

REVISÃO HISTÓRICA DAS CURVAS-CHAVE DA SUB-BACIA 36 – ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO JAGUARIBE (36320000)

José Francisco Rêgo e Silva^{1*}; *José Alexandre Moreira Farias*²; *Luiz da Silva Coelho*³; &
*Cristiane Ribeiro de Melo*⁴

RESUMO --- O presente trabalho apresenta uma revisão histórica das curvas-chave da estação Jaguaribe (36320000), localizada no rio Jaguaribe a montante do açude Castanhão, desde a sua implantação em outubro de 1977 até dezembro de 2010. A verificação e validação das curvas-chave foram elaboradas a partir de campanhas de medição de vazões pela equipe de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM / Serviço Geológico do Brasil – SGB, lotados na Residência de Fortaleza - REFO.

Palavras-chave: Curva-chave, Sub-bacia 36 e estação Jaguaribe (36320000).

HISTORICAL REVIEW OF RATING CURVES OF SUB-BASIN 36 - CASE STUDY STATION HYDROMETRIC JAGUARIBE (36320000)

ABSTRACT --- This paper presents a historical review of rating curves to Jaguaribe station hydrometric (36320000), located in the Jaguaribe river upstream of the Castanhão dam, since its implementation in October 1977 through December 2010. Verification and validation of rating curves were prepared from the periodic measurements of the discharge by the team of Residência de Fortaleza – REFO, of the Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM / Serviço Geológico do Brasil – SGB.

¹ Pesquisador em Geociências. CPRM. Rua Antônio Sales 1.418, 60.135-101. Fortaleza-CE. E-mail: jose.francisco@cprm.gov.br

² Pesquisador em Geociências. CPRM. Rua Antônio Sales 1.418, 60.135-101. Fortaleza-CE. E-mail: jose.alexandre@cprm.gov.br

³ Pesquisador em Geociências. CPRM. Rua Antônio Sales 1.418, 60.135-101. Fortaleza-CE. E-mail: luiz.coelho@cprm.gov.br

⁴ Pesquisadora em Geociências. CPRM. Avenida Sul 2.291, 50.770-011. Recife-PE. E-mail: cristiane.melo@cprm.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento hidrológico é fundamental para a adequada gestão dos recursos hídricos, considerando seus múltiplos usos e influenciando diretamente no racional dimensionamento das obras hidráulicas.

Todavia, sabe-se que dados hidrometeorológicos coletados em campo estão sujeitos a incorreções diversas, sejam elas erros de leituras, transcrições ou falhas, compondo o que se denomina de séries brutas de dados. Assim sendo, tais séries históricas de dados brutos não se encontram adequadas para utilização imediata, sendo necessário submetê-las a análises de consistência, objetivando tanto depurar e corrigir erros, como realizar o preenchimento de falhas.

Dentre as séries de dados hidrometeorológicos, já consistidos, os dados das vazões escoadas nos principais rios brasileiros são de grande procura no meio técnico-científico, uma vez que balizam de forma substancial projetos de engenharia de diversas áreas.

Para tanto, 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 ajustada a uma seção de monitoramento em um rio é uma tarefa que demanda tempo e esforços, uma vez que há a necessidade de se realizar várias campanhas de medição de vazões na seção de monitoramento, ao longo de um ano hidrológico, obtendo pares ordenados Cota x Vazão tanto no período de cheias, como no período de estiagem.

A partir destes pares ordenados, podem-se ajustar equações, geralmente do tipo potência, linear, parabólica ou cúbica, cuja validade está, muitas vezes, restrita àquele ano hidrológico quando foram realizadas a campanhas de medição de vazões. Assim, para continuar dando validade a estas curvas-chaves, faz-se necessário um contínuo trabalho de realização de novas campanhas de medição de vazões, nos anos hidrológicos posteriores, em decorrência de possíveis mudanças geométricas na seção de monitoramento fluvial, o que acarreta em ajustes na equação da curva-chave estabelecida no ano anterior.

Este trabalho apresenta uma revisão histórica das curvas-chave da estação Jaguaribe (36320000), desde a sua implantação em outubro de 1977 até dezembro de 2010. Estação localizada no rio Jaguaribe entre as barragens de Orós e Castanhão, monitora os escoamentos superficiais do alto e médio Jaguaribe e da bacia do rio Salgado.

