

## Alterações no regime de vazão e precipitação em trecho da Bacia do Rio Araçuaí, Minas Gerais: caminhamos para a escassez hídrica?

### Changes in the flow and precipitation regime in a stretch of the Araçuaí River Basin, Minas Gerais state: are we heading towards water scarcity?

Oliveira, Pedro Henrique França; Vieira, Fabianna Resende; Christofaro, Cristiano; Rocha, Wellington Willian; Silva, Alexandre Christofaro

 **Pedro Henrique França Oliveira**

pedro\_florestal@hotmail.com  
UFVJM, Brasil

 **Fabianna Resende Vieira**

fabianna.resende@hotmail.com  
UFVJM, Brasil

 **Cristiano Christofaro**

cristiano.christofaro@ufvjm.edu.br  
UFVJM, Brasil

 **Wellington Willian Rocha**

wwillian@ufvjm.edu.br  
UFLA, Brasil

 **Alexandre Christofaro Silva**

alexandre.christo@ufvjm.edu.br  
UFVJM, Brasil

#### Revista Espinhaço

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

ISSN-e: 2317-0611

Periodicidade: Semestral

vol. 10, núm. 2, 2021

revista.espinhaco@gmail.com

Recepção: 22 Julho 2021

Aprovação: 01 Setembro 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/485/4852285004/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5502194>

**Resumo:** A análise de séries históricas de precipitação e vazão permite a obtenção de informações sobre tendências de aumento ou diminuição ao longo do tempo dessas variáveis. A caracterização da relação entre essas variáveis pode contribuir para previsões de situações de escassez dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de tendências temporais de precipitação e vazão entre 1995 e 2011 no trecho alto da Bacia do Rio Araçuaí-MG, bem como caracterizar a relação entre os regimes de vazão e de precipitação. A relação entre a vazão e a chuva mensais foi caracterizada por meio de modelo linear. Testes de tendência temporal (Mann-Kendall) foram aplicados nas séries temporais de precipitação (P) e vazão (Q). Os resultados demonstraram uma forte correlação ( $r = 0,8$ ) entre a vazão e a precipitação mensais, ambas apresentando tendência de redução ao longo do período avaliado. A variabilidade interanual e análise de tendência do coeficiente Q/P indica que a intensidade de redução da vazão apresenta-se maior do que a da precipitação, indicando que o uso e ocupação da terra também podem estar afetando a redução da vazão na região. Os resultados podem contribuir para o planejamento do uso dos recursos hídricos na região.

**Palavras-chave:** escassez hídrica, semiárido, mudanças climáticas.

**Abstract:** The analysis of historical series of precipitation and flow allows obtaining information on trends of increase or decrease over time of these variables. From the relationship between these two variables, it is possible to make projections of situations of scarcity water resources in watersheds. The objective of this work was to evaluate the occurrence of temporal trends of precipitation and flow between 1995 and 2011 in the upper Araçuaí River Basin-MG, as well as to analyze the relationship between the flow and precipitation regimes. The relationship between monthly flow and rainfall was characterized using a linear model. Time trend tests (Mann-Kendall) were applied to the time series of precipitation (P) and flow (Q). The results showed a strong correlation ( $r = 0.8$ ) between monthly flow and

precipitation, both showing a tendency to decrease over the period evaluated. The interannual variability and trend analysis of the Q/P coefficient indicate that the intensity of flow reduction is greater than that of precipitation, indicating that land use and occupation may also be affecting the reduction in flow in the region. The results can contribute to the planning of the use of water resources in the region.

**Keywords:** water scarcity, semiarid, climate changes.

## 1. Introdução

A água é um recurso natural com os mais variados usos, sendo indispensável ao desenvolvimento humano. A manutenção deste recurso finito em padrões de quantidade e qualidade adequados para atender aos seus múltiplos usos representa um grande desafio para as sociedades modernas. O regime hidrológico de um rio pode ser afetado por diversas variáveis, como o uso do solo, variabilidade climática, captações d'água, barragens e mudanças climáticas, dentre outros, ampliando a complexidade da preservação da disponibilidade deste recurso (Brooks et al., 2003; Ferrier e Jenkins, 2009; Santos et al., 2010).

