

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

EFEITO DA MUDANÇA DA CURVA-CHAVE: DETECÇÃO DE GRAVES INCONSISTÊNCIAS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES NO POSTO FLUVIOMÉTRICO DE ATALAIA/AL

Wallisson Moreira de Carvalho¹ & Carlos Ruberto Fragoso Júnior²

RESUMO – A gestão dos recursos hídricos requer necessariamente o conhecimento e o comportamento do regime hidrológico de uma região hidrográfica. Por questões de simplicidade e custos, as vazões são usualmente estimadas a partir da utilização de uma curva-chave, a qual define uma relação entre cota linimétrica e vazão. No âmbito do contrato nº10/2015 realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), foram revisadas as séries de vazão estimativas em diversos postos fluviométricos, dentre eles a estação fluviométrica de Atalaia, localizada na parte baixa da bacia do rio Paraíba do Meio/AL. Este estudo detectou uma grande divergência entre as séries históricas de vazão estimadas antes e depois da revisão para a estação de Atalaia devido à mudança da curva-chave após a revisão. A reconstituição das curvas-chave antes e depois da revisão, permitiu identificar que a curva-chave atual gera uma série fisicamente inconsistente de vazões e que, caso venha ser utilizada em projetos de mitigação de cheias, pode promover graves erros de projetos e custos associados. Assim, recomenda-se uma urgente revisão do estudo realizado no contrato nº10/2015 da ANA.

ABSTRACT – Water resources management requires knowledge of hydrological regime in a river basin. For the matter of simplicity and costs, flows are usually estimated from a rating curve, which defines a relationship between stage and discharge. Under the contract n. 10/2010 by the National Water Agency (ANA) flow datasets were reviewed from different gauges, among them the Atalaia gauge, located downstream of Paraíba do Meio river, in Alagoas. This study detected a great divergence between historical records of discharges estimated before and after the review of Atalaia gauge due to the rating curve change. The reconstitution of rating curves before and after the review allowed to identify that the current one generates a dataset physically inconsistent of discharges and, if used in flood mitigation studies, can lead to errors in project and associated costs. Thus, it is recommended an urgent review of the study realized in the contract n. 10/2015 realized by ANA.

Palavras-Chave – Curva-chave, consistência, Hidroweb

1) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, e-mail: wallissoncarvalho95@gmail.com

2) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, e-mail: crubertofj@hotmail.com

1 – INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos envolve, dentre outras coisas, o conhecimento do regime hidrológico da região, que pode ser avaliado através da obtenção e análise da série de vazões. De acordo com Silva (2003), a baixa disponibilidade de registros históricos de vazão em diversos corpos d'água limita a realização de estudos e projetos, sendo um dos maiores desafios na gestão dos recursos hídricos. Tal deficiência se deve principalmente ao fato da medição da vazão necessitar de equipamentos específicos (tecnologia cara) e de mão de obra especializada.

Tendo em vista que estudos e projetos visando a gestão de recursos hídricos dependem de uma série histórica de vazões, é comum que os valores de vazão sejam estimados a partir da definição de uma relação entre o nível da água e a vazão (relação chamada de curva-chave), de modo que a partir de uma série de cotas linimétricas observadas seja possível obter uma série de vazões estimadas, correspondente ao mesmo período de monitoramento das cotas linimétricas.

A curva-chave é estabelecida em uma seção transversal fluvial, onde são realizadas algumas campanhas de monitoramento para medir simultaneamente cotas e vazões. A partir destes pares ordenados de dados cota x vazão é possível ajustar uma equação aos dados, a qual pode ter comportamento do tipo linear ou não-linear (e.g. polinomial, exponencial ou potencial). De acordo com Paiva *et al.* (2008), as estimativas de vazão por curva-chave podem apresentar incertezas que estão associadas ao próprio processo de medição da vazão como, por exemplo, medições de velocidade e parâmetros geométricos da seção transversal (área, perímetro molhado, largura, profundidade). Além disso, possíveis mudanças na forma geométrica da seção de monitoramento devido ao processo de deposição e/ou erosão do leito do rio podem requerer a revisão dos parâmetros da equação da curva-chave.