A sub-bacia 36-Bacia do rio Jaguaribe ocupa a parte meridional e oriental do Estado do Ceará, drena uma área de aproximadamente 75.660 km² correspondente a 51,9% do território cearense.

2. METODOLOGIA

A determinação das curvas-chave foi feita buscando-se ajustar os pares de valores cota (h) x vazão (Q) a uma equação do tipo potencial, uma das formas mais utilizadas para representar a relação nível x descarga, segundo Jaccon e Cudo (1989). A equação potencial é dada pela seguinte equação:

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

em que:

Q é vazão em m³/s;

h é o nível d'água em m (leitura na régua);

a, n e h₀ são constantes para o posto, a serem determinados;

h₀ corresponde ao valor de h para vazão Q = 0 (zero).

Em condições de fluxo permanente, os coeficientes da equação potencial refletem as condições físicas da estação sendo que a e h_0 são, respectivamente, medidas da rugosidade/declividade e geometria da seção e o expoente n é uma medida da geometria da seção (India, 1999).

Para a obtenção dos parâmetros das equações das curvas-chave empregou-se, como ferramenta computacional, o Solver do Excel (Microsoft). Para tanto foi elaborada uma planilha, onde a vazão calculada é obtida a partir dos valores de a , h_0 e n , segundo a expressão da equação potencial (Equação (1)).

Nesta planilha os parâmetros da equação potencial 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. Esse processo é iniciado definindo-se valores aleatórios para a e n e o valor inicial de h_0 estimado pela cota na qual o rio corta (sem escoamento superficial).

Três critérios foram utilizados para avaliar a acurácia do ajuste da curva-chave às medições, são eles:

Distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus cota, o que indicaria igual distribuição de pontos nos dois lados da curva.

Distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus tempo.

Valor do desvio médio das medições em relação à curva-chave traçada, tolerando-se um desvio máximo de 20%.

O conceito de desvio no presente trabalho é dado pela diferença percentual entre os valores de vazão calculados e medidos, conforme a expressão:

$$Desvio(\%) = \left(\frac{Q_{calc} - Q_{med}}{Q_{med}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

onde Q_{calc} é a vazão calculada e Q_{med} é a vazão medida.

Com base nos desvios obtidos nos ajustes de curvas-chave, foram construídos os gráficos Desvio x Tempo e Desvio x Cota.

A dispersão dos pontos no gráfico Desvio x Tempo possibilita a análise dos desvios de cada medição, sejam negativos ou positivos, em relação à curva-chave proposta e ainda mostra onde há possíveis mudanças graduais ou bruscas de períodos, indicativos de uma possível tendenciosidade da curva analisada e, por consequência, da necessidade de revisão da curva em análise. O gráfico Desvio x Tempo auxilia, portanto, numa análise preliminar, a identificação dos períodos que definirão a curva-chave.

No gráfico Desvio x Cota é possível observar o grau de ajuste da curva às medições, com base na identificação de uma dispersão equitativa dos desvios positivos e negativos em relação às cotas. Além disso, esse gráfico permite verificar, em termos percentuais, os desvios das medições em relação aos níveis da água na estação fluviométrica.

3. RESULTADOS

A complexidade na elaboração das curvas-chave da estação Jaguaribe (36320000) advém dos distintos regimes hídricos monitorados por esta estação.

Podem-se agregar estes regimes hídricos em três áreas: uma área de contribuição relativamente pequena, parte integrante do Médio Jaguaribe, cujo regime das chuvas se encontra na média regional; uma segunda área representada por toda a bacia hidrográfica do rio Salgado e que é o principal tributário a este rio pela sua margem direita, bem como apresenta um regime hidrológico diferenciado no Estado do Ceará,

decorrente dos aportes que recebe da Chapada do Cariri, onde as médias pluviométricas facilmente superam os 1.000 mm anuais; por fim, uma terceira área denominada de Alto Jaguaribe que, além de apresentar um dos regimes mais desfavoráveis do Estado do Ceará, em decorrência da presença do Sertão dos Inhamuns (com média pluviométrica anual abaixo dos 600/700 mm anuais), encontra-se totalmente controlada pela presença do açude Orós, que apresenta a segunda maior capacidade de acumulação hídrica do Estado do Ceará com 2.100 hm³.