Além da diversidade de fatores, deve-se considerar ainda as alterações da paisagem ao longo do tempo. Essas alterações, muitas vezes, ocorrem sem o devido planejamento, com impactos negativos nos recursos hídricos. As consequências de tais intervenções incluem a aceleração de processos erosivos, alteração da disponibilidade hídrica e a contaminação dos mananciais por compostos químicos (Ferrier e Jenkins, 2009). Tais condições foram diagnosticadas em trechos específicos da bacia hidrográfica do Rio Araçuaí, no Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais. Essa bacia apresenta um dos mais baixos níveis de pluviosidade do estado, com riscos de situações de escassez hídrica (Lanna, 2010).

A precipitação consiste na principal fonte de entrada de água nos sistemas hidrológicos (Tucci, 2005). Assim, o conhecimento acerca da distribuição temporal e de possíveis tendências temporais desse processo permitem estabelecer projeções futuras de abundância ou escassez dos recursos hídricos. A relação entre precipitação e vazão ocorre, normalmente, de maneira diretamente proporcional, uma vez que precipitação representa o abastecimento de todo o sistema hídrico da bacia. Entretanto fatores como o uso do solo e alterações da paisagem ao longo dos anos pode fazer com que essa relação não se mantenha constante (Chagas, 2019).

Estudos que avaliam as tendências dos regimes de chuva e vazão vem sendo realizados em várias regiões do mundo (Milliman et al., 2008; Li et al., 2017). No Brasil, diversos estudos relacionaram alterações no regime de vazão a mudanças na cobertura da terra (Costa et al., 2010), implantação de reservatórios de hidrelétricas (Stevaux et al, 2009), variabilidade climática (Collischonn et al, 2001, Londoño, 2019) ou a múltiplos fatores (Chagas, 2018). No contexto atual de mudanças climáticas, o conhecimento da variabilidade temporal das variáveis hidrológicas, especificamente no que diz respeito a tendências, é indispensável para o manejo adequado de bacias hidrográficas (Brooks et al., 2003; Ferrier e Jenkins, 2009), especialmente em bacias localizadas no entorno de regiões

semiáridas, como o caso da bacia do rio Araçuaí. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de tendências temporais na precipitação e na vazão da bacia do rio Araçuaí entre 1995 e 2011, bem como avaliar a relação entre os regimes de vazão e de precipitação na área estudada.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí (Figura 1) situa-se na mesorregião do Vale do Jequitinhonha, entre os paralelos 18° 30' S e 16° 30' S e os meridianos 43° 30' W e 41° 30' W. Abrange um total de 25 sedes municipais, incluindo Diamantina e Capelinha, em uma área de drenagem de 16.273 km<sup>2</sup>. A bacia possui uma população estimada de 311.000 habitantes (IGAM, 2008). A área de estudo compreendeu em porção do alto Rio Araçuaí, com área total de 2.839 km<sup>2</sup>, delimitada a partir de imagens SRTM (Miranda, 2005), considerando como exutório a estação fluviométrica código 54230000, localizada em Carbonita-MG (Figura 1).

