



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE DOS EVENTOS DE CHEIA SOBRE MUDANÇAS POTENCIAIS NAS CURVAS DE DESCARGA: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO BARREIROS (39590000)

Cristiane Ribeiro de Melo¹; José Francisco Rêgo e Silva²; Solange Cavalcanti de Melo³ & Mercília Maria Farias de Barros⁴

RESUMO – O presente trabalho apresenta uma avaliação da estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000). A estação foi destruída, assim como toda a cidade, durante a cheia ocorrida na bacia do rio Una no ano de 2010. O objetivo principal é alertar para a importância da análise detalhada das mudanças ocorridas nas curvas de descarga das estações fluviométricas que passaram por eventos de enchentes. São apresentadas as curvas-chave da estação fluviométrica de Barreiros, de sua instalação até o período pós-enchente, e analisadas suas respectivas vazões (Vazão Média de Longo termo - Q_{mlt} ; Vazão Específica - Q_{esp} ; e probabilidade de vazão para 50%, 90% e 95%). Concluiu-se que uma análise baseada apenas na tendência apresentada pelas medições de descarga, pode induzir à determinação de uma curva-chave com períodos de validade equivocados. As vazões geradas através das curvas-chave mostraram que as vazões mais altas na estação ocorrem entre os meses de junho e agosto. Em 38% do tempo a estação apresentou situação de escassez de água. A probabilidade do rio apresentar a vazão média anual esperada ou superá-la é de 31%.

ABSTRACT – This paper presents an assessment of fluviometric station Barreiros (cod. 39590000). The station was destroyed, as well as the city during the flood occurred on the Una basin in 2010. The main goal is to alert about the importance of detailed analysis of the changes in discharge curves for stations that went through flood events. The key curves of fluviometric station Barreiros are presented, from installation to post-flood period, and their respective flow rates were analyzed (long term flow Average - Q_{mlt} ; Specific Flow - Q_{ESP} , and flow likelihood for 50%, 90 % and 95%). It was concluded that an analysis based only on the trend presented by the discharge measurements, can induce to a set of key curves with incorrect validity periods. The flows generated through the key curves showed that the highest flow rates occur between June and August. In 38% of the time the station had reduced water volume. The probability for the river to present or overcome the expected annual average flow is 31%.

Palavras-Chave – Vazões, Curva de descarga e Estação Fluviométrica de Barreiros.

1) CPRM: Av. Sul, 2291, Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.:(81) 3316-1468; e-mail: cristiane.melo@cprm.gov.br

2) CPRM: Antônio Sales,1418, Fortaleza, CEP 60.135-101, Ceará; Tel.:(85) 3878-0248; e-mail: jose.francisco@cprm.gov.br

3) CPRM: Av. Sul, 2291, Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.:(81) 3316-1468; e-mail: solange.melo@cprm.gov.br

4) CPRM: Av. Sul, 2291, Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.:(81) 3316-1468; e-mail: mercilia.barros@cprm.gov.br

1 - INTRODUÇÃO

Muitas estações fluviométricas podem ser destruídas durante os períodos de cheia. A extensão da destruição determina, na maioria das vezes, a qualidade e quantidade das informações perdidas durante o evento. É muito comum a falta de dados de nível (cotas), como consequência das réguas levadas pela força das águas ou a impossibilidade de leitura pelo observador, e a ausência de medição de descarga por questão de segurança dos hidrotécnicos, por exemplo.

Enchentes de grandes proporções, como a ocorrida na bacia do rio Una no ano de 2010, podem destruir completamente as estações fluviométricas em operação na bacia. Além das perdas materiais de equipamentos e de referências topográficas, a violência das águas pode destruir as margens dos rios e mudar por completo a sua conformação. Tal mudança torna necessária a reavaliação das curvas de descarga das estações, bem como avaliação e recuperação dos dados existentes.

Além da perda das vazões de pico, a destruição ocorrida nas margens impede a reinstalação imediata da estação. Assim, é comum que as estações passem um longo período sem observação. A falta de observadores, como consequência da destruição das cidades também traz prejuízos à coleta de dados.

