



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **ESTUDO DA CURVA-CHAVE PARA DEFINIÇÃO DE VAZÃO DO RIO ITAPICURU-MIRIM (BA)**

*Naiah Caroline Rodrigues de Souza<sup>1</sup>; Thiago Dias Marques<sup>2</sup>; Andrea Sousa Fontes<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O rio Itapicuru-Mirim vem sofrendo pressões no atendimento às demandas, necessitando de informações consistentes de forma a fornecer subsídios para uma gestão eficiente. Entretanto os dados disponíveis estão consistidos até 2005. Considerando esse cenário, o presente trabalho objetivou avaliar a curva-chave dos postos fluviométricos localizados no rio Itapicuru-Mirim, estimando vazões para o período de 2006 a 2013 e avaliando a consistência dos dados disponíveis. As análises realizadas evidenciaram a necessidade de proposição de curva-chave por período para os postos fluviométricos. A partir da divisão de períodos nas séries de dados e da definição de equações estimou-se valores de vazão para cada cota correspondente para o período em estudo. A consistência entre os dados sugere uma boa estimativa das vazões pelas curvas-chave proposta e adequação da avaliação para o período de 2006 a 2013 para a ocorrência de cotas na faixa do ajuste da equação.

**ABSTRACT**– The Itapicuru-Mirim River comes under pressure in meeting the demands, requiring consistent information in order to provide support for efficient management. However, the consisted available data are until 2005. Considering this scenario, this study aimed to evaluate the discharge curve of flow gauge located in Itapicuru-Mirim, estimating flows for the period from 2006 to 2013 and assessing the available data consistency. The results showed the need to propose different discharge curves adjusted for each period. From the division of periods in the data series the flow values estimated for each corresponding period under study. The data consistency suggests a good estimate of the flow for proposal discharge curve and suitability of the assessment for the period 2006-2013 for the quotas in the range of the equation adjustment.

**Palavras-Chave** – Curva-chave; semiárido, consistência de dados.

1) Mestranda em Meio Ambiente, Água e Saneamento, Universidade Federal da Bahia. naih.carol@gmail.com

2) Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. tdmarquesx@hotmail.com

3) Professora Adjunto, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. andreafontes@ufrb.edu.br

## INTRODUÇÃO

A pressão sobre os recursos hídricos tem se intensificado, devido à intensa utilização e aumento das demandas desses recursos. A partir desse cenário, pode-se observar que as interferências antrópicas vêm provocando modificação nos sistemas fluviais e no seu comportamento. Para atender de modo satisfatório esse comportamento e definir a disponibilidade hídrica para atendimento aos diversos usos, as vazões dos cursos d'água devem ser monitoradas diariamente.

A medição de vazão pode ser realizada utilizando-se diferentes métodos. Pode-se proceder a medição de forma direta, com os métodos volumétricos e a partir de estruturas hidráulicas, assim como se pode também utilizar métodos indiretos, que através de estimativas definem os valores das vazões.

A medição de vazão por métodos diretos, em geral, possui custo elevado e é um processo complexo que envolve equipamento e técnicos especializados, de modo que sua utilização se torna economicamente inviável quando é um procedimento de ocorrência contínua. Já as medições realizadas por meio de estimativas, possuem menor custo em relação aos métodos diretos, sendo a vazão determinada indiretamente a partir de leituras de nível d'água e utilização de relação matemática entre cota e vazão (curva-chave da seção de rio). Essa relação é obtida a partir de campanhas de campo realizadas periodicamente para medição das variáveis hidráulicas da seção (perfil transversal, área molhada, velocidade, etc.) e calibração da curva-chave da seção. Nesse contexto torna-se importante a definição confiável dessa ferramenta que definirá a série histórica de vazão desses mananciais.

Esse cenário ainda merece mais atenção para os rios de região semiárida que apresentam características específicas quanto a dinâmica de alteração do seu perfil transversal dada a ocorrência de períodos de vazão nula seguido de vazões em respostas a chuvas concentradas em um determinado período do ano que causa alterações na morfologia da calha. Isso leva a necessidade de uma constante revisão das curvas-chave para se estabelecer valores consistentes da disponibilidade hídrica local, uma vez que a vazão não é um parâmetro influenciado apenas pelo nível de água, também está relacionado à declividade do rio e a forma da seção.