No âmbito do contrato nº 10/2015 da Agência Nacional de Águas (ANA), cujo objetivo foi a análise de consistência de dados fluviométricos das estações de monitoramento em operação em algumas bacias hidrográficas, ocorreu uma revisão das estimativas de vazão na estação fluviométrica do município de Atalaia/AL, localizada na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio. Foi identificado que após a revisão os valores de grande magnitude de vazões estimadas foram bastante alterados quando comparados com os valores da série estimada de vazões antes da revisão (Pedrosa & Souza, 2009; Gama, et. al 2011).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo de investigar a consistência dos valores de estimativa de vazões e as mudanças dos parâmetros da curva-chave após a revisão realizada pela ANA em 2015 para a estação fluviométrica de Atalaia/AL.

2 – METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (Figura 1) tem sua nascente no município de Bom Conselho, estado de Pernambuco e entra no estado de Alagoas pelo município de Quebrangulo, ocupando uma área total de 3.127,83 km². A estação fluviométrica de Atalaia (código 39870000) drena aproximadamente 2.600 km² da bacia.

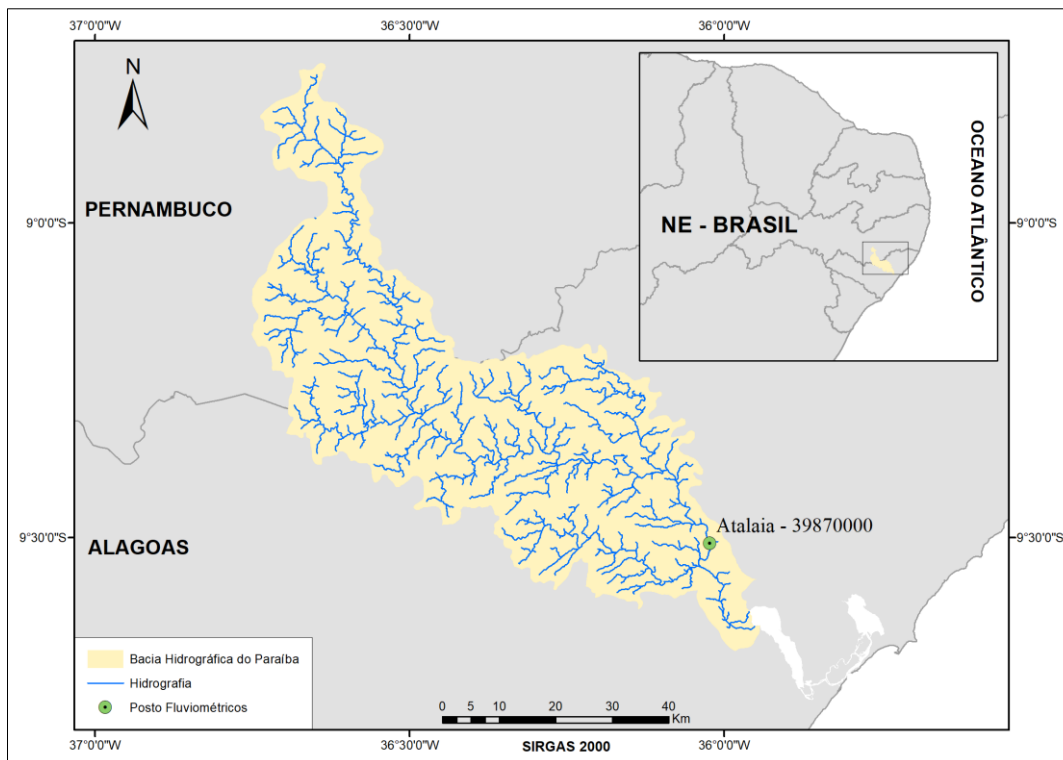


Figura 1 - Área de estudo.