A estação de Barreiros é um bom exemplo da situação aqui apresentada. Durante a cheia na bacia do rio Una em 2010 a estação foi completamente destruída. No ano de 2011 uma nova enchente, de menores proporções, acometeu a bacia trazendo mais modificações para o leito do rio.

A estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000) está inserida na Rede Hidrometeorológica Nacional, operada no âmbito da parceria entre Agência Nacional de Águas – ANA e Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. A estação foi instalada em dezembro de 2002, com área de drenagem de 6.815 km², durante a expansão da rede de monitoramento hidrológico.

O presente trabalho tem como objetivo principal alertar para a importância da análise detalhada da documentação e das mudanças ocorridas nas curvas de descarga das estações fluviométricas que passaram por eventos de enchentes. Como objetivos específicos as curvas-chave da estação fluviométrica foram determinadas, de sua instalação até o período pós-enchente, e foram analisadas suas respectivas vazões.

2 – METODOLOGIA

As informações que compõe o banco de dados de cotas, perfis transversais e resumo de medições de vazão, utilizados neste trabalho, encontram-se disponíveis, para acesso gratuito, no sistema Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>), no site da Agência Nacional de Águas – ANA.

Tais dados foram utilizados para obtenção das vazões líquidas através da construção das curvas de descarga ou curvas-chave. A curva foi determinada de acordo com as recomendações da Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA, de 30 de setembro de 2011.

A análise da estação foi realizada através da vazão média de longo termo (Q_{mlt}), vazão específica (Q_{esp}), e probabilidade de vazão para 50%, 90% e 95%. A vazão média de longo termo (Q_{mlt}) é a média de todas as médias anuais da série e através dela é possível definir o período seco e o período úmido. Quando a média mensal está abaixo da Q_{mlt} existe a ocorrência de período seco, o inverso ocorre na determinação dos períodos úmidos.

A vazão específica (Q_{esp}) é a produtividade hídrica, ou seja, corresponde à relação entre a vazão na estação fluviométrica e a área de contribuição expressa em $L/s/Km^2$. A Q_{esp} indica se a região é mais ou menos produtora de água.

2.1 – Análise da estação fluviométrica após a enchente no rio Una

O relevo montanhoso, os solos de baixa permeabilidade e a cobertura vegetal de baixa capacidade de retenção de escoamentos superficiais, existentes no médio Una, contribuem para um elevado rendimento das precipitações e a formação de enchente com picos de curto tempo de concentração, não ultrapassando em alguns locais a mais do que 10 horas no tempo decorrido entre o início da precipitação e o pico de vazão provocado por estas chuvas (DANTAS, 2012).

A ocorrência de uma enchente, como a ocorrida no rio Una, traz modificações físicas à bacia, e conseqüentemente, aos dados coletados na estação fluviométrica. Tais mudanças podem passar despercebidas durante a determinação da curva de descarga. Isso ocorre quando as tendências das medições de descarga, antes e depois do evento, encontram-se muito próximas, dando a impressão, muitas vezes, de tendência única.

Dessa forma, as análises de cota para identificação de mudança no h_0 e do perfil transversal para averiguação de presença de escavação ou depósito no leito do rio são importantes. O h_0 é a cota de vazão nula ou mínima. Entretanto, estes dados são insuficientes quando não se tem informações complementares sobre todos os acontecimentos identificados na estação.

A análise simplesmente visual das medições de descarga, antes e depois da cheia, pode não apresentar claramente a indicação de mudança de curva (Figura 1). Mas observa-se claramente a mudança nos perfis transversais (Figura 2), levantados no mesmo local, e uma diminuição na cota mínima na estação após a cheia de 2010 (Figura 3).