Localizado na região semiárida do Estado da Bahia, o rio Itapicuru vem sofrendo pressões no atendimento as demandas da região, acentuado pelo período de seca vivenciado nos anos de 2012 e 2013, que levou a construção de nova adutora retirando água do reservatório de Pedras Altas para auxiliar no atendimento a demandas feito com os recursos hídricos de bacia vizinha. Os estudos de disponibilidade desse rio devem então estar pautados em informações consistentes de forma a fornecer subsídios para uma gestão eficiente. Entretanto os dados disponíveis no banco de dados da

Agencia Nacional de Aguas – ANA contempla dados consistidos até 2005. Visando contribuir nesse estudo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a curva-chave dos postos fluviométricos localizados no rio Itapicuru-Mirim, propondo curva-chave para estimativa das vazões para o período de 2006 a 2013 e avaliando a consistência dos dados disponíveis.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Itapicuru está localizada na região nordeste do estado da Bahia e corresponde a cerca de 6,51% da área do mesmo, com área de 42 901,01 km<sup>2</sup>. Além disto, esta bacia abrange uma população estimada de 1.475.073 habitantes, apresentando relevante importância econômica para o estado, suprindo atividades como abastecimento humano, mineração, agropecuária e silvicultura (BAHIA, 2004)

O rio Itapicuru de acordo com SEINFRA (1999) nasce ao norte da cidade de Senhor do Bonfim, nas serras da Tiririca e do Ango, e recebe aí o nome de Itapicuru-Açu. O curso d'água se mantém como Itapicuru-Açu até a confluência com o rio Itapicuru Mirim, que possui nascente no Município de Miguel Calmon, passando então a ser chamado de Itapicuru. O seu leito principal possui uma extensão de aproximadamente 350 Km, da nascente até a foz no oceano Atlântico, e deságua no litoral norte baiano no município de Conde. A Figura 1 mostra a localização da bacia hidrográfica do rio Itapicuru no Estado, assim como a localização da barragem de Pedras Altas e estações fluviométricas utilizadas no presente estudo.

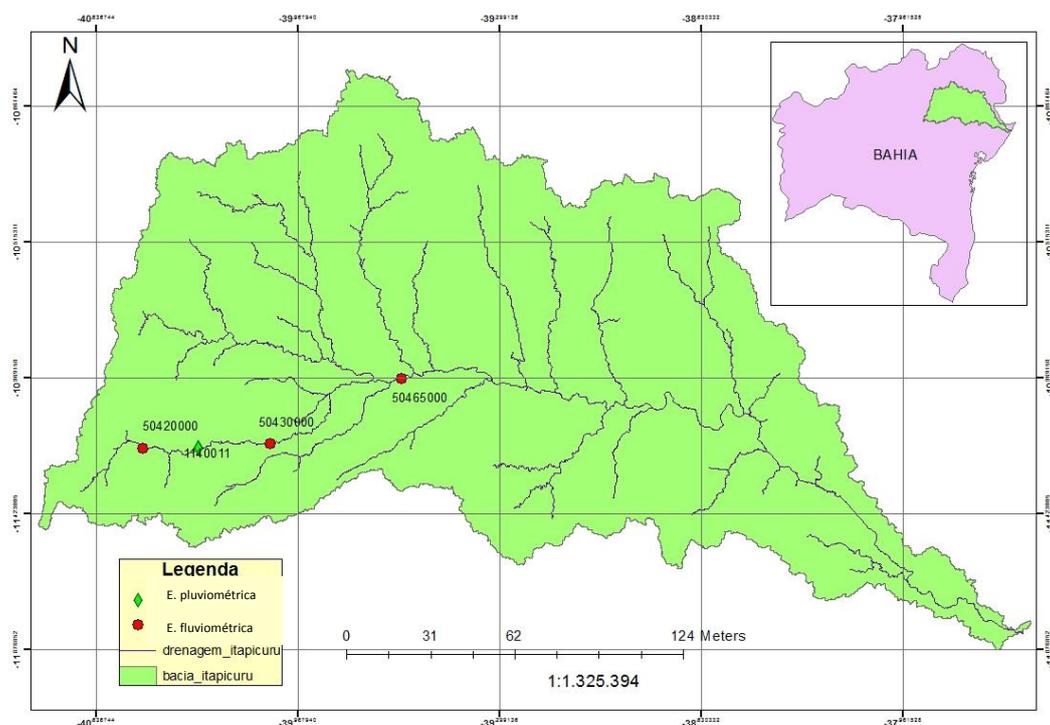


Figura 1 Bacia hidrográfica do rio Itapicuru- Localização da área de estudo

Fonte: Própria

Para as análises realizadas neste estudo foram avaliadas as estações fluviométricas 50420000 e 50430000, localizadas no rio Itapicuru-Mirim, que fornecem informações a respeito do comportamento hídrico do rio barrado pela Barragem de Pedras Altas.

A obtenção das vazões é feita pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, através de medições a vau e com barco, utilizando molinetes hidrométricos e utilizando o processo área x velocidade. No trecho do rio, onde se encontra a estação fluviométrica 50430000, há uma conformação retilínea com leito regular, com as margens do rio arenosas com alta inclinação e sem a presença de vegetação. Já a estação fluviométrica 50420000 está localizada a 6 km aquém da cidade de Jacobina, margem direita do rio com natureza arenosa e vegetação rasteira (CPRM, 2013).