Com relação a esta última área (Alto Jaguaribe), controlada pelo açude Orós, existe um fator extra que aumenta a complexidade na obtenção das curvas-chave na estação fluviométrica de Jaguaribe. O referido açude apresenta duas formas de liberar vazões que são monitoradas por esta estação, quais sejam: durante todo o período de estiagens um sistema hidráulico composto por válvula dispersora libera vazões necessárias para perenizar todo o trecho do rio Jaguaribe entre os açudes Orós e Castanhão; já na época da quadra chuvosa, casos os aportes afluentes ao açude Orós permitam que este atinja sua capacidade máxima de acumulação e verta, estas efluências passam a computar, também, as vazões monitoradas pela estação fluviométrica de Jaguaribe.

A seção transversal da estação é de mais de 300m, mas na maior parte do tempo o rio encontra-se com largura inferior a 100 m, proporcionando varias mudanças na equação da curva-chave ao longo do tempo. A Figura 1 apresenta o desenho das seções transversais da estação Jaguaribe.

As equações são apresentadas na Tabela 1 e a Figura 2 ilustra as curvas traçadas para a estação, onde se observa que não houve extrapolação de curva-chave já que a maior cota com medição de descarga líquida (734 cm) é muito próxima da cota máxima válida para estas curvas (760 cm).

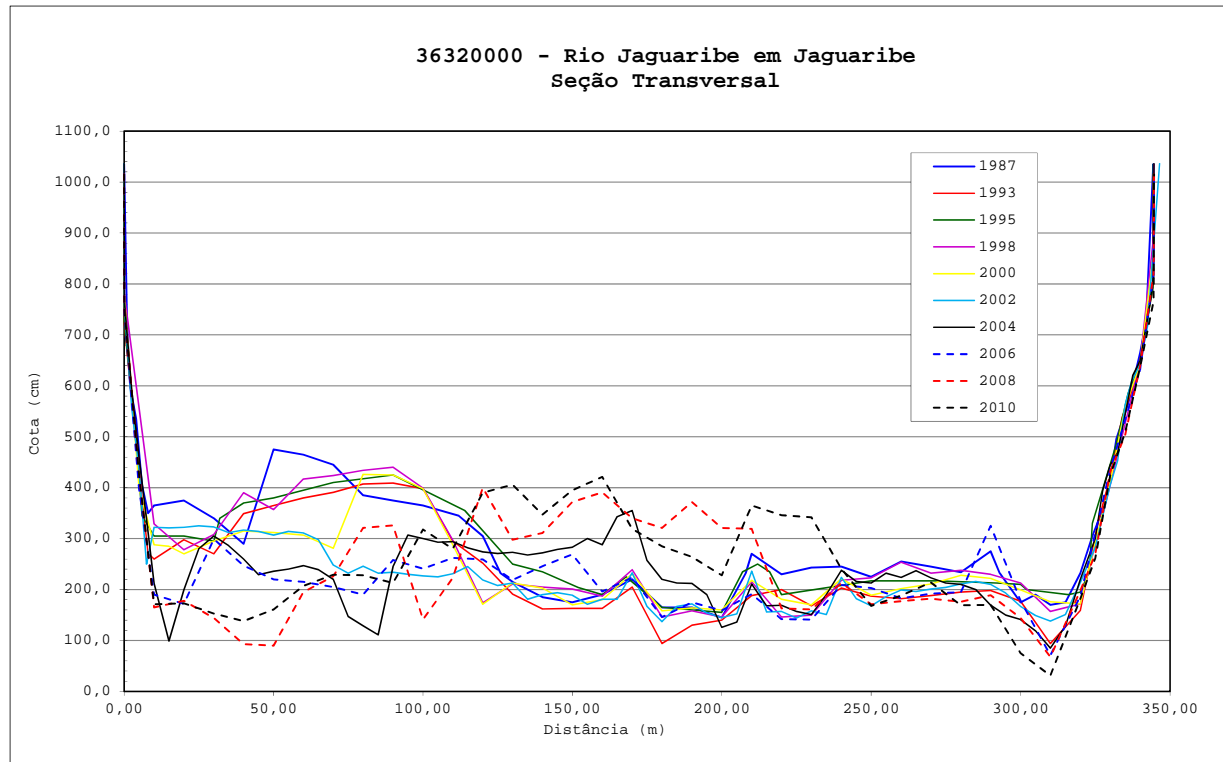


Figura 1 – Seções Transversais traçadas para a estação de Jaguaribe (36320000).