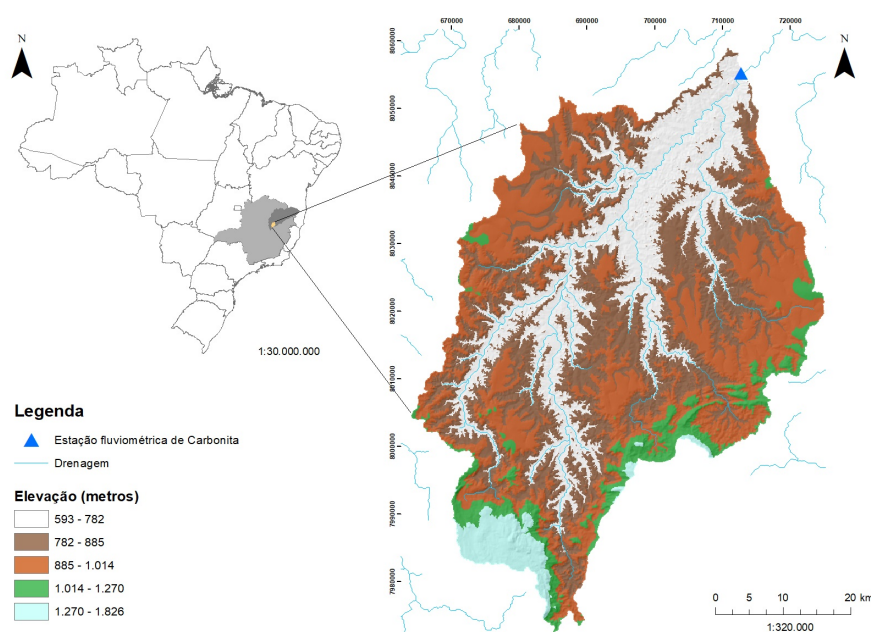


Figura 1. Bacia do Rio Araçuaí e destaque para a região de estudo, no alto da Bacia com exutório em Carbonita, MG  
IBGE, 2010

### 2.2 Tendências temporais da precipitação

A análise das tendências temporais da precipitação na bacia foram executadas a partir dos dados das estações meteorológicas de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMet (INMet, 2013), localizadas nas cidades de Carbonita (código 83485), Diamantina (83538) e Itamarandiba (83488), todas em Minas Gerais, considerando os anos de 1995 e 2011. A influência de cada estação na bacia foi ponderada pelo método dos Polígonos de Thiessen. A

distribuição temporal da precipitação foi caracterizada graficamente e, a partir dos dados obtidos, foi realizada uma análise de tendência de série monótona utilizando o teste de Mann- Kendall.

### *2.3 Tendências temporais da vazão*

Os dados de vazão foram obtidos na estação de Carbonita (código 54230000), disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), sendo os dados faltantes completados por meio da função “fillmiss”, do pacote waterData do Programa R, possibilitando estimar o valor mais provável a partir dos dados mensurados. A caracterização temporal da vazão foi feita graficamente e pelo uso do teste de Mann-Kendall para verificação de tendências monótonas.

### *2.4 Relação precipitação-vazão*

A relação entre a vazão média mensal ( $m^3/s$ ) e a precipitação mensal (mm) na área de interesse foi definida a partir de testes de correlação e regressão linear entre as variáveis. O índice vazão média mensal por precipitação anual foi calculado pela razão entre a vazão e a precipitação mensal, ambas em milímetros.

## **3. Resultados e discussão**

### *3.1 Caracterização da precipitação e da vazão*

A precipitação na bacia apresenta comportamento sazonal, com estações seca e chuvosa bem definidas (Figura 2). Naturalmente, a vazão do rio acompanha o comportamento da precipitação, que apresentam valores reduzidos entre abril e setembro. Nesse período, devido à falta de recarga hídrica na região, a vazão do rio diminui consideravelmente, o que pode gerar problemas para as comunidades locais que dependem do rio. Em 2007, especificamente, o rio chegou a secar completamente, embora o início deste ano tenha registrado um dos maiores volumes de chuva na série considerada.