## **METODOLOGIA**

A metodologia adotada para avaliar a curva-chave das Estações Fluviométricas 50420000 e 50430000 consistiu em compreendeu quatro etapas: (a) Levantamento e consistência dos dados; (b) elaboração da curva chave; (c) comparação entre os valores de vazão gerada pela curva-chave calculada e os dados disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA.

Na etapa de levantamento de dados, foram coletadas informações de série histórica de vazão, cota, perfil transversal e resumo de descarga disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Água – ANA, o Hidroweb, e em fichas de campo das estações de medição de vazão fornecidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, responsável pela medição das vazões dos rios brasileiros.

Para a análise da consistência dos dados de cota disponíveis feita a comparação entre o comportamento da variação mensal das cotas (cotagrama) observadas nos dois postos, além da comparação com os dados de precipitação da região. Essa avaliação possibilitou identificação de dados incoerentes e duvidosos, os quais foram retirados da série histórica. Complementando essa análise foi verificado o comportamento temporal do perfil transversal das seções estudadas.

De posse de séries históricas foi determinada a curva-chave buscando-se ajustar os pares de valores cota ( $h$ ) x vazão ( $Q$ ) a uma equação do tipo potencial, de acordo com a Equação 1 (CCOLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

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

Onde  $a$  e  $b$  são constantes para o posto;  $h$  é o nível d'água em m; e  $h_0$  corresponde ao valor de  $h$  para vazão igual a zero.

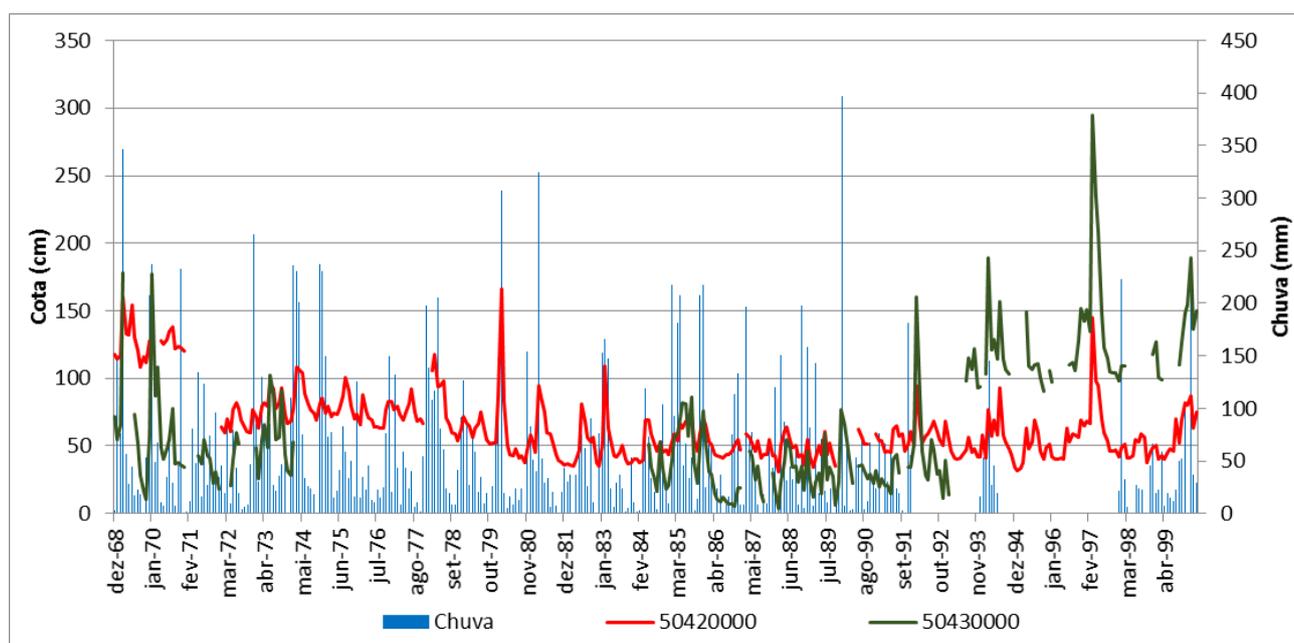
O ajuste a equação potencial foi comparado ao ajuste da equação do tipo polinomial ( $ax^2 + bx + c$ ), sendo os ajustes das equações realizados pelo método dos mínimos desvios quadrados. A definição da melhor curva foi baseada na verificação da diferença percentual entre os valores de

vazão calculados e medidos (desvio). A partir dos ajustes dos dados observado e calculados, foi verificada a necessidade de proposição de curva-chave por período.

Definidas as equações para os dois postos foi realizada comparação entre as vazões calculadas e os valores disponíveis no banco de dados da ANA para o período anterior a 2005 para avaliação das equações propostas. De posse dessa análise foi realizado o cálculo das vazões para o período de 2006 a 2013.