Os dados relativos à estação fluviométrica de Atalaia foram obtidos através da plataforma Hidroweb (ANA, 2005), onde foram selecionadas as informações de cotas observadas, resumo de descarga (i.e., pares ordenados de cotas e vazões medidas) e a curva-chave e a série histórica de vazões estimadas atualmente disponibilizadas. Esta estação apresenta um conjunto de registros abrangendo o período de janeiro de 1977 a dezembro de 2017. Os dados de níveis não consistidos foram desconsiderados nesta análise.

Além disso, foi obtida a série histórica vazões estimadas disponibilizada na plataforma Hidroweb (ANA, 2005) para a estação de Atalaia, em um período anterior às alterações causadas pelo contrato ANA nº 10/2015. Esta série histórica corresponde ao período de janeiro de 1977 a novembro de 2008 e foram utilizados no estudo de Gama, et. al (2011). Tal série histórica vazão foi utilizada para obter os parâmetros da curva-chave antes da revisão pela ANA em 2015.

As curvas-chave foram estimadas através do método da extrapolação logarítmica descrito por

Santos *et al.* (2001), mostrado na equação abaixo, e seus parâmetros foram ajustados utilizando o método dos mínimos quadrados não linear.

$$Q = a(h - h_0)^b \quad (1)$$

onde Q , em $m^3.s^{-1}$, é a descarga líquida em um dado instante; h , em m, é a cota linimétrica correspondente a um valor de Q ; h_0 , em m, é a cota linimétrica para a qual a vazão é nula; a e b são parâmetros adimensionais de ajuste, específicos da seção fluviométrica de interesse.

Visando identificar as possíveis diferenças entre as curvas-chave antes e depois da revisão realizada em 2015, foram geradas, com base na série histórica de cotas linimétricas, as séries históricas de vazões máximas, médias e mínimas anuais.

3 – RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros da curva-chave utilizados atualmente para gerar as vazões estimadas diárias a partir das cotas linimétricas na estação fluviométrica de Atalaia. É possível notar que existem três faixas de validade de cotas, onde é empregado uma curva-chave para cada faixa de cota. Além disso, existem três períodos de validade onde ocorreu mudança na curva-chave.

Tabela 1 - Parâmetros da curva-chave **após** a revisão realizada em 2015 (contrato ANA nº 10/2015).

Período	Validade		Cota (cm)		Parâmetros		
	Início	Fim	Mínima	Máxima	a	h_0	b
1	01/10/1977	17/08/1989	110	160	24.29	1.05	1.60
			160	290	19.93	0.86	2.50
			290	700	0.44	-0.23	4.90
2	18/08/1989	20/06/1994	120	160	17.25	1.09	1.40
			160	291	16.37	0.87	2.80
			291	700	0.44	-0.23	4.90
3	21/06/1994	31/12/2014	90	187	31.66	0.93	2.25
			187	291	26.40	0.85	2.10
			291	700	0.44	-0.23	4.90

Com base nos dados de resumo de descarga da estação de Atalaia, foram selecionadas as informações dos pares ordenados de cotas e vazões medidas com a finalidade de estimar os parâmetros para as curvas-chave. Foi possível identificar algumas inconsistências nos dados de resumo de descarga como, por exemplo, dados repetidos de cota com vazões associadas não coincidentes, ou vazões muito abaixo/acima do valor esperado para determinada cota. Desta forma, os dados inconsistentes foram descartados e os parâmetros das curvas-chave foram obtidos

considerando os mesmos períodos de validade definidos no contrato ANA nº 10/2015.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros da curva-chave ajustados com base nos dados de resumo de descarga e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 2 - Parâmetros estimados a partir das informações de resumo de descarga.

Período	Validade		Parâmetros			R^2
	Início	Fim	a	h_0	b	
1	01/10/1977	17/08/1989	16.49	0.78	2.46	0.974
2	18/08/1989	20/06/1994	21.41	0.96	2.43	0.999
3	21/06/1994	31/12/2014	15.29	0.67	2.81	0.991

A partir da série histórica de vazões estimadas obtida no estudo de Gama et al. (2011), os parâmetros da curva-chave foram determinados de forma análoga a anterior. Estes parâmetros estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da curva-chave **antes** da revisão realizada em 2015. Fonte: Gama et al. (2011).