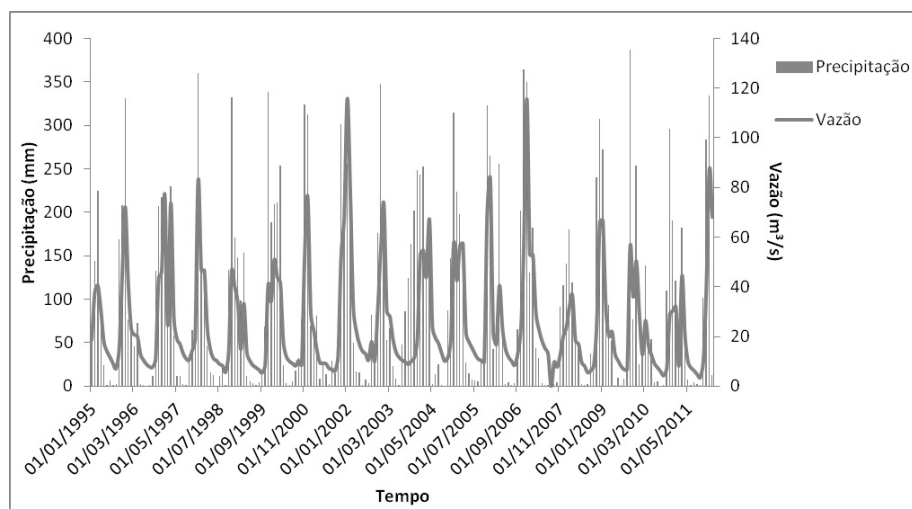


Figura 2. Vazão e precipitação no trecho do Alto Rio Araçuaí, entre 1995 e 2011.  
ANA (2013)

Os picos de precipitação foram acompanhados instantaneamente por picos de vazão em todo o período (Figura 2), o que de fato era esperado devido à precipitação ser o principal fator de recarga dos rios. Observa-se uma tendência relativamente constante para ambos, com períodos de chuvas e vazão elevados, seguidos de períodos de chuvas e vazão escassos.

Os regimes de vazão e precipitação mensal e anual são caracterizados nas Figuras 3 a 6. Os dados de precipitação agrupados por mês (Figura 3) indicam a ocorrência de duas estações bem definidas na região de estudo. Nos meses úmidos (outubro a março), nota-se uma maior variabilidade das duas variáveis, não verificada nos meses secos, quando a precipitação geralmente fica próxima de zero. Os dados mensais de vazão indicam correspondência com a precipitação do período, exceto para outubro, primeiro mês do período chuvoso (Figura 4). Nesse caso, o maior volume precipitado não reflete de imediato na vazão, o que pode estar relacionado à maior capacidade de infiltração do solo pós estiagem.

Em relação ao período analisado, os anos de 1995 e 2004 apresentaram as maiores precipitações medianas, sendo o oposto verificado nos anos de 1999 e 2007 (Figura 5). As maiores vazões medianas foram verificadas nos anos de 2004 e 2009 e as menores nos anos de 2001 e 2011 (Figura 6). Pela análise conjunta das figuras 5 e 6, nota-se que a vazão apresenta menor variabilidade interanual do que a precipitação. A ausência de correspondência entre os anos extremos de chuva e vazão indica a ocorrência de um retardo nas respostas do regime de vazão ao regime de chuva, o que pode estar relacionado às características naturais da bacia, a alterações no uso e ocupação da terra ou mesmo à escala temporal utilizada para caracterização das variáveis.

