

## VERIFICAÇÃO DE CURVA-CHAVE PELA FÓRMULA DE CHEZY

José Francisco Rêgo e Silva<sup>(1)</sup>; José Alexandre Moreira Farias<sup>(2)</sup>; & Luiz da Silva Coelho<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Serviço Geológico do Brasil, [jose.francisco@cprm.gov.br](mailto:jose.francisco@cprm.gov.br)

<sup>(2)</sup> Serviço Geológico do Brasil, [jose.alexandre@cprm.gov.br](mailto:jose.alexandre@cprm.gov.br)

<sup>(3)</sup> Serviço Geológico do Brasil, [luiz.coelho@cprm.gov.br](mailto:luiz.coelho@cprm.gov.br)

**RESUMO** --- O presente trabalho apresenta a utilização da fórmula hidráulica de Chezy na verificação e validação de curvas-chaves elaboradas a partir de campanhas de medição de vazões e da extrapolação destas curvas-chaves além dos níveis d'água medidos pela equipe de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM / Serviço Geológico do Brasil – SGB, lotados na Residência de Fortaleza - REFO. Para isto, utilizaram-se os dados da Estação Fluviométrica Melancia (35571000), localizada no Rio Curu, no Estado do Ceará.

**ABSTRACT** --- The following work allow us the use of the Chezy formula in the verification and validation of the rating curve elaborated from the periodic measurements of the discharge and the extrapolation of those rating curve and also the level of the water measured by the team of Residência de Fortaleza – REFO, of Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM / Serviço Geológico do Brasil – SGB. For that purpose, it's used data from the Melancia Station Hydrometric (35571000), at the River Curu, at State of Ceará.

**Palavras-chave:** Curva-chave, medição de vazão, equação de Chezy.

## 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.

Neste sentido, a CPRM – Serviço Geológico do Brasil há mais de 04 décadas, através do seu Departamento de Hidrologia, se dedica à operação da rede Hidrometeorológica Nacional, dando manutenção e continuidade às séries históricas de dados hidrometeorológicos no território brasileiro, coletando e dispondo para a sociedade uma significativa quantidade de dados com a qualidade esperada.

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, tarefa esta desempenhada com eficiência pelos técnicos do Departamento de Hidrologia da CPRM, lotados nas várias unidades da Empresa, espalhadas pelo território nacional.

Dentre as séries de dados hidrometeorológicos, já consistidos, disponibilizados pela CPRM, 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 as 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.

Observa-se, desta forma, que numa rede composta por várias estações de monitoramento fluvial, muitas vezes torna-se muito difícil a realização da quantidade ideal de campanhas de medição de vazões, capazes de estabelecer com fidedignidade equações de curva-chave que representem toda a variabilidade de cotas atingidas pelo nível d'água nos rios monitorados, sobremaneira no período de cheias na região nordestina, cuja característica no período de cheias é de que estes eventos ocorram rapidamente, não permitindo que a equipe de campo chegue no tempo hábil para medir a vazão em cotas mais elevadas (só atingidas quando da passagem da cheia).

Com a falta de medição de vazões em cotas mais elevadas, muitas vezes o hidrólogo tem que recorrer a técnicas de extrapolação da curva-chave, supondo com seria o crescimento da vazão na seção monitorada em função da elevação do nível

d'água, tendo ainda como parâmetro balizador o seu conhecimento *in loco* das características físicas da seção e o levantamento geométrico desta.

Assim, para avaliar uma curva-chave ajustada numa faixa de níveis d'água e extrapolada para cotas mais elevadas, pode-se recorrer a fórmulas de Chezy, supondo que os escoamentos sejam pseudo-uniformes, tomando-se mão desta equação hidráulica que permite retirar das medições de vazões parâmetros que sirvam para transformar cotas em vazões na seção transversal levantada no local de monitoramento.

## 2. METODOLOGIA

A tradicional fórmula de Chezy (equação 01) pode ser separada em uma igualdade onde de um lado da equação há o que se denomina de fator geométrico e do outro lado da igualdade o que se denomina de fator de declividade.

$$U = C\sqrt{Ri}, \text{ equação de Chezy} \quad (1)$$

Onde: U é a Velocidade média;

R é o raio hidráulico;

i é a declividade da linha de energia, sendo que freqüentemente é adotada a declividade superficial nas aplicações práticas das fórmulas hidráulicas;

C é um coeficiente variável, função principalmente do raio hidráulico e da natureza do leito.