Tabela 1 - Curvas-chave traçadas para a estação de Jaguaribe (36320000).

Curvas-Chave – $Q = a (h - h_0)^n$						
Período de validade das curvas-chave					26/10/1977 a 31/12/2010	
Validade	Tipo de Curva	Parâmetros			Amplitude (cm)	Número da curva
		a	H ₀	n		
26/10/77 a 13/03/82	Potência	45,80	1,54	2,2300	160 a 392	01
	Potência	25,95	1,40	2,7055	393 a 720	
14/03/82 a 21/04/86	Potência	46,50	1,70	2,2609	170 a 364	02
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
22/04/86 a 21/01/94	Potência	66,50	1,93	2,2250	200 a 332	03
	Potência	46,50	1,70	2,2609	333 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
22/01/94 a 27/01/97	Potência	58,40	1,83	2,2900	180 a 302	04
	Potência	46,50	1,70	2,2609	303 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
28/01/97 a 02/03/98	Potência	46,50	1,70	2,2609	170 a 364	05
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
03/03/98 a 21/03/99	Potência	53,30	1,78	2,3300	180 a 296	06
	Potência	46,50	1,70	2,2609	297 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
22/03/99 a 07/02/04	Potência	46,50	1,70	2,2609	170 a 364	07
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
08/02/04 a 02/05/06	Potência	51,70	1,75	2,2950	180 a 278	08
	Potência	46,50	1,70	2,2609	279 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
03/05/06 a 27/03/08	Potência	53,30	1,78	2,3300	180 a 296	09
	Potência	46,50	1,70	2,2609	297 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
28/03/08 a 11/05/09	Potência	58,40	1,83	2,2900	180 a 302	10
	Potência	46,50	1,70	2,2609	303 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
12/05/09 a 25/10/10	Potência	51,70	1,75	2,2950	180 a 278	11
	Potência	46,50	1,70	2,2609	279 a 364	
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	
26/10/10 a 31/12/10	Potência	46,50	1,70	2,2609	170 a 364	12
	Potência	45,00	1,79	2,4870	365 a 760	