## RESULTADOS

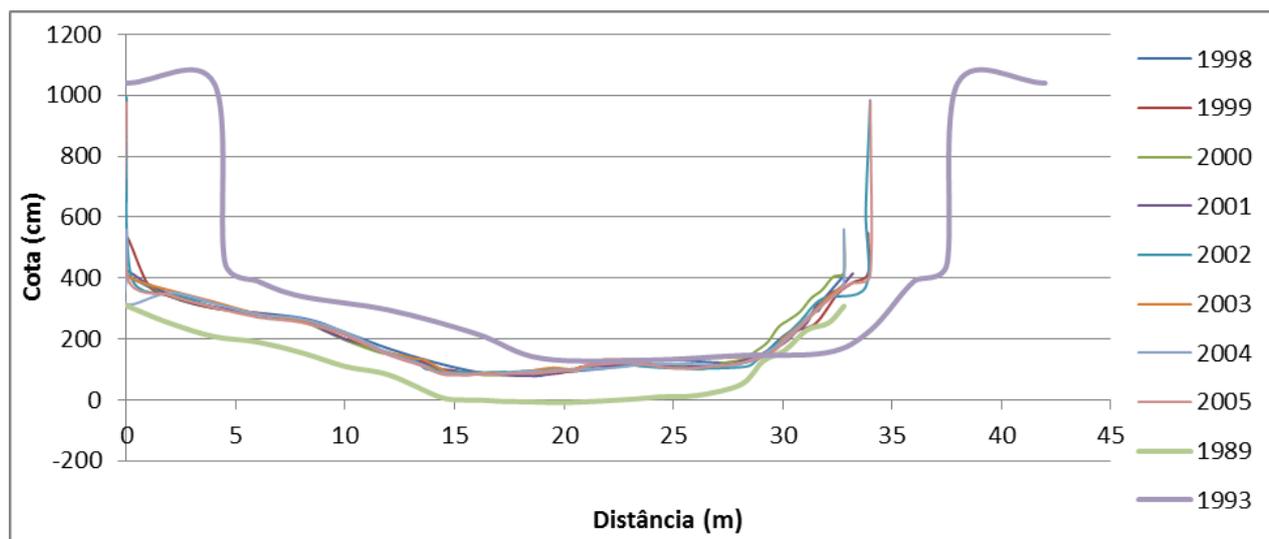
A Figura 2 apresenta o cotograma das estações em estudo evidenciando as falhas de dados existentes, assim como alteração do referencial de nível para a estação 50430000 e uma melhor disponibilidade de dados para a estação 50420000 para o período de 1968 a 2000, contemplando período antes da construção do barramento de Pedras Altas de forma comparar períodos sem influência desse aproveitamento hidráulico. Cabe observar que para essa análise valores extremos considerados duvidosos foram descartados. A comparação com a chuva do período mostra coerência dos valores observados com relação a sazonalidade do comportamento hídrico.



**Figura 2 Variabilidade sazonal das cotas nas estações fluviométricas 50420000 e 50430000 e da chuva na Estação pluviométrica 1140011**

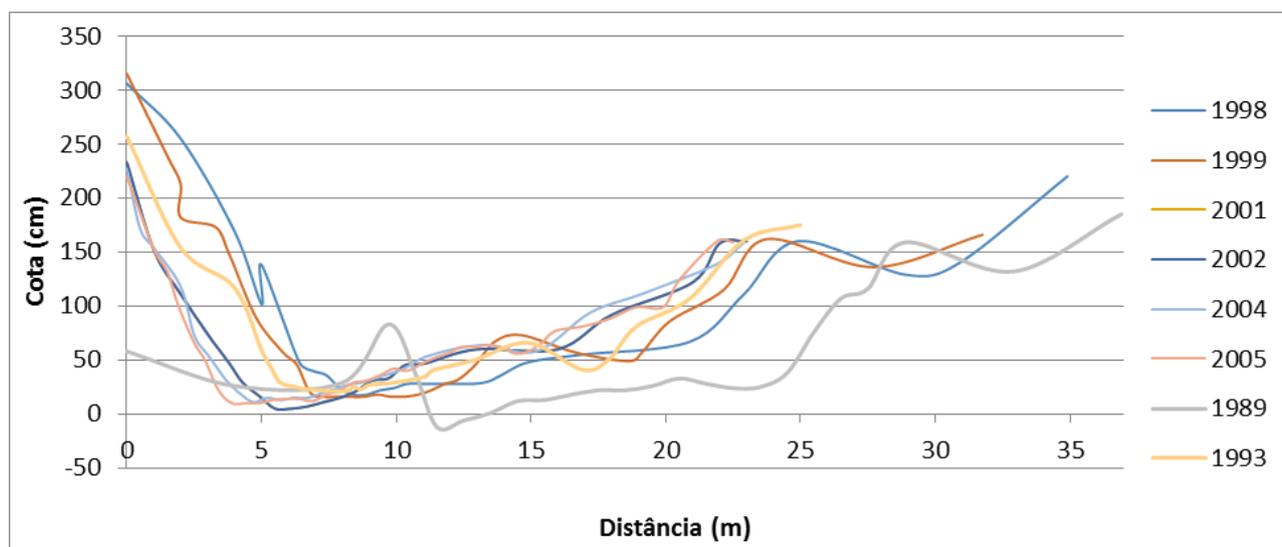
A Figura 3 apresenta o comportamento do perfil transversal do rio na estação 50430000, que revela alterações na calha do rio quando comparado o período de 1998 a 2005 para os anos de 2000, 2002 e 2003, sendo que os dados utilizados foram os classificados como consistentes disponíveis no banco de dados da ANA. Quando esse período é comparado ao anterior, ou seja com os anos de 1989 e 1993 verifica-se mudança de referência de nível confirmando o comportamento do cotograma, ressaltando que os dados referentes a esses anos referem-se a dados classificados como