A equação de Chezy separada, em termos de vazão e não mais de velocidade, apresenta-se da seguinte forma:

$$Q/S\sqrt{R} = C\sqrt{J}, \text{ equação de Chezy separada} \quad (2)$$

Onde: Q é a Vazão;

S é área da seção;

R é o raio hidráulico;

J é a declividade superficial;

C é um coeficiente variável, função principalmente do raio hidráulico e da natureza do leito.

O termo  $S\sqrt{R}$  é o que se denomina fator geométrico, enquanto que o termo  $C\sqrt{J}$  é denominado fator de declividade.

Nos limites da aplicação da fórmula de Chezy, os dois termos da equação anterior variam muito pouco.

Assim, considerando o termo  $Q/S\sqrt{R} = \text{constante}$ , significa que é possível, através das campanhas de medição de vazões, onde se conhece os valores de Q, S e R para cada medição realizada, estimar o fator de declividade (constante).

Com este fator de declividade estimado na seção de medição de vazões pode-se obter a curva de Cotas x Vazões na seção de levantamento de cotas, conforme a equação abaixo.

$$Q = FD \times S\sqrt{R}, \quad (3)$$

Onde: Q é a Vazão;

FD é o Fator de Declividade estimado com através das campanhas de medição

de vazões;

S é área da seção;

R é o raio hidráulico;

Como exemplo de aplicação da conferência de curvas-chaves por meio da aplicação da fórmula hidráulica de Chezy, adotou-se a Estação Fluviométrica Melancia (Código Nacional 35571000), localizada do Rio Curu, no município de São Gonçalo do Amarante / CE.

Esta estação fluviométrica encontra-se em operação desde o ano de 2005, monitorando os escoamentos superficiais drenados pelo rio Curu numa área de quase 8.000 km<sup>2</sup>, sendo esta uma das principais Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará e fazendo parte da sub-bacia 35 (Rios Acaraú, Pirangi e outros), segundo a Divisão Nacional das Regiões Hidrográficas do Brasil.

### 3. RESULTADOS

A Figura abaixo mostra um gráfico com as medições de vazão realizadas na Estação Fluviométrica Melancia no período 2005 a 2007 e as curvas-chaves consistidas e ajustadas ao período 2005 a 2006.

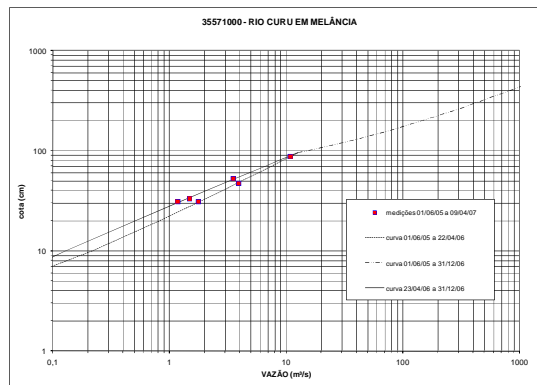


Figura 1 – Curvas-chaves ajustadas à Estação Fluviométrica Melancia

Observe que o ramo das curvas-chaves acima da cota 90cm está ajustado por extrapolação, uma vez que não houve medições de vazão em cotas mais elevadas.

A Tabela abaixo mostra toda a seqüência medição de vazões realizadas já realizadas na Estação Melancia e o valor do Fator de Declividade calculado para cada uma destas medições.

Tabela 1 – Cálculo do Fator de Declividade

Data	1/6/2005	22/8/2005	28/9/2006	1/3/2007	26/9/2007	26/11/2007	16/4/2008	16/6/2008	26/8/2008	10/12/2008	26/6/2009	21/9/2009	3/11/2009	28/1/2010	13/4/2010	22/6/2010
Cota Rio (cm)	31	53	47	88	59	63	71	18	56	50	86	22	17	16	12	19
Vazão (m³/s)	1,18	3,51	3,93	10,54	4,52	4,73	12,81	1,82	4,91	4,68	43,27	5,63	5,25	4,49	3,98	5,72
Área (m²)	3,43	8,55	9,94	19,01	13,09	13,85	32,30	6,49	24,38	21,32	91,90	24,15	21,94	21,50	20,35	24,14
Rh (m²/m)	0,10	0,23	0,23	0,39	0,30	0,25	0,29	0,10	0,22	0,19	0,35	0,22	0,21	0,22	0,19	0,23
FD	1,59	1,08	1,07	1,03	0,77	0,87	0,90	1,32	0,56	0,66	0,94	0,64	0,68	0,57	0,58	0,62