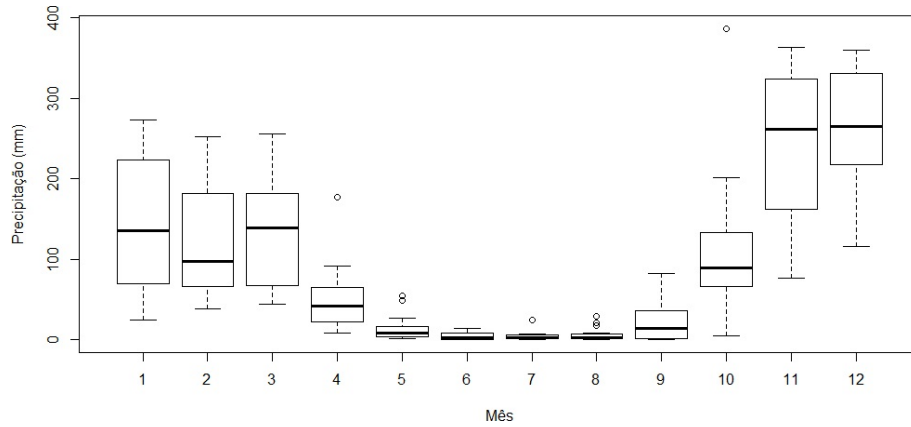


Figura 3. Sazonalidade da precipitação no Alto Rio Araçuaí entre os anos de 1995 e 2011 ANA (2013)

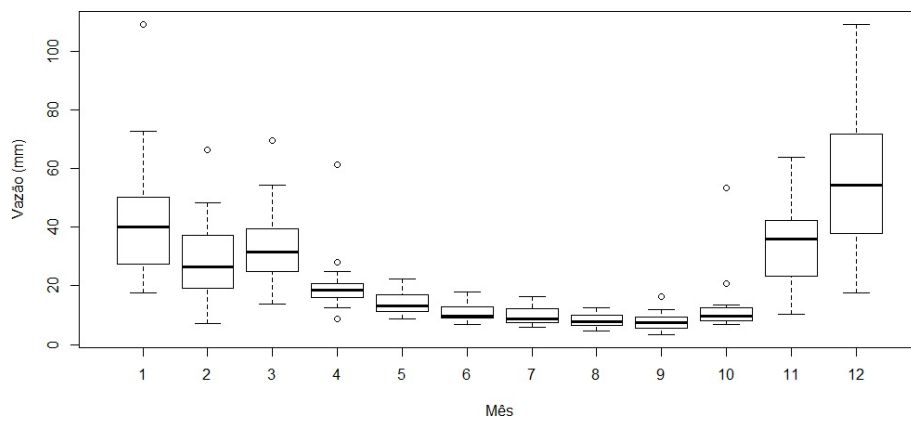


Figura 4. Sazonalidade da vazão do Alto Rio Araçuaí entre os anos de 1995 e 2011 ANA (2013)

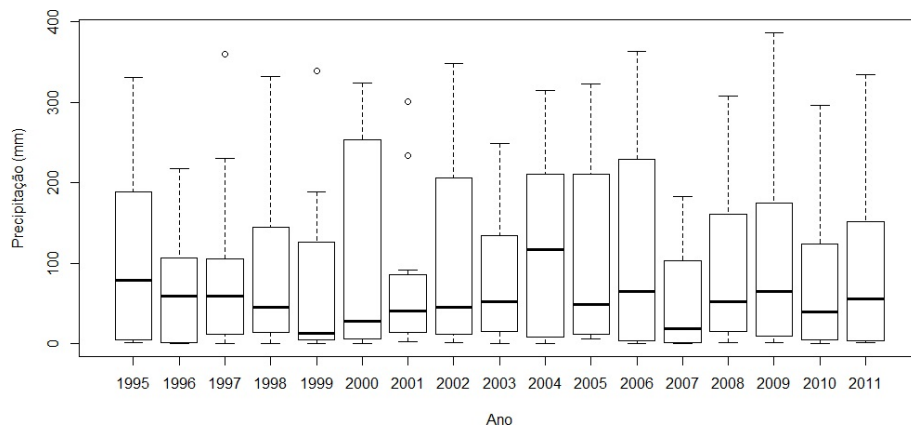


Figura 5. Variabilidade interanual da precipitação mensal no Alto Rio Araçuaí entre 1995 e 2011 ANA (2013)