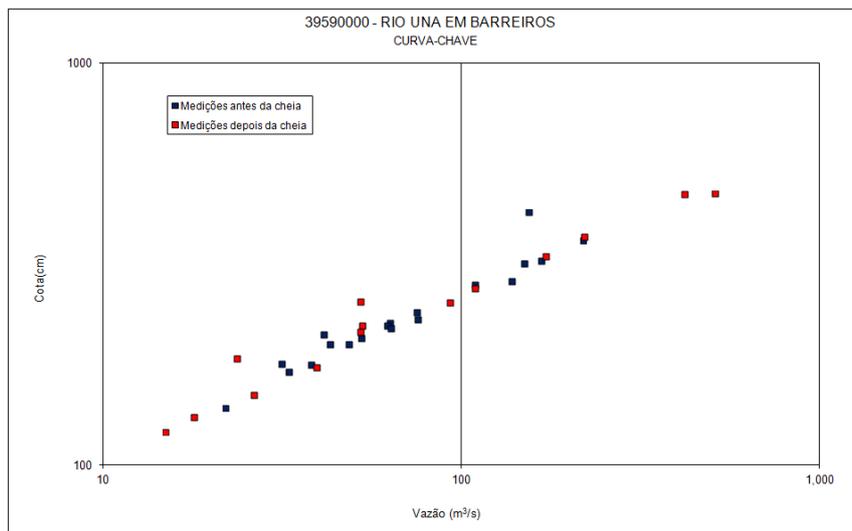


Figura 1. Medições de descarga na estação Barreiros (cód. 39590000) antes e depois da cheia ocorrida em 2010.

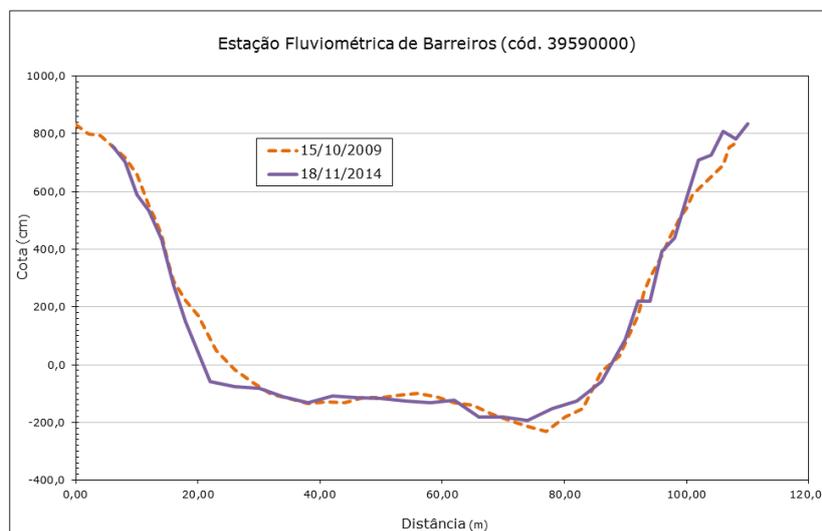


Figura 2. Perfis transversais na estação Barreiros (cód. 39590000) levantados em 15/10/2009 (em vermelho) e 18/11/2014 (em azul)

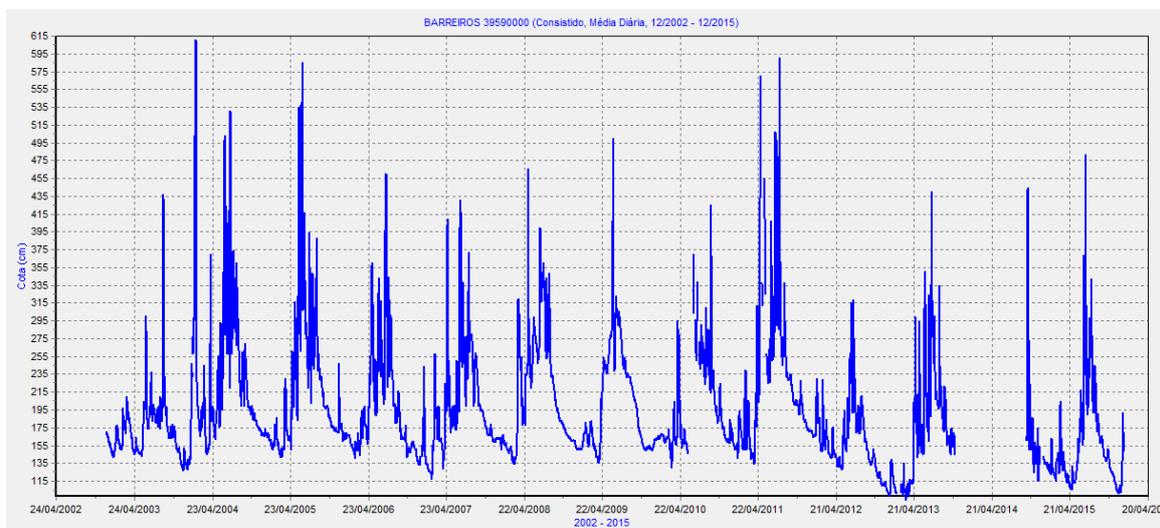


Figura 3. Cotagrama da estação Barreiros (cód. 39590000) para o período de 2002 a 2015