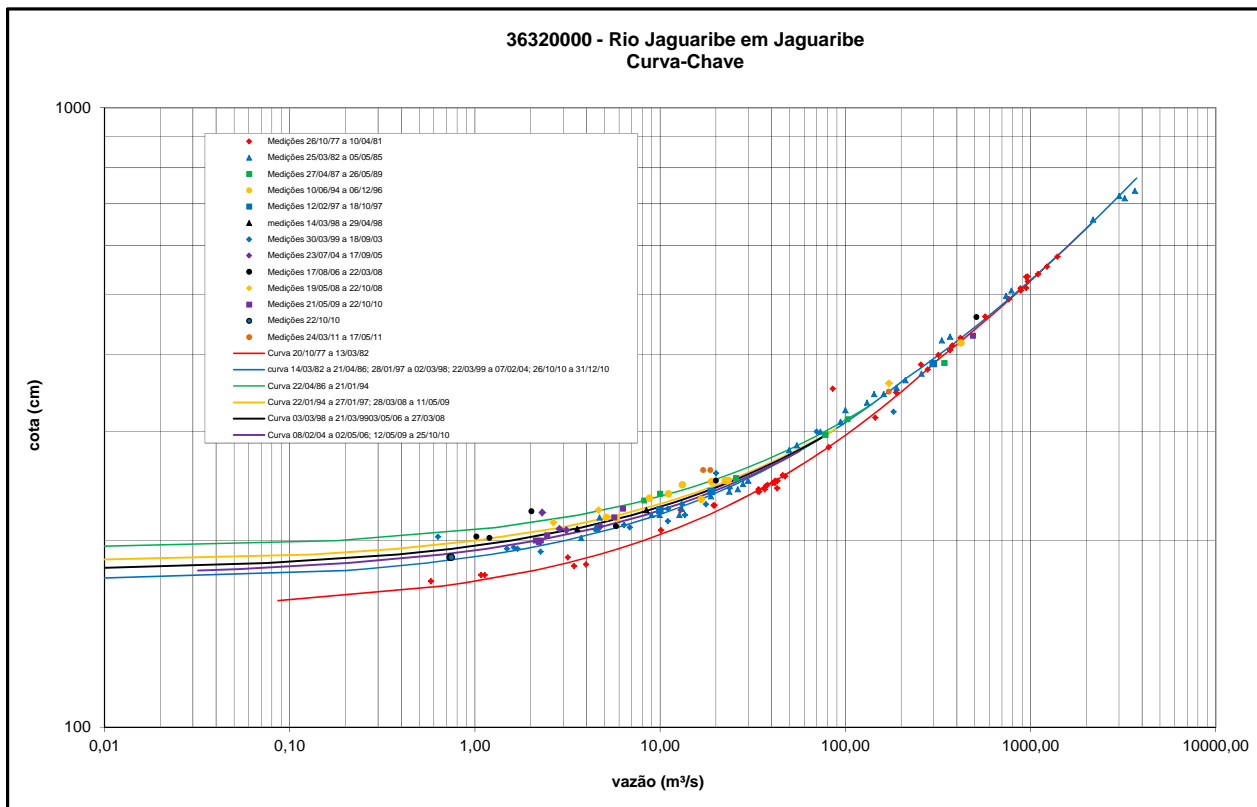


Figura 2 – Curvas-chave traçadas para a estação de Jaguaribe (36320000).

A Figura 3 apresenta uma fotografia da seção transversal da estação Jaguaribe (36320000).



Figura 3 – Seção de régua da estação de Jaguaribe (36320000).

Os desvios associados as curva-chave traçadas são consequência da variação contínua da curva ao longo do tempo, em vez de uma variação pontual numa determinada data. Neste caso, as curvas apresentadas fornecem valores médios para os respectivos períodos de validade. Na Figura 4 observa-se uma distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus tempo e desvio versus cota.