Tomando a média dos valores de FD calculados no período 2005 a 2010, obtêm-se um valor de 0,87. Este valor foi utilizado na equação 03, mostrada anteriormente, para determinação das vazões escoadas na seção de levantamento de cotas da Estação Melancia para o ano de 2005 e de 2007, conforme apresentado nas figuras a seguir.

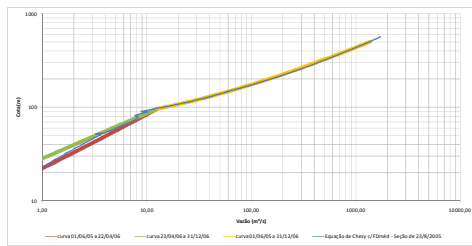


Figura 2 – Verificação das Curvas-Chaves com o Levantamento de Seção de 23/08/2005

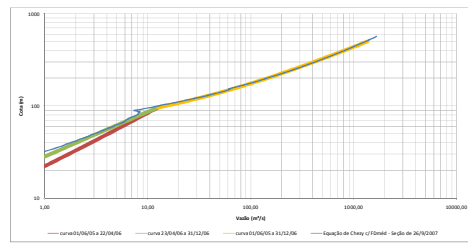


Figura 3 – Verificação das Curvas-Chaves com o Levantamento de Seção de 26/09/2007

Observa-se na figura 2 do Fator de Declividade médio aplicado ao levantamento de seção de 23/08/2005 resultou em vazões totalmente condizentes com os valores calculados com base nas curvas-chaves consistidas com validade no período 2005 a 2006. Isto vem a validar o bom ajuste destas curvas-chaves, inclusive suas extrapolações, no referido período.

Já a figura 3, confeccionada com base no levantamento de seção de 26/09/2007, mostra que na faixa de cotas entre 20cm e 90cm há um indicativo de que as curvas-chaves válidas nesta faixa devam ser re-avaliadas e ajustadas com base nas novas medições de vazão realizadas no ano de 2007, sobremaneira a curva-chave válida no período 01/06/2005 a 22/04/2006. Porém, confirma que a extrapolação válida no período 01/06/2005 a 31/12/2006 pode ser estendida para o ano de 2007.

#### 4. CONCLUSÕES

Como principal conclusão tem-se que uma simples aplicação conjunta de tradicionais fórmulas hidráulicas com os dados coletados em campo nas campanhas de medição de vazões, dados estes (áreas e perímetros molhados levantados nas medições de vazão) que muitas vezes são esquecidos e tidos como secundários depois de alcançado o objetivo maior, que é correlacionar Cota x Vazão, poderão ajudar o hidrólogo no ajuste de curvas-chaves, as quais, muitas vezes, têm que ser determinadas com uma quantidade insuficiente de pontos, face ao elevado custo técnico, financeiro e logístico envolvido para se montar uma campanha de medição de vazão.

Por outro lado, o simples levantamento de seções no local de monitoramento é tarefa que envolve baixos custos e, utilizado conjuntamente com as informações hidráulicas extraídas das campanhas de medição de vazões, mesmo que em número reduzido, pode trazer o respaldo necessário que o hidrólogo busca para consistir as curvas-chaves por ele ajustadas.

Deve-se ter em mente ainda que outros fatores possam interferir na aplicação de métodos hidráulicos na validação de curvas-chaves, como, por exemplo, a existência de “porões”, ou seja, áreas da seção transversal (geralmente nas partes mais baixas da seção) desprovidas de escoamento, onde a água apenas se acumula. Ao passarem despercebidos estes “porões”, haveria um deslocamento da curva-chave, elevando as vazões calculadas para valores acima da realidade.

#### BIBLIOGRAFIA

a) Livro

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.