Sem a informação da ocorrência da cheia e a falta de análise de outras características da estação, torna-se fácil a consideração equivocada de período único na curva de descarga quando existe mudança de tendência. Como consequência, obtêm-se vazões geradas que podem apresentar valores subestimados ou superestimados. É comum não perceber o erro quando a análise da estação é realizada individualmente.

2.2 – Curva de descarga para a estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000)

A maneira tradicional de se obter estes dados de vazões escoadas nos rios baseia-se na determinação da curva-chave, a qual é representada por meio de uma equação que correlaciona o nível d'água no rio com a vazão associada a tal nível. A elaboração de uma curva-chave bem ajustada a uma seção de monitoramento em um rio é uma tarefa que demanda tempo e esforço.

Para a obtenção dos parâmetros das equações das curvas-chave empregou-se, como ferramenta computacional, o Solver do Excel (Microsoft). A vazão calculada foi obtida a partir dos valores de a , h_0 e n , segundo a expressão da equação potencial. Os parâmetros da equação foram obtidos de forma que a soma dos quadrados dos desvios fosse mínima ou, alternativamente, a média dos desvios absolutos fosse minimizada, de modo a aproximar, ao máximo, os valores de vazão calculados aos valores reais medidos (SILVA, 2013).

Após a análise de cotas, perfis, medições de descarga e todo tipo de documentação que possa colaborar para a determinação da curva e caracterização da estação (boletins, relatório de inspeção técnica, históricos, relatório fotográfico, fichas descritivas, entre outros), foram determinadas as curvas de descarga para o período de 2002 a 2015. A Figura 4 ilustra as curvas para a estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000) e as respectivas equações são apresentadas na Tabela 1.

Geradas as vazões, se possível, devem ser analisadas as vazões geradas nos picos e o comportamento da estação na recessão em relação às estação de montante e jusante, localizadas no mesmo rio, caso existam.

A análise das vazões geradas em relação às estações de apoio deve ser considerada na avaliação da qualidade da curva. Independe da ocorrência ou não do evento hidrológico de grande porte, é importante a análise conjunta com uma ou mais estações de apoio, buscando-se diminuir as imprecisões e erros inseridos na determinação da curva de descarga líquida. No caso aqui apresentado, as vazões geradas foram comparadas às vazões calculadas para a estação fluviométrica de Palmares (cód. 39560000) localizada a montante da estação no rio Una.

A Figura 5 apresenta uma fotografia, vista de jusante, da seção transversal da estação fluviométrica de Barreiros. Na Figura 6 observa-se uma distribuição uniforme dos desvios no gráfico de desvio versus tempo.