Período	Validade		Parâmetros			R^2
	Início	Fim	a	h_0	b	
1	01/10/1977	17/08/1989	27.68	1.00	1.98	0.997
2	18/08/1989	20/06/1994	26.47	1.04	1.99	0.999
3	21/06/1994	31/12/2014	34.31	0.95	2.29	0.949

Foi observado que coeficiente de potência (b) apresentou uma grande mudança após a revisão de 2015 na faixa de validade de cotas entre 290 cm e 700 cm (Tabela 1), resultando em um aumento médio de 130% em comparação aos valores do coeficiente de potência antes da revisão.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam a relação cota-vazão para os três períodos analisados, de acordo com cada conjunto de parâmetros obtidos para a curva-chave da equação 1. As curvas-chave foram estimadas a partir das relações: obtida após a revisão, obtida através dos dados de resumo de descarga, e obtida antes da revisão de 2015.

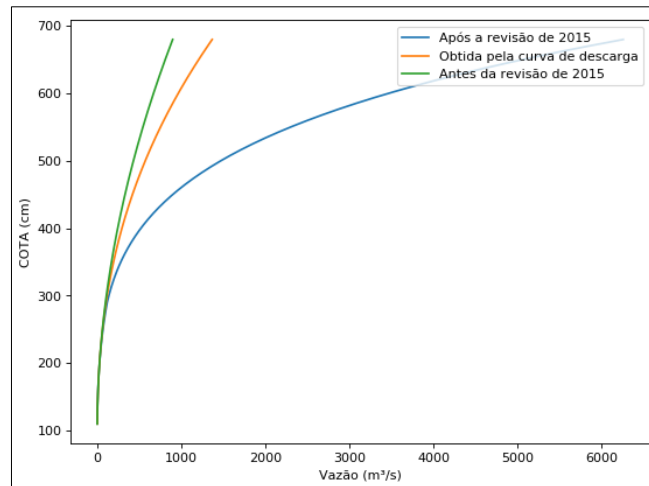


Figura 2 - Curvas-chave referentes ao parâmetros do período 1.

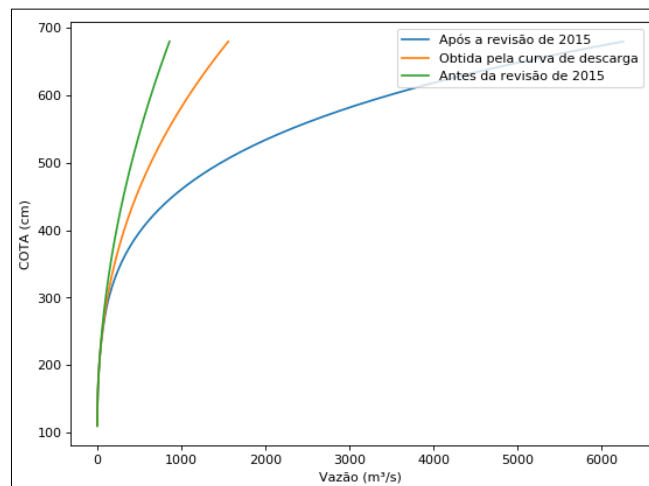


Figura 3 - Curvas-chave referentes ao parâmetros do período 2.