brutos, devido a indisponibilidade de dado consistido para esses anos. Essas alterações refletem no cálculo da área e, conseqüentemente, na relação cota e vazão, exigindo revisão da curva-chave.



**Figura 3 Perfil transversal da estação 50430000**

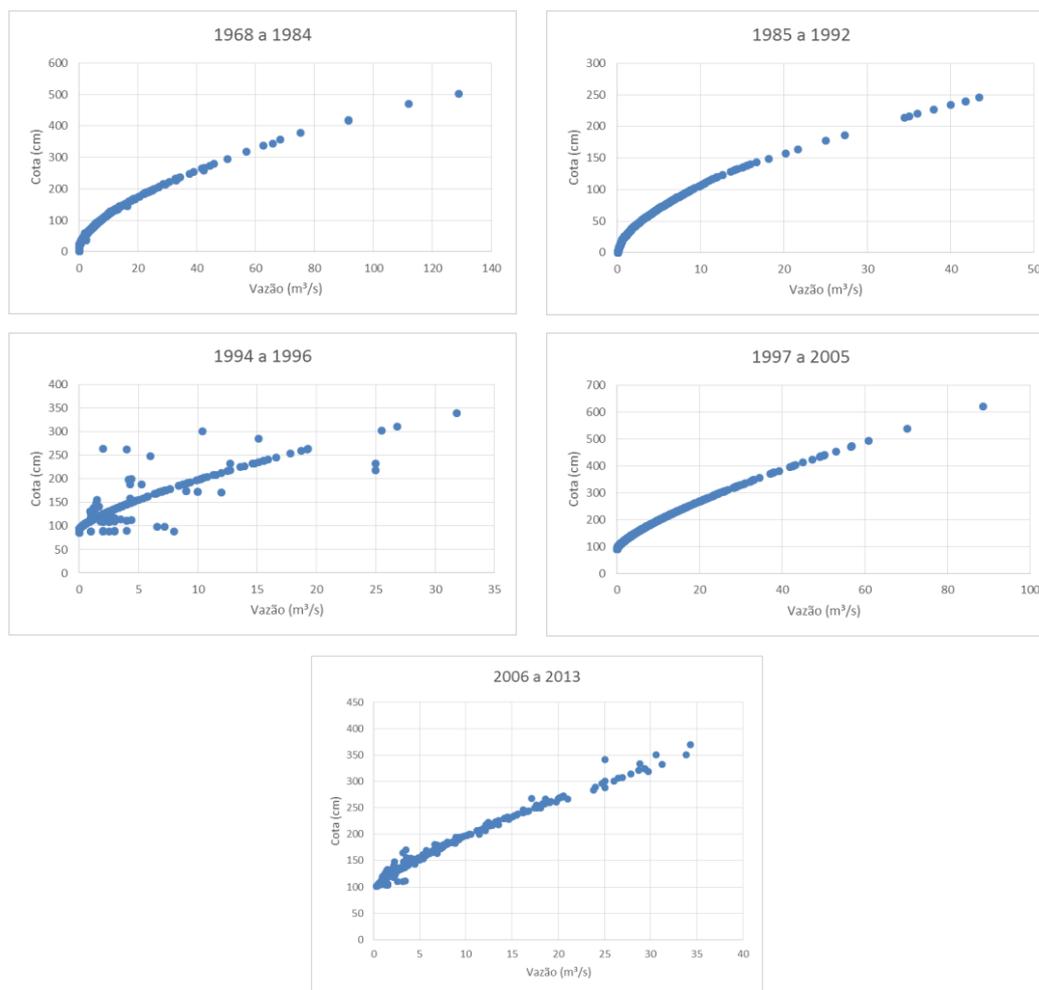
Já a estação 50420000 apresenta perfil transversal instável tanto considerando dados consistidos (1998 a 2005) como brutos (1989 e 1993), revelando necessidade de proposição de curva-chave por período. Apesar do cotograma apresentar uma maior quantidade de dados com comportamento contínuo, as características do perfil transversal devem ser avaliadas com critérios para a estimativa dos dados de vazão nessa seção. O leito do rio na estação 5043 é composto de areia e pedra, enquanto 50420000 tem natureza areno-argilosa, interferindo na estabilidade da calha frente ao regime hidrológico do semiárido.