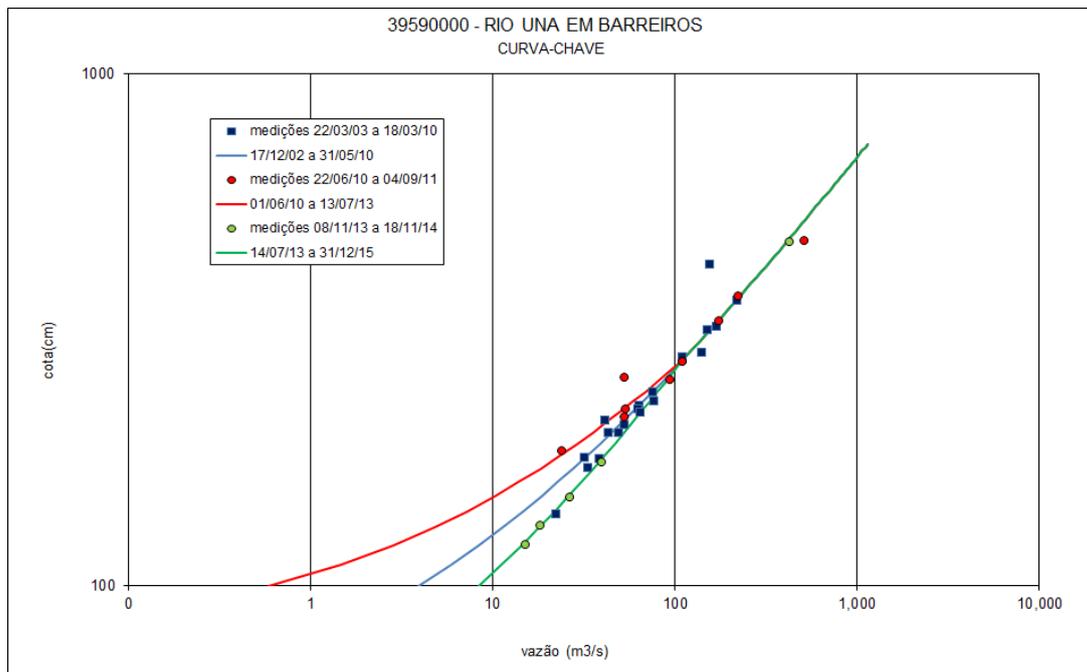


Figura 4. Curvas-chave traçadas para a estação Barreiros (cód. 39590000).

Tabela 1. Curvas-chave traçadas para a estação Barreiros

Curvas-chave – $Q = a (h - h_0)^n$					
Validade	Parâmetros			Amplitude (cm)	Número da curva
	a	h_0	n		
17/12/02 a 31/05/10	20,640	0,55	2,099	0 - 1000	01/05
01/06/10 a 13/07/13	23,310	0,80	2,296	0 - 275	02/05
01/06/10 a 13/07/13	20,640	0,55	2,099	275 - 1000	03/05
14/07/13 a 31/12/15	21,790	0,40	1,875	0 - 276	04/05
14/07/13 a 31/12/15	20,640	0,55	2,099	276 - 1000	05/05



Figura 5. Vista de jusante da seção de réguas da estação Barreiros (cód. 39590000).

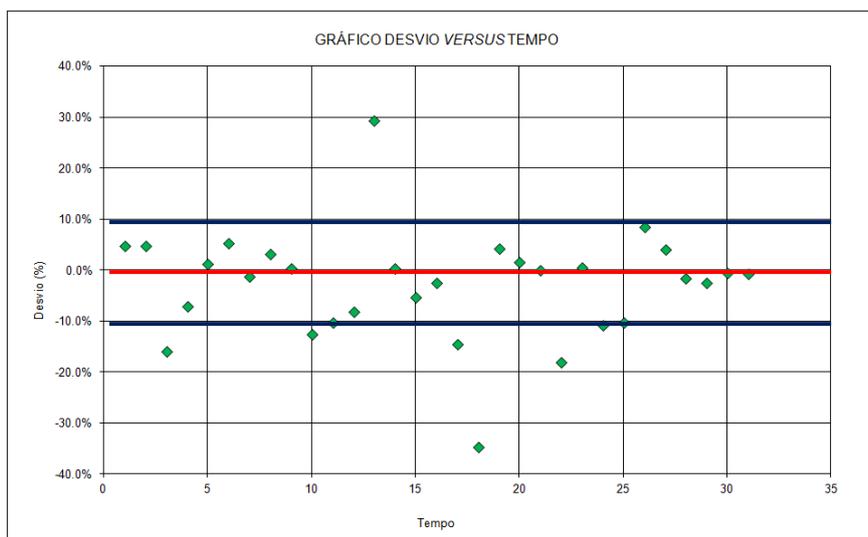


Figura 6. Gráficos de desvio versus tempo para a estação Barreiros (cód. 39590000)

3 – RESULTADOS

A análise dos resultados permite afirmar que houve uma mudança de tendência. Após a enchente ocorrida em 2010, a curva existente para a estação Barreiros (cód. 39590000) apresenta, pela primeira vez, mudança de tendência no ramo inferior. A mudança é consequência das modificações no leito causadas pelas altas vazões. Entretanto, com a recuperação do curso, em meados de 2013, uma terceira tendência é evidenciada, como mostrado na Figura 4.