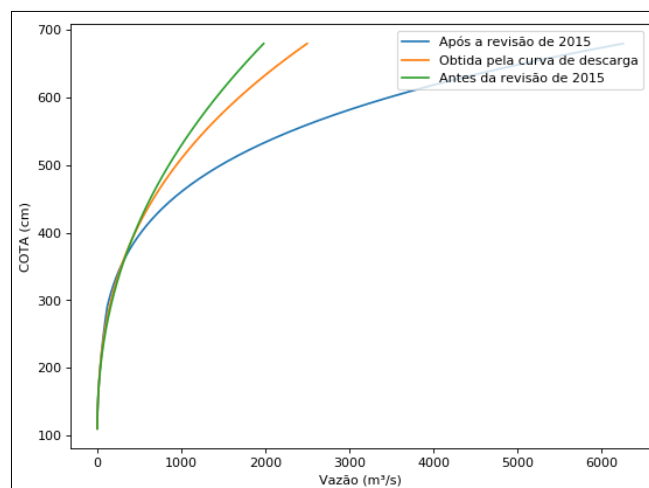


Figura 4 - Curvas-chave referentes ao parâmetros do período 3.

Nos três períodos analisados foi possível perceber que as curvas apresentam estimativas de vazões similares para cotas até 300 cm. No entanto, para cotas maiores de 300 cm as curvas começam a apresentar uma divergência, resultado em desempenhos diferentes nas estimativas de vazões. Por exemplo, utilizando a curva-chave após a revisão de 2015 as vazões estimadas superam valores de 2000 m³/s para cotas acima de 500 cm, que é inconsistente do ponto do vista físico considerando as características físicas da bacia hidrográfica, estudos de modelagem hidrológica anteriores e os próprios valores medidos de vazão.

Com base nos diferentes parâmetros obtidos para a curva-chave e na série de dados de cotas observadas foram geradas as séries de vazões máximas, médias e mínimas anuais, as quais estão apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

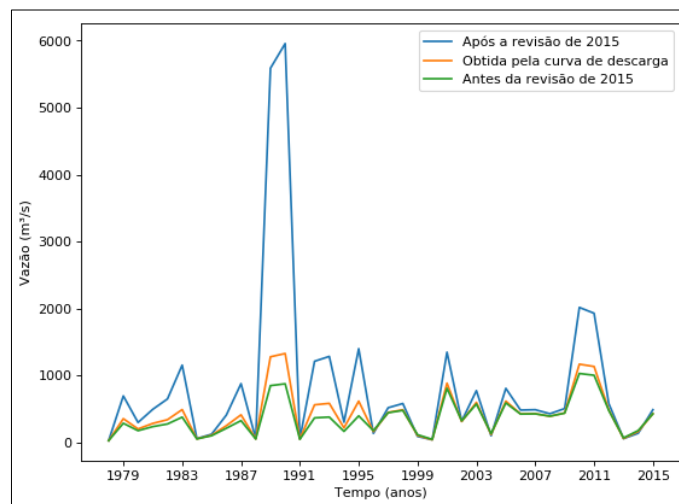


Figura 5 - Séries de vazões máximas anuais.

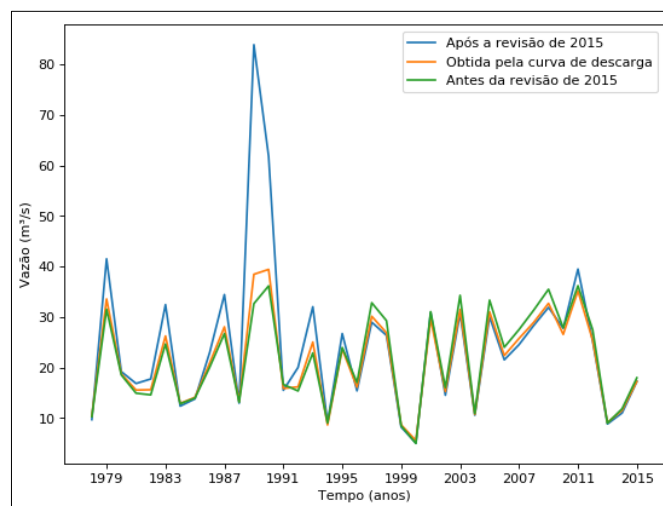


Figura 6 - Séries de vazões médias anuais.