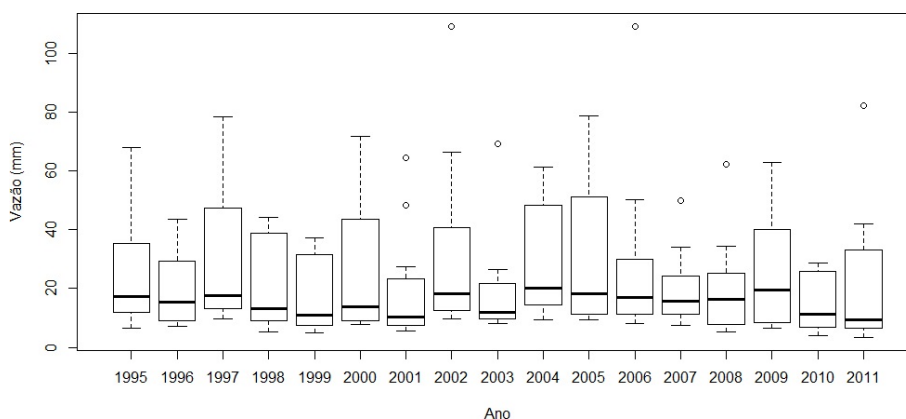


Figura 6. Variabilidade interanual das vazões mensais do Alto Rio Araçuaí entre 1995 e 2011  
ANA (2013)

### 3.2 Tendências temporais

Os resultados do teste de Mann-Kendall indicaram que a precipitação e a vazão apresentaram tendência negativa significativa ( $p < 0,05$ ) no período considerado ( $\tau = -0,212$  e  $-0,163$ , respectivamente). Isso significa que tanto a precipitação quanto a vazão apresentaram tendência à diminuição no período considerado. Os resultados estão de acordo com o verificado por Chagas (2019), que verificou haver uma maior tendência de redução da precipitação no interior do Brasil, destacando a região do Atlântico Leste, na qual a bacia do rio Araçuaí está inserida, como uma das regiões com o maior aumento do intervalo entre eventos de chuvas. O referido estudo constatou ainda uma predominância de redução das vazões nos cursos d'água do cerrado e das regiões semiáridas, relacionando esse efeito, principalmente, a fatores climáticos.

### 3.3 Relação Chuva-vazão

O modelo linear da relação entre a precipitação e a vazão é apresentado na Figura 7.

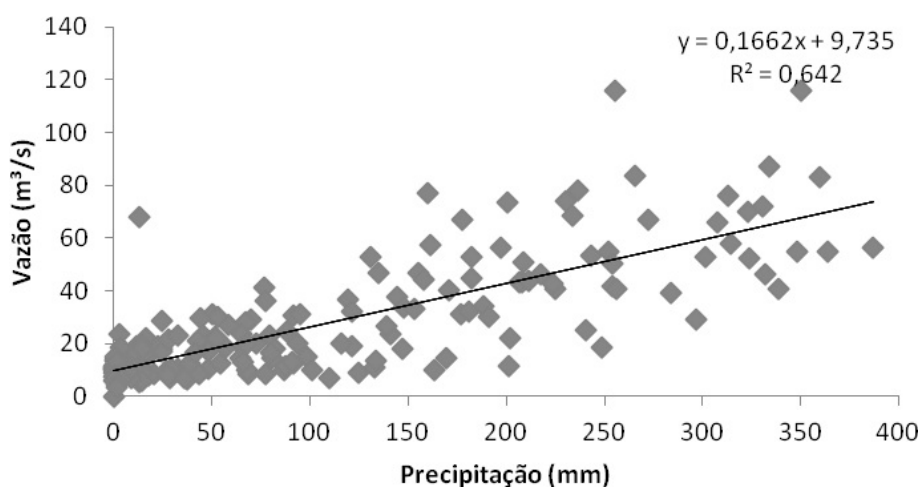
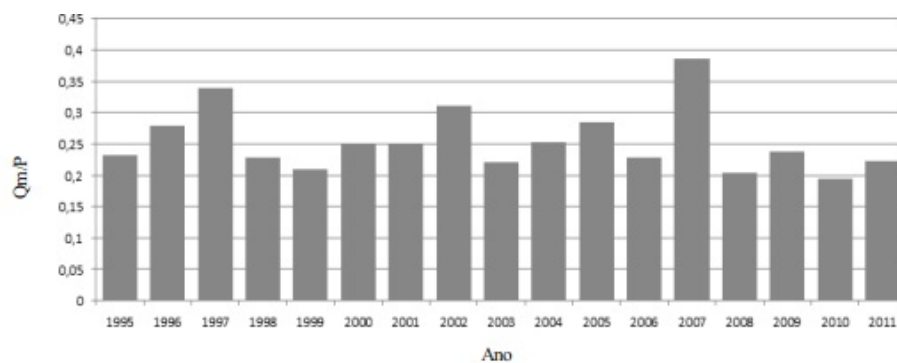