A Figura 7 ilustra as vazões médias mensais para a estação fluviométrica de Barreiros, de janeiro/2003 a dezembro/2015, e a Tabela 2 apresenta as vazões médias mensais para o período.

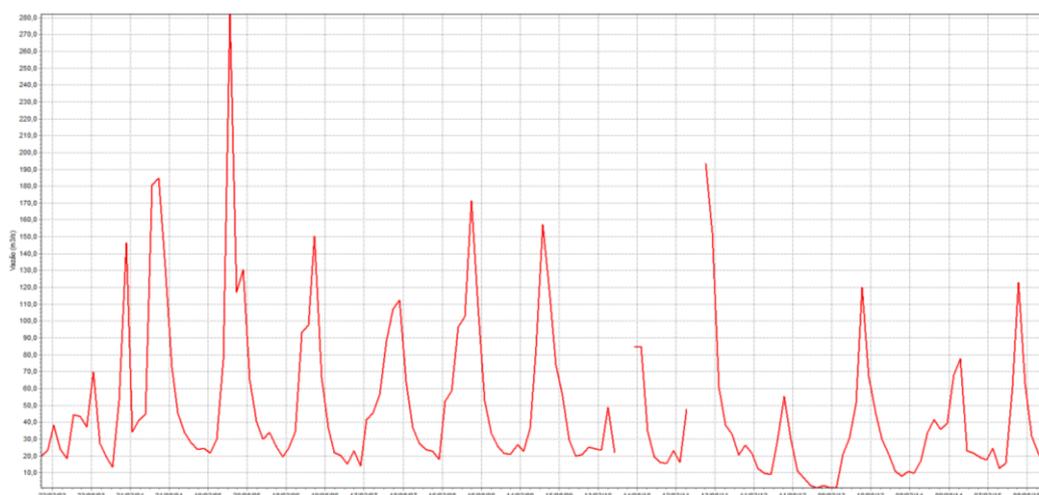


Figura 7. Vazões médias mensais para a estação de Barreiros (cód. 39590000)

Foram realizados preenchimentos de falha tomando a estação de Palmares (cód. 39560000) como apoio. Entretanto, as lacunas apresentadas representam os períodos com perdas significativas

e irreparáveis de dados, causadas por impossibilidade de leitura das réguas limimétricas pelo observador.

Tabela 2. Vazões médias mensais calculadas para a estação Barreiros (cód. 39590000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	19.70	23.50	38.20	23.90	18.40	44.60	43.20	37.30	69.70	27.50	19.20	13.20
2004	52.70	146.00	34.20	41.10	44.70	181.00	185.00	132.00	72.50	45.50	33.90	27.60
2005	23.90	24.50	21.60	29.90	76.80	282.00	117.00	130.00	65.00	40.90	30.10	34.00
2006	25.60	19.30	24.70	34.10	93.30	97.40	150.00	66.60	36.90	22.10	20.20	15.10
2007	23.10	14.20	41.60	45.30	56.20	87.90	107.00	112.00	64.10	36.90	27.50	23.80
2008	22.70	18.00	52.30	58.40	96.40	103.00	171.00	108.00	52.70	33.50	25.60	21.60
2009	21.10	26.80	22.60	36.60	84.50	157.00	118.00	74.20	55.50	29.70	19.70	20.90
2010	25.20	24.10	23.60	48.80	21.80			84.70	85.10	34.50	19.30	16.30
2011	15.30	22.90	16.10	47.50			193.00	153.00	60.60	38.10	33.00	20.40
2012	26.30	21.60	12.40	9.63	9.05	29.60	55.20	29.90	11.10	6.65	2.42	1.16
2013	2.56	1.01	1.15	20.90	30.70	51.20	120.00	67.30	44.80	29.90	21.40	11.20
2014	8.06	10.60	9.60	16.90	33.60	41.50	35.90	39.40	67.90	77.70	23.20	21.60
2015	19.20	17.70	24.40	12.70	16.00	61.10	123.00	63.00	31.70	21.60	13.50	16.60

A Vazão Média de Longo Termo para a estação (Q_{mlt}) é de 48,26 m³/s. A análise geral das séries temporais do comportamento das vazões está representada na Figura 8 em relação à Q_{mlt} . Observa-se que para os anos de 2010 e 2011, grifadas em vermelho, as vazões estão subestimadas pela ausência de informações. Estas medidas foram perdidas durante as enchentes que acometeram o município nos referidos anos.