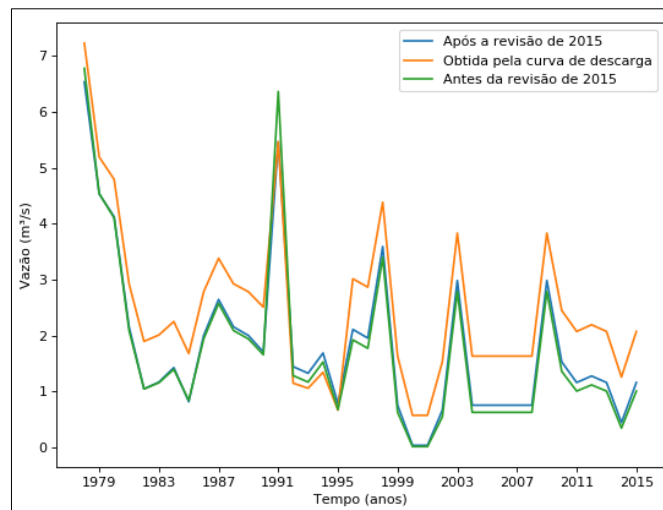


Figura 7- Séries de vazões mínimas anuais.

Como já havia sido identificado, para magnitudes menores de vazões as curvas-chave apresentam estimativas similares. No entanto, as estimativas de vazões máximas anuais são bastante discrepantes. Por exemplo, utilizada a curva-chave após a revisão de 2015, a vazão máxima estimada foi de aproximadamente 6.000 m³/s para o ano de 1989 onde ocorreu a maior cheia na bacia, enquanto que, utilizando a curva-chave antes da revisão de 2015, a vazão máxima estimada não atinge 1.500 m³/s. Tal diferença pode implicar em graves erros de custos, em projetos de mitigação de cheia na bacia.

4 – CONCLUSÕES

Neste estudo, foram analisados os parâmetros da curva-chave atualmente utilizados na estação fluviométrica de Atalaia. Foi possível identificar que existem três períodos de validade para estes parâmetros e três faixas de validade para cotas. A curva-chave utilizada atualmente para a faixa de cotas entre 290 cm e 700 cm apresenta um alto coeficiente de potência, fazendo com que a série de vazões máximas anuais apresente valores superiores ao esperado para bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

Foram gerados novos parâmetros para a curva-chave baseados nos dados disponíveis de resumo de descarga e nas séries de vazões observadas em estudos anteriores. Estas curvas apresentaram comportamentos próximo aos das curvas-chave atualmente empregadas para as cotas próximas a 300 cm. No entanto, para cotas maiores o desempenho apontou vazões menores que 1500 m³/s, que está dentro do esperado para esta bacia.

Como a mudança na série de dados apresentada no Hidroweb foi motivada por uma possível inconsistência nas informações anteriormente divulgadas pela ANA, sugere-se uma urgente revisão

dos parâmetros da curva-chave hoje utilizados para estimar as vazões na estação de Atalaia. Além disso, recomenda-se que a avaliação realizada neste trabalho também seja estendida para outras estações fluviométricas consideradas no âmbito do contrato ANA nº 10/2015, e que o histórico das curvas-chave utilizadas em cada estação esteja disponível para acesso no Hidroweb.

5 – REFERÊNCIAS

- ANA. Hidroweb – “*Sistema de Informações Hidrológicas*”, 2005. Disponível em: <[www.http://hidroweb.ana.gov.br/](http://hidroweb.ana.gov.br/)>. Acesso em março de 2018.
- Silva, C. L. “*Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.311-317, 2003.
- Santos, I.; et al. “*Hidrometria Aplicada*”. Curitiba-PR, 372p. 2001.
- Gama, W. M. ; fragoso, C. R. ; Reis, R. S. . “*Caracterização do regime hidrológico da bacia hidrográfica do Paraíba do meio através de um modelo hidrológico distribuído em SIG*”. In: XIVth IWRA World Water Congress, , Porto de Galinhas/PE, 2011.
- Pedrosa, V. A. ; Souza, R. C. . “*Estacionariedade e estudo de vazões mínimas do rio Paraíba do Meio em Alagoas*”. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 2009.