Figura 7. Relação entre precipitação mensal (mm) e vazão média mensal ( $m^3/s$ ) no Alto Rio Araçuaí  
ANA (2013)

O modelo indicou haver uma relação forte, diretamente proporcional, entre a precipitação e a vazão mensal na bacia, com um coeficiente de correlação de 0,8. O coeficiente de determinação encontrado foi de  $R^2 = 0,64$  (Figura 7), indicando que cerca de 64% dos efeitos sobre a vazão são explicados pela precipitação. Assim, apesar da influência da chuva ser bastante representativa, outros fatores devem ser considerados para se caracterizar alterações no regime de vazão na bacia. O coeficiente de correlação encontrado para a relação chuva-vazão na bacia do rio Araçuaí foi maior do que o encontrado por Schmidt e Mattos (2013) para bacia hidrográfica do estado da Paraíba ( $r = 0,78$ ) e do que o encontrado por Limberger e Silva (2012) para bacias na região amazônica ( $r = 0,65$ ). Uma vez que o processo de alteração do regime de vazão está relacionado a fatores climáticos e não climáticos (Kundzewicz e Gerten, 2014; Chagas, 2019), estudos complementares devem considerar eventuais efeitos das alterações do uso e ocupação da terra.

A razão entre vazão média mensal e precipitação anual ao longo do tempo apresentou valor médio de 25,4% no período de estudo, variando de 0,19 e 0,38 (Figura 8). Esse valor foi intermediário entre aqueles encontrados por Ranzini e Lima (2002) em duas bacias hidrográficas na cidade de Santa Branca, SP. Esses autores encontraram valores de 17,2% e 55,6%. Nesse contexto, verifica-se que o trecho Alto da bacia do rio Araçuaí apresenta tempo de residência intermediário, indicando não haver um grande atraso da resposta da vazão às chuvas.



ANA (2013)

Verifica-se um aumento expressivo da razão  $Q_m/P$  em intervalos de cinco anos (1997, 2002 e 2007) seguido de um ano com uma expressiva redução da razão  $Q_m/P$  (Figura 5). A análise temporal do índice vazão média mensal pela precipitação anual demonstrou haver tendência negativa significativa no período considerado ( $\tau = -0,191$ , com  $p < 0,05$ , indicando que a proporção da vazão gerada por unidade de chuva vem diminuindo ao longo do tempo na bacia. Uma vez que tanto a chuva quanto a vazão apresentaram tendência de redução, a tendência de redução de  $Q_m/P$  indica uma maior magnitude da tendência de redução da vazão. Nesse contexto, o modelo da relação chuva-vazão obtido nesse estudo deve ser aplicado com cautela para períodos além do qual foi elaborado. A avaliação dos efeitos do uso e ocupação da terra (Chagas, 2019), bem como simulações dos efeitos das alterações climáticas (Londoño, 2019), podem contribuir para o melhor entendimento das causas e consequências das alterações hidrológicas em curso, embasando a adoção de medidas preventivas para evitar a escassez hídrica na bacia.

