>. O alto

curso do rio Uberaba, considerando os limites estabelecidos para estudo, abrange uma área de 561,69 km<sup>2</sup> (56.169,54 hectares). 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,

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





às margens da BR-050, sob as coordenadas geográficas 47° 58' 47,06" O e 19° 43' 40,39" S (Figura1).

## Material

- Série histórica diária de vazão da Estação Fluviométrica Uberaba, código 61794000, disponibilizada pelo portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas;
- Planilhas no ambiente Microsoft Office Excel 2013.

## Métodos

### Vazões de dias de estiagem

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 (Quadro 1). Após a obtenção das vazões dos

referidos intervalos, foi aplicada média móvel de 5 termos para suavização dos dados.

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

Fonte: Santos, V. O.; Naves, J. G. P. (2015).

### 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 Ferrari (2012), Groppo et al. (2005), Helsel e Hirsch (2002), Mann (1945), 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

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. A tabela a seguir sumariza os resultados obtidos.



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

Teste Paramétrico					
Regressão Linear					
Séries Históricas	Coefficiente angular	Coefficiente de correlação	Limite inferior Coef. Angular (95%)	Limite superior Coef. Angular (95%)	Varição na série
7 dias de estiagem	-0,0615	0,266	-0,102	-0,021	-1,7835
<b>15 dias de estiagem</b>	<b>-0,0945</b>	<b>0,457</b>	<b>-0,135</b>	<b>-0,054</b>	<b>-2,7405</b>
<b>20 dias de estiagem</b>	<b>-0,0051</b>	<b>0,405</b>	<b>-0,082</b>	<b>-0,029</b>	<b>-0,1479</b>
30 dias de estiagem	-0,0419	0,204	-0,075	-0,009	-1,2151
<b>45 dias de estiagem</b>	<b>-0,0667</b>	<b>0,439</b>	<b>-0,096</b>	<b>-0,037</b>	<b>-1,9343</b>

Testes não-paramétricos				
Séries Históricas	Mann-Kendall		Curvatura de Sen	
	Kendall's Tau	p-value*	Significância Estatística**	Sen's Slope
<b>7 dias de estiagem</b>	<b>-0,325</b>	<b>0,013</b>	<b>S-</b>	<b>-0,063</b>
<b>15 dias de estiagem</b>	<b>-0,433</b>	<b>0,001</b>	<b>S-</b>	<b>-0,088</b>
<b>20 dias de estiagem</b>	<b>-0,412</b>	<b>0,002</b>	<b>S-</b>	<b>-0,057</b>
<b>30 dias de estiagem</b>	<b>-0,325</b>	<b>0,013</b>	<b>S-</b>	<b>-0,049</b>
<b>45 dias de estiagem</b>	<b>-0,365</b>	<b>0,005</b>	<b>S-</b>	<b>-0,068</b>

(Continua...)



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

Teste de Pettitt							
Séries Históricas	K	<i>p</i> -value*	Significância Estatística**	Changing point	Ano Hidrológico correspondente ao ponto de mudança	<i>M1</i> ***	<i>M2</i> ****
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

Fonte: Santos, V. O.; Naves, J. G. P. (2015).

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

## Resultados e Discussões

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 ( $r = 0,457$ ,  $0,405$  e  $0,439$ , respectivamente). As vazões de 15 dias de estiagem diminuíram  $2,74 \text{ m}^3$  em toda a série histórica. Já as vazões de 20

dias de estiagem diminuíram  $0,1479 \text{ m}^3$ , e as vazões de 45 dias de estiagem diminuíram  $1,93 \text{ m}^3$  durante toda a série histórica.

Quando submetidos ao teste de Mann-Kendall, as séries históricas das vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem apresentaram um kendall's tau de  $-0,325$ ,  $-0,433$ ,  $-0,412$ ,  $-0,325$ ,  $-0,365$ , respectivamente.

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, sendo que as mesmas apresentaram tendência de queda. O changing point para



essas séries ocorre nos anos hidrológicos de 1983/1984 (7 e 20 dias de estiagem) e 1985/1986 (15, 30 e 45 dias de estiagem).

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

Fonte: Santos, V. O.; Naves, J. G. P. (2015).

Nota: 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 ter sofrido diminuição de seus índices no intervalo considerado.

### 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. A sensibilidade da população do município de Uberaba quanto à falta de água, neste trabalho, pôde ser comprovada estatisticamente. Porém, torna-se necessário investigar as causas da tendência de diminuição das vazões nos períodos de estiagem e a tendência de aumento nas vazões máximas detectadas neste trabalho.

Segundo a afirmativa de Tucci (2003), qualquer alteração na superfície das bacias hidrográficas resulta em impactos significativos sobre o escoamento dos cursos d'água, sobretudo no comportamento das enchentes (vazões máximas) e nos períodos de estiagem (vazões mínimas). Além disso, Ferreira (2007, p.206) afirma que "as vazões respondem razoavelmente à variabilidade temporal e espacial da precipitação. Grandes anomalias de precipitação quase sempre resultam em anomalias de descarga de rios".



Portanto, pode ser que as mudanças detectadas nas vazões pelos testes de tendências aqui realizados sejam consequências das mudanças no uso das terras ou resultados das oscilações nos índices de precipitações. Sabe-se que, no ano hidrológico 2013/2014, os índices anuais de chuvas foram os menores desde 1977 (1155,1 mm).

Sendo assim, são necessários outros estudos no âmbito do alto curso da bacia do rio Uberaba, principalmente objetivando analisar se as conversões no uso e ocupações

das terras (e as condições nas quais essas condições ocorreram) geraram impactos nos escoamentos do rio. Além disso, é interessante verificar a variabilidade temporal das precipitações.

### 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

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 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, 2012.

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

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.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical Methods in Water Resources. Techniques of water resources investigations of United States Geological Survey – USGS.** Capítulo 3. 2002. 524p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <[www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br)>. Acesso em: ago. 2015.

I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO - 2015

Eixo temático: Estudos ambientais em bacias hidrográficas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Hidrografia, Solos e Fisiologia da Paisagem  
[www.sasgeo.eco.br](http://www.sasgeo.eco.br)



MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v. 13, p. 245-259, 1945.

PEREIRA, V. R. **Conversão do uso das terras e alterações das condições hidrológicas: o caso das bacias do Atibainha e Cachoeira**. 2012. 192 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas/SP, 2012.

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

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

SEMEA. Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba/MG. Diagnóstico Ambiental APA – Rio Uberaba. Uberaba, 2004. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 58, p. 196-212, 2004. Disponível em: <[http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio\\_ambiente/arquivos/agenda\\_branca/diagnostico\\_apa.pdf](http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/diagnostico_apa.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

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.

I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO - 2015

Eixo temático: Estudos ambientais em bacias hidrográficas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Hidrografia, Solos e Fisiologia da Paisagem

[www.sasgeo.eco.br](http://www.sasgeo.eco.br)