**Figura 4 Perfil transversal da estação 50420000**

Na avaliação da série histórica diária de vazão e de cota da estação 50430000, é possível verificar a existência de três curvas-chave, abrangendo o período de 1968 a 1984, de 1985 a 1993 e 1997 a 2005, que apresentam dados consistidos. Os anos de 1994 a 1996 (dados consistidos)

apresentaram valores fora da curva, enquanto os anos de 2006 a 2013 por representarem dados brutos não apresentam curva-chave ajustada, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5 Relação entre os dados da série histórica de cota observada e vazão estimada na estação 50430000**

A mesma avaliação foi realizada para a estação 50420000, que apresentou várias equações com validade anual, refletindo as alterações verificadas no perfil transversal. Para alguns anos o ajuste não foi identificado a exemplo de 1996 e 1997, e para o período anterior a 1970. De posse dessas análises foi calculada a curva-chave específica por período.

A Tabela 1 e 2 apresentam as curvas-chave propostas por período para as duas estações avaliadas, assim como o número de medições utilizadas no ajuste (N), a faixa de validade de cada equação (cota em cm) e o desvio relativo médio com o desvio padrão (DP), obtidos pela comparação do valor de vazão medido e do calculado. As curvas ajustadas para a função potencial apresentaram menores desvios relativos para todos os períodos em relação a função polinomial ajustada. O ajuste de cada curva-chave foi finalizado a partir da verificação do desvio relativo com valor variando em +/- 10, sendo que para algumas medições esse valor não foi atingindo sendo aceito essa faixa para o valor médio encontrado para o período analisado.

Cabe observar que os perfis transversais do período de 2006 a 2013 para as duas estações apresentaram características de calha instável, sendo que essa avaliação orientou a divisão do período para o estabelecimento das curvas-chave.

**Tabela 1 - Curvas-chave propostas por período para a estação 50420000 para os anos de 1985 a 2013**

50420000		Função Potencial						Função Polinomial					
Período	Cota (cm)	N	a	B	h <sub>o</sub>	Desvio relativo médio	DP	a	b	c	R2	Desvio relativo médio	DP
1985 a 1987	30 - 131	17	0.00630	1,66940	30	-4,420	35,433	0,0073	-0,4315	7,5875	0,998	33,617	20,484
1988 e 1989	27 - 63	6	0.00861	1,62104	27	-0,325	8,767	-8,00E-05	0,0989	-3,1599	0,957	-0,254	8,721
1990 a 1993	27 - 83	15	0.00003	2,92839	27	-0,853	13,254	0,0037	-0,3533	8,5696	0,994	-53,270	97,120
1994 a 1995	25 - 109	13	0.00044	2,11136	25	-3,077	31,360	0,0008	-0,0402	0,5185	0,999	-34,686	46,971
1996	37 - 111	8	0.00197	1,94293	37,2	-0,037	-0,292	0,0015	-0,1075	1,918	1	-7,595	9,011
1997	34 - 78	9	0.00512	1,69311	34	-0,190	6,453	0,001	-0,0409	0,0673	0,996	8,475	7,662
1998 e 1999	20 - 65	16	0.00043	1,85054	20	-21,459	94,938	9,00E-05	0,0065	-0,2774	0,553	435,330	382,683
2000 a 2005	20 - 91	29	0.00006	2,64657	20	-9,913	54,582	0,0014	-0,0913	1,6858	0,912	-40,857	73,714
2006 a 2009	25 - 65	12	0.00301	1,73510	25	-0,885	14,421	0,0009	-0,033	0,2323	0,954	-7,083	15,216
2010 a 2013	24 - 74	16	0.00197	1,79732	24	-1,402	17,997	0,001	-0,0556	0,8125	0,976	13,994	21,832