Após as cheias ocorridas nos anos de 2010 e 2011 a região apresenta diminuição significativa na vazão média anual, indicando um período de baixas vazões a partir de 2012. Até então, as vazões anuais se apresentavam próximas ou superiores à vazão média esperada.

A Figura 9 ilustra as vazões médias mensais. Observa-se que o trimestre onde ocorrem as vazões mais altas acontece entre os meses de junho a agosto, sendo o trimestre de recessão entre os meses de novembro a janeiro do ano seguinte.

A Q_{esp} , vazão específica calculada para a estação é de 7,54 L/s/Km². A Figura 10 ilustra a curva de permanência das vazões para a estação fluviométrica de Barreiros. A probabilidade de vazão para 50%, 90% e 95%, segue: $Q_{50} = 31,2\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{90} = 12,9\text{m}^3/\text{s}$; e $Q_{95} = 8,71\text{m}^3/\text{s}$.

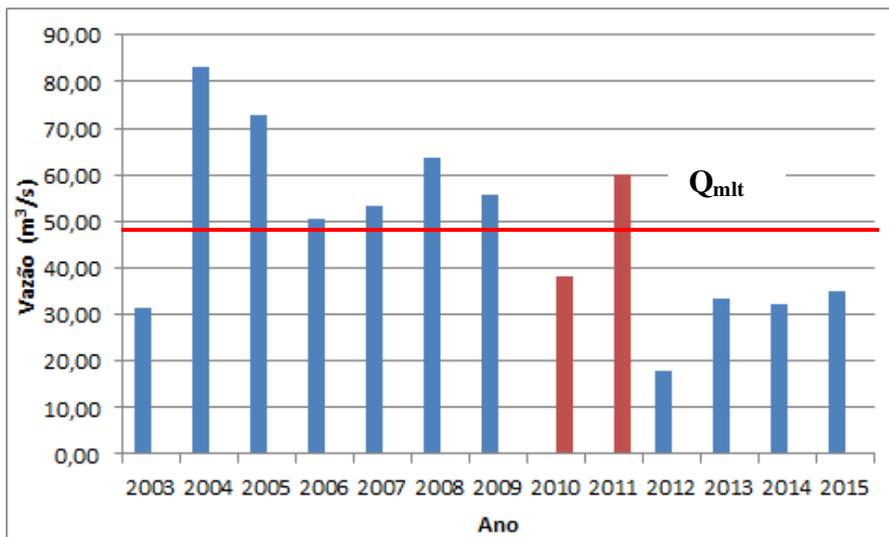


Figura 8. Média anual das vazões na estação fluviométrica Barreiros (cód. 39590000)

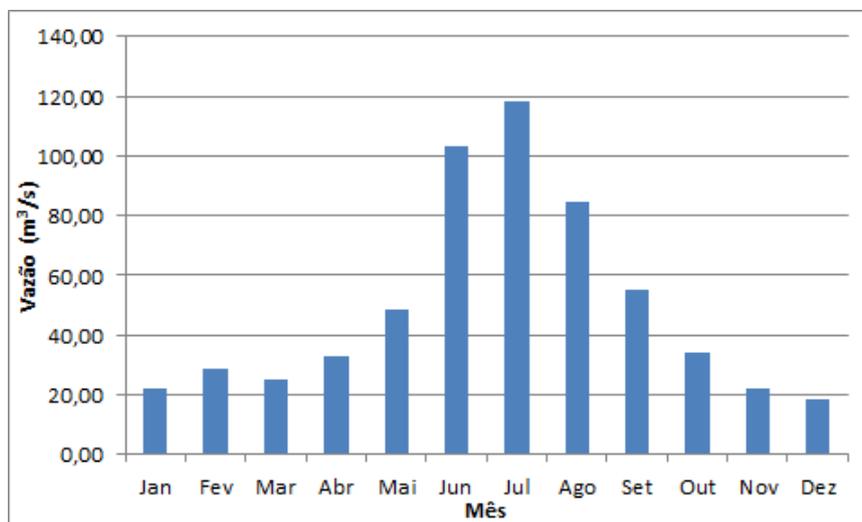


Figura 9. Vazões médias mensais na estação fluviométrica Barreiros (cód. 39590000) para o período de 2003 a 2015