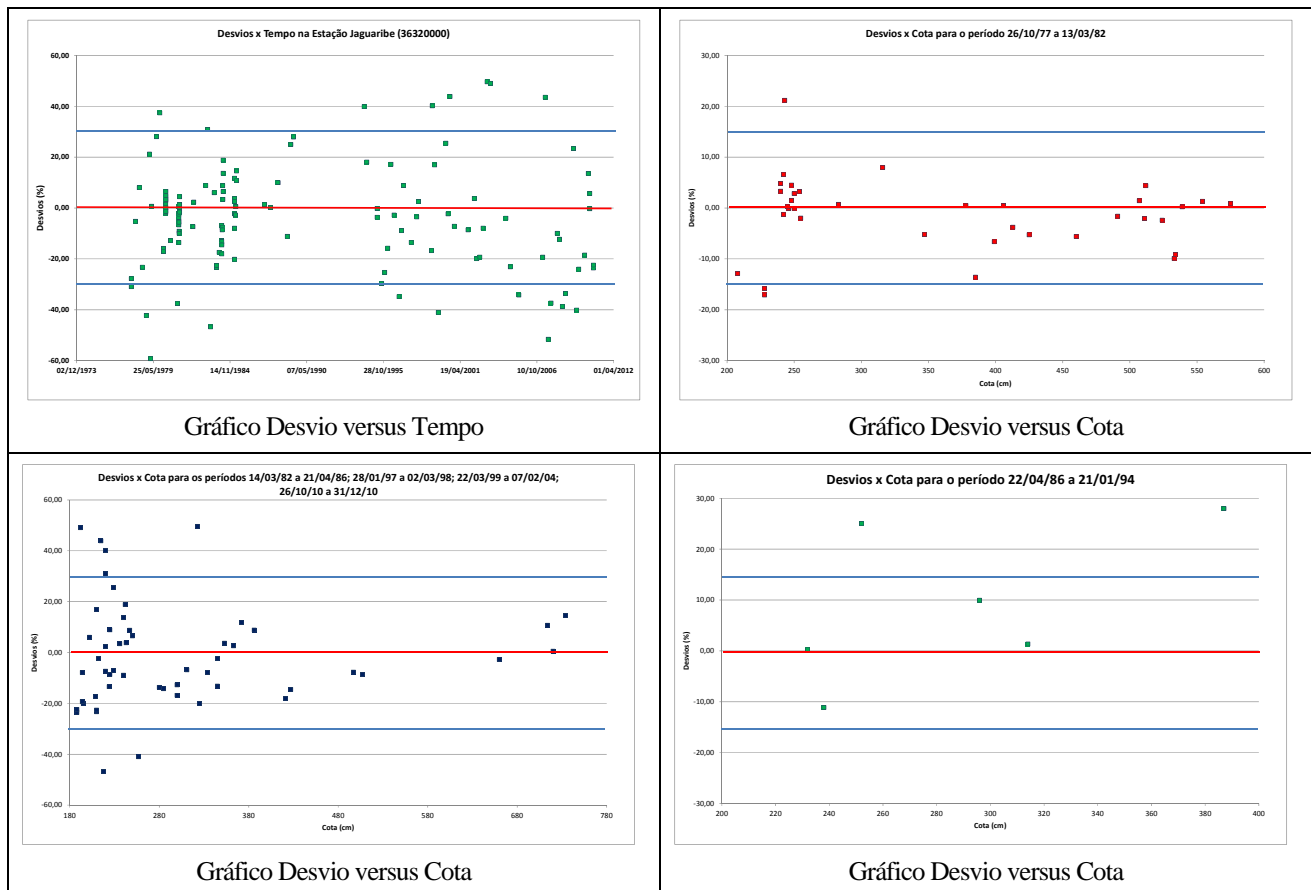


Figura 4 - Gráficos de desvio versus tempo e desvio versus cota referente às curvas-chave traçadas para a estação de Jaguaribe (36320000)

4. CONCLUSÕES

A estação de Jaguaribe (36320000) apresenta uma grande mobilidade nas curvas nos ramos inferior e médio. Isto se deve ao solo arenoso na seção, bem como ao fato do rio ocupar menos de um terço da sua seção transversal na maior parte do tempo.

Observamos que o ramo inferior da curva-chave apresenta um movimento cíclico, isto é, o H_0 oscilou entre 1,54 e 1,93m ao longo do período em estudo. O assoreamento que ocorre na seção de régua vai elevando o valor do H_0 da equação da curva-chave, mas quando ocorre uma cheia o sedimento que estava depositado no leito do rio é retirado, retornando desta forma o H_0 para um valor mais baixo.

Esta constante modificação do leito do rio Jaguaribe, dificulta o traçado de curvas que ofereçam desvios satisfatórios em cotas baixas. Permitindo apenas que as curvas-chave traçadas fornecem valores médios que melhor represente as vazões em tais cotas.

Outra consequência da instabilidade do leito é a curta validade das equações, no trecho inferior das curvas. Em cotas mais altas a estabilidade é maior e a qualidade dos desvios em relação à curva traçada mais satisfatória. Consequentemente, as vazões geradas em cotas altas representam melhor a realidade do que as medições em cotas baixas.

REFERÊNCIAS

a) Livro

- CPRM/DNAEE. Projeto Análise de Consistência de Dados Fluviométricos – Bacias do Atlântico Norte/ Nordeste – Relatório Técnico Parcial Sub-Bacia 36. Fortaleza, 1995.
- CPRM/DNAEE. Projeto Análise de Consistência de Dados Fluviométricos – Bacias do Atlântico Norte/Nordeste – Relatório Técnico Parcial Sub-Bacia 36. – Atualização. Fortaleza, 1997.
- CPRM. Estudos de Consistência de Dados Fluviométricos das Bacias Hidrográficas Brasileiras – Bacia do rio Jaguaribe – Sub-bacia 36 – Relatório Técnico. Fortaleza, 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Boletim Fluviométrico – Série F-3.01 – Bacia do Atlântico Norte-Nordeste. Brasília, 1980.
- JACCON, G. (1989). Curva-chave: análise e traçado. DNAEE Brasília.
- NERC - NATURAL ENVIROMENT RESEARCH COUNCIL. (1975). Floods studies report, London.V.1 2 V2.
- Tavares, J. C., Et al. (2004). Diretrizes para análise de dados hidrométricos e normas para identificação de correções e preenchimento de falhas. CPRM, Divisão de Editoração Geral. Rio de Janeiro.
- TUCCI, C. E. M. (1993). Hidrologia, Ciência e Aplicação. ABRH, Editora da Universidade - UFRGS. Porto alegre.
- TUCCI, C. E. M. (2000). Regionalização das Vazões. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL – IPH – UFRGS. Porto alegre.