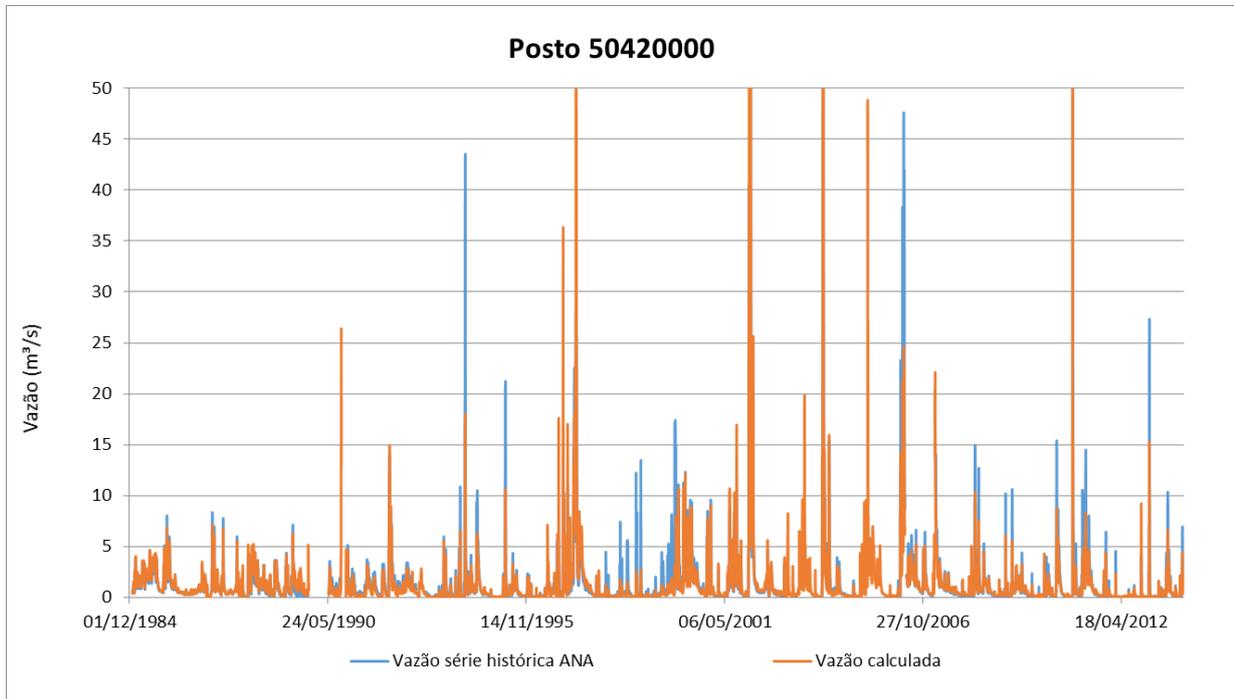
**Tabela 2 - Curvas-chave propostas por período para a estação 50430000 para os anos de 1985 a 2012**

50430000		Função Potencial						Função Polinomial					
Período	Cota (cm)	N	a	B	h <sub>o</sub>	Desvio relativo médio	DP	a	b	c	R2	Desvio relativo médio	DP
1985 a 1992	1 - 80	25	0,0251	1,2283	1,2	-1,677	19,328	5,00E-05	0,0677	-0,4013	0,947	-4,464	22,193
1994 a 1996	91 - 163	16	0,0102	1,478	91	-3,153	29,32	4,00E-04	-0,0148	-2,1277	0,995	-37,425	56,8
1997 a 2005	94 - 347	49	0,0058	1,572	94	8,423	33,27	0,0004	-0,0286	-0,918	0,989	-38,651	82,12
2006 a 2008	104 - 138	7	0,0557	1,163	104	-3,671	30,74	7,00E-05	0,1241	-12,379	0,938	-4,951	35,59
2009 a 2012	99 - 141	21	0,0107	1,299	99	-8,769	45,81	0,0007	-0,1348	6,7729	0,891	-109,4	186,4