## 4. Conclusões

A chuva e a vazão mensais apresentam forte correlação na bacia hidrográfica do rio Araçuaí, permitindo a estimativa de alterações no regime de vazão a partir de informações pluviométricas. Foram verificadas tendências temporais significativas de redução da precipitação e da vazão entre 1995 e 2011, indicando aumento da probabilidade de escassez de água na região. Esses resultados podem embasar medidas para minimizar as perdas hídricas de modo a evitar conflitos pelo uso da água e a limitação do desenvolvimento socio-econômico na bacia hidrográfica. Estudos complementares são necessários para diferenciar a influência do uso ocupação da terra dos efeitos das mudanças climáticas na tendência de redução da vazão verificada na bacia do rio Araçuaí.

## 5. Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pela bolsa de iniciação científica do primeiro autor. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

- Agência Nacional de Águas (Brasil) (ANA). (2013). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em:
- Brooks, K. N. et al. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds*. 3rd Edition ed. [s.l.] Wiley-Blackwell.
- Chagas, Vinícius Bogo. (2019). *Mudanças nos regimes de chuva e vazão no Brasil, de 1980 a 2015*. Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis.
- Collischonn, W.; Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. (2001). Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: Part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology*, v. 245, n. 1–4, p. 218–238.
- Costa, M. H.; Pires, G. F. (2010). Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. *International Journal of Climatology*, v. 30, n. 13, p. 1970–1979.
- Ferrier, R.; Jenkins, A. (2009). *Handbook of Catchment Management*. [s.l.] John Wiley & Sons.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). (2008). *Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais da Bacia do Rio Araçuaí*.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2013). *BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. s/d. . Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>
- Kundzewicz, Z. W.; Robson, A. J. (2004). Change detection in hydrological records - a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, v. 49, n. 1, p. 7–19.
- Lanna, A. E. (2010). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí – Relatório síntese*. Belo Horizonte, Governo do Estado de Minas Gerais.

- Li, D.; Long, D.; Zhao, J.; Lu, H.; Hong, Y. (2017). Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *Journal of Hydrology*, v. 551, p. 217–232.
- Limberger, L; Silva, M. E. S. (2012). Precipitação e vazão mensal na Amazônia. *Revista Geonorte*, edição especial 2, v. 1, nº 5, p. 719-728.
- Londoño, Y. V. (2019). Análise do impacto das mudanças climáticas em índices climáticos associados com a variabilidade dos regimes de chuva e vazão na bacia do rio São Francisco. Dissertação: Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.
- Milliman, J. D.; Farnsworth, K. L.; Jones, P. D.; Xu, K. H.; Smith, L. C. (2008). Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951-2000. *Global and Planetary Change*, v. 62, n. 3–4, p. 187–194.
- Ranzini, M.; Lima, W. P. (2002) Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus, no Vale do Paraíba, SP. *Scientia Forestalis*, n. 61, p. 144-159.
- Santos, E. H. M.; Criebeler, N. P.; Oliveira, L. F. C. (2010). Relationship between land use and hydrological behavior in the “Ribeirão João Leite” watershed, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, p. 826-834.
- Schmidt, D. M.; Mattos, A. (2013). Dinâmica dos regimes de precipitação e vazão da bacia hidrográfica do Alto Piranhas-Açu / PB. *Sociedade e Território*, Natal, v. 25, nº 2, edição especial, p. 67-77.
- Stevaux, J. C.; Martins, D. P.; Meurer, M. (2009). Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, v. 113, n. 3–4, p. 230–238.
- Tucci, C. E. M. (2005). Modelos hidrológicos. [s.l.] Editora da UFRGS.
- Miranda, E. E. de; (Coord.). (2005). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 3 Set. 2015