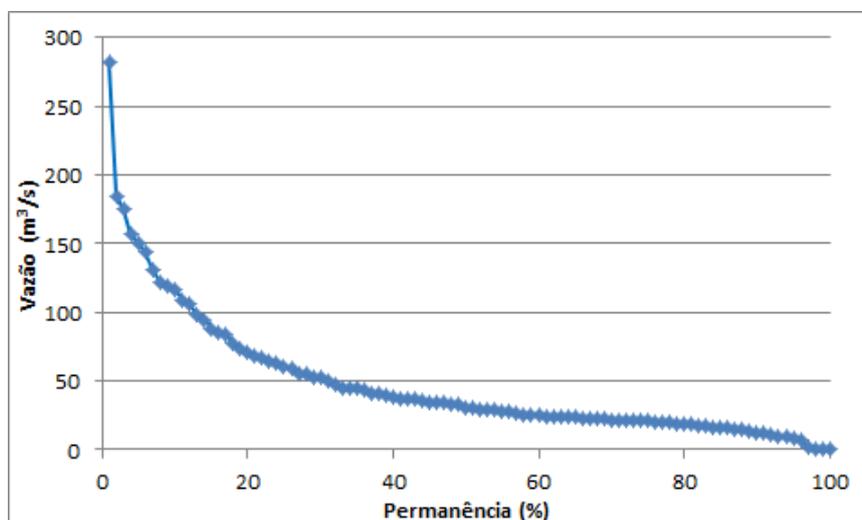


Figura 10. Curva de permanência para a estação Barreiros (cód. 39590000)

4 – CONCLUSÃO

A avaliação da curva-chave para a estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000), mostrou que uma análise pouco detalhada, baseada apenas na tendência apresentada pelas medições de descarga, pode induzir a determinação de uma curva com períodos de validade equivocados. Como consequência, as vazões geradas podem apresentar valores subestimados ou superestimados, e os erros cometidos podem não ser percebidos quando a análise é realizada individualmente.

As vazões geradas através das curvas-chave apresentadas neste trabalho mostraram que as vazões mais altas na estação ocorrem entre meses de junho e agosto. Em 38% do tempo de observação na estação o rio Una apresentou situação de escassez de água. Observa-se também que a bacia apresenta diminuição significativa na vazão média anual, indicando um período de baixas vazões a partir de 2012, comportamento atípico em relação aos anos anteriores. A probabilidade do rio apresentar a vazão média anual esperada ou superá-la é de 31%.

Conclui-se que a presença de lacunas não preenchíveis nos picos de cheia torna a série de vazão incompleta, mesmo com todo o esforço para recuperar as séries de vazões, através da elaboração de uma curva-chave bem ajustada à seção de monitoramento na estação fluviométrica de Barreiros (cód. 39590000). Dessa forma, a reconstituição das vazões apresentadas nas cheias ocorridas em 2010 e 2011, só poderá ser realizada adequadamente através do uso de modelos hidrológicos que levam em consideração a chuva que provocou a ocorrência da enchente.

5 - BIBLIOGRAFIA

Dantas, C. E. O. Previsão e Controle de Inundações em Meio Urbano com Suporte de Informações Espaciais de Alta Resolução. Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Departamento de Engenharia Civil. Recife, 2012.

Silva, J. F. R.; Farias, J. A. M.; Coelho, L. S.; & Melo, C. R. M. Revisão Histórica das Curvas-chave da Sub-bacia 36 – Estudo de Caso da Estação Jaguaribe (36320000). XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves – RS, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA, de 30 de setembro de 2011. Assunto: Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas na bacia hidrográfica do Rio Purus (sub-bacia 13).

HIDROWEB. Dados hidrológicos. Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: junho/2016.