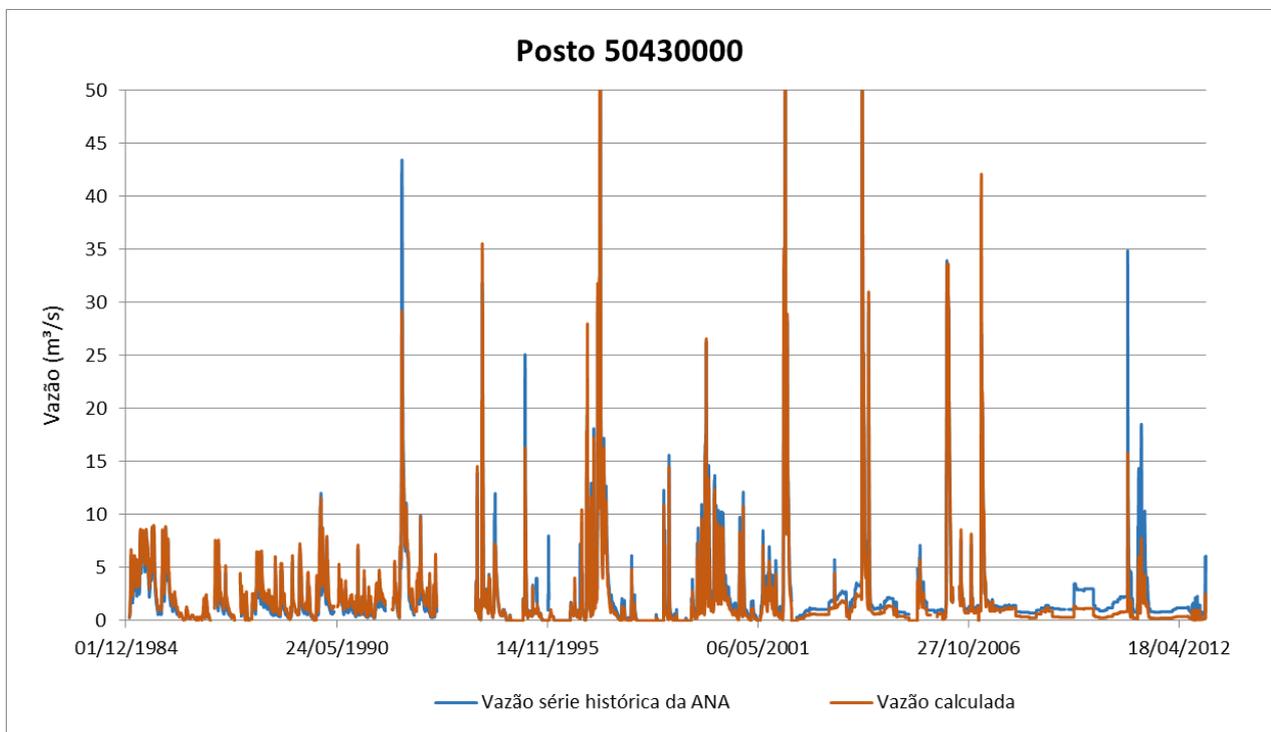
As Figuras 6 e 7 apresentam a comparação entre a vazão estimada com as curvas-chave propostas e a série histórica disponível no banco de dados da ANA. Para melhor visualização das vazões menores a escala do eixo vertical foi limitada em 50 m<sup>3</sup>/s, entretanto valores das duas séries chegaram a atingir 400 m<sup>3</sup>/s (50420000) e 100 m<sup>3</sup>/s (50430000). Para alguns períodos foi possível estimar as vazões em períodos que não apresentavam valores na série histórica da ANA.

Cabe ressaltar que a curva-chave proposta não estima adequadamente valores de vazões máximas por apresentar cotas fora da faixa do ajuste, tanto na série histórica da ANA como na vazão calculada, a exemplo do que acontece no mês de janeiro de 2002 para a estação 50420000

que apresentou vazões calculadas superiores e 300 m<sup>3</sup>/s por erro de extrapolação. A cota de transbordamento dessa seção é 170 com e nesse período a cota observada ultrapassa o valor de 200. Na estação 5043000 esse erro também foi verificado.



**Figura 6** Comparação entre a vazão estimada com as curvas-chave propostas e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50420000



**Figura 7** Comparação entre a vazão estimada com as curvas-chave propostas e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50430000

Para a estação 50420000 os anos de 1998 e 1999, que apresentaram o pior ajuste da análise com desvio médio fora da faixa do aceitável, tiveram os valores calculados subestimado em relação a série histórica disponível, devendo ser melhor avaliado. Para a estação 50430000, quando comparado os valores estimados com os valores obtidos na campanha de medição, verifica-se que os dados brutos do período de 2006 a 2012, superestima as vazões sendo necessária a consistência dos dados realizada.

## **CONCLUSÃO**

Diante dos dados de vazão analisados disponíveis para o rio Itapicuru-mirim, conclui-se que o estudo da consistência dos dados disponíveis possibilita um melhor conhecimento da qualidade dos dados disponíveis e da dificuldade em representar o comportamento de rios do semiárido com significativa alteração do perfil transversal. Verificou-se a necessidade de definição de curva-chave por período, resultado dessa instabilidade da calha do rio, o que dificulta a estimativa da vazão e exige revisão periódica dessa ferramenta.

A consistência entre os dados sugere uma boa estimativa das vazões pelas curvas-chave proposta, e adequação da avaliação para o período de 2006 a 2013 para a ocorrência de cotas na faixa do ajuste.

O estudo está em desenvolvimento, sendo necessária a continuidade da avaliação das curvas-chave proposta para definição de método de extrapolação das vazões máximas.

## **BIBLIOGRAFIA**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). In: Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 05 de maio de 2014.

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2013.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Ficha Descritiva de Estação em Curso da Água. 2013

BAHIA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia - PERH. Relatório síntese, Rel. Téc., Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, Salvador-Bahia. 2004;

CRUZ, G. R. Simulação da sazonalidade natural do rio Itapicuru. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas. 2013;

SEINFRA/SRH (1999). Bacia do alto médio Itapicuru. Projeto Ponto Novo. Barragem, sistema integrado de abastecimento de água, irrigação